CICC 2025

Congresso Internacional de Construção Civil

Universidade de Brasília

ANAIS

APOIO

faculdade de tecnologia

CAPES

RINCIMCI

IMPERVLAB

PROGRAMA IBEROAMERICANO

CYTED

UnB

fapdf

Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal

WWW.CICCUNB.COM/ANAIS

ANAIS

Congresso Internacional de Construção Civil

CICC 2025

CORPO EDITORIAL:

Jéssica Siqueira de Souza – Doutora, Professora da Universidade de Brasília (UnB)

João Henrique da Silva Rêgo – Doutor, Professor da Universidade de Brasília (UnB)

Realizado nos dias 25 e 26 de setembro de 2025.

Brasília/DF

2025

Anais do Congresso Internacional da Construção Civil – CICC 2025

Corpo Editorial

Jéssica Siqueira de Souza – Doutora, Professora da Universidade de Brasília (UnB)

João Henrique da Silva Rêgo – Doutor, Professor da Universidade de Brasília (UnB)

Periodicidade da publicação

Bienal (publicação a cada dois anos).

Idiomas aceitos para os artigos

Português, Inglês e Espanhol.

Autor corporativo / Instituição responsável pela publicação

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Universitário Darcy Ribeiro

Asa Norte – Brasília – DF – Brasil

CEP: 70910-900

Editora responsável pela publicação

Even Publicações

Ficha catalográfica

Congresso Internacional de Construção Civil – CICC 2025.
Anais do Congresso Internacional de Construção Civil – CICC 2025 [Brasília, DF] 2025.
565p., 210 x 297 mm (Anais do Congresso Internacional de Construção Civil – CICC 2025, 2025).
Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil.

1. Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade
2. Gestão
3. Materiais e Componentes
4. Patologia e Vida Útil

Comissão organizadora

Coordenação:

Jéssica Siqueira de Souza (UnB)

João Henrique da Silva Rêgo (UnB)

Membros:

- Michele Tereza Marques Carvalho (UnB)
- Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira (UnB)
- Cláudia Márcia Coutinho Gurjão (UnB)
- Valdirene Maria Silva Capuzzo (UnB)
- Elton Bauer (UnB)
- Yuri Sotero Bomfim Fraga (UnB)
- Arthur Aviz Palma e Silva (UnB)
- Ana Luiza Rocha de Souza (UnB)
- Matheus de Souza Silva (UnB)
- Wilamy Valadares de Castro (UnB)
- Jessica Fall Nogueira Chaves (UnB)
- Júlio Roberto Uszacki Junior (UnB)
- Laís Alves da Silva Pires (UnB)
- Suylan Matias da Cruz (UnB)
- Mariana Silva Pires (UnB)
- José Ricardo Guimarães Corrêa Junior (UnB)
- Pedro Henrique Pinheiro de Sousa (UnB)
- Larissa da Silva Marques

Comissão científica

- Afonso Rangel Garcez de Azevedo – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)
- Ana F. F. da Silva C. Matos – Instituto Superior Técnico / Universidade de Lisboa
- Ana Luiza Rocha de Souza – Universidade de Brasília (UnB)
- Andrielli Morais de Oliveira – Universidade de Goiás (UFG)
- Ângela Borges Masuero – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
- Arthur Aviz Palma e Silva – Universidade de Brasília (UnB)
- Cláudia Márcia Coutinho Gurjão – Universidade de Brasília (UnB)
- Cláudio de Souza Kazmierczak – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)
- Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira – Universidade de Brasília (UnB)
- Daniel Véras Ribeiro – Universidade Federal da Bahia (UFBA)
- Edna Possan – Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA)
- Elton Bauer – Universidade de Brasília (UnB)
- Esequiel F. T. Mesquita – Universidade Federal do Ceará (UFC)
- Francisco Gabriel Santos Silva – Universidade Federal da Bahia (UFBA)
- Holmer Savastano Junior – Universidade de São Paulo (USP)
- Inês dos S. Flores B. Colen – Instituto Superior Técnico
- Jéssica Siqueira de Souza – Universidade de Brasília (UnB)
- João Henrique da Silva Rêgo – Universidade de Brasília (UnB)
- Jorge de Brito – Instituto Superior Técnico / Universidade de Lisboa
- Jorge Iván Tobón – Universidad Nacional de Colombia (UNAL)
- José Dinis Silvestre – Instituto Superior Técnico / Universidade de Lisboa
- Júlio Roberto Uszacki Junior – Universidade de Brasília (UnB)
- Karyne Ferreira Santos – C5LAB
- Lucas Rosse Caldas – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
- Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro – Universidade Federal do Pará (UFPA)
- Matheus de Souza Silva – Universidade de Brasília (UnB)
- Michele Tereza Marques Carvalho – Universidade de Brasília (UnB)
- Valdirene Maria Silva Capuzzo – Universidade de Brasília (UnB)
- Vasco Peixoto de Freitas – Instituto Superior Técnico / Universidade de Lisboa
- Wilamy Valadares de Castro – Universidade de Brasília (UnB)
- Yuri Sotero Bomfim Fraga – Universidade de Brasília (UnB)

PREFÁCIO

O Congresso Internacional de Construção Civil (CICC) objetiva a propagação do conhecimento científico e tecnológico referente a construção civil por meio da apresentação de palestras, artigos científicos (sendo ambos nacionais e internacionais) e a troca de informações entre os participantes do evento. Os palestrantes convidados do evento são pesquisadores ativos de universidades federais do Brasil e de instituições internacionais que dispõem de impacto científico no meio acadêmico da engenharia civil. Os artigos selecionados para apresentação no evento são submetidos à revisão por uma comissão científica para que os trabalhos que compõem a edição do evento sejam significativos para o avanço do conhecimento da engenharia civil.

O evento proposto (CICC 2025) apresenta relevância na disposição de informação técnica e científica de determinadas áreas da engenharia civil referentes as mais atuais pesquisas desenvolvidas nas instituições federais do Brasil e no exterior. O que indica que tanto palestras como artigos científicos são referentes a temas de inovação, desenvolvimento científico de serviços e produtos, observações de campo e aprimoramento de conceitos, métodos e técnicas empregadas na construção civil. O produto técnico do evento possibilita a abrangência do acesso de informação técnica atual, inovadora e internacional do meio acadêmico para a comunidade externa em nível nacional e internacional, assim como fomentar as o desenvolvimento de pesquisas científicas na universidade de Brasília (UnB). O resultado da abrangência do evento contribui com a implementação dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), por disseminar educação de qualidade, informações técnicas referentes a indústria, inovação e infraestrutura, por meio de palestras e artigos que englobam temas como cidades, comunidade, sustentabilidade. Por consequência, o evento promove a redução das desigualdades, por possibilitar a propagação de conhecimento científico sem restrições, assim como parcerias em prol de metas, visto o envolvimento promovido pelo evento entre a universidade e profissionais da área.

A publicação dos Anais do Congresso Internacional da Construção Civil – CICC 2025 ratifica o posicionamento institucional de que a ciência, a inovação e a formação crítica são pilares indispensáveis para o avanço responsável da área. Ao reunir pesquisas que articulam sustentabilidade, desempenho, durabilidade e novas tecnologias construtivas,

este volume reafirma o compromisso da Universidade de Brasília (UnB) com a produção de conhecimento técnico-científico de excelência e relevância social. Compreende-se que o fortalecimento da engenharia civil depende, intrinsecamente, da integração entre pesquisa, ensino e prática profissional — uma sinergia aqui materializada pela disseminação rigorosa de contribuições que impulsionam o setor.

Os temas centrais desta edição — gestão; materiais e componentes; sustentabilidade, desempenho e durabilidade e; patologia e vida útil — refletem o espectro de atuação da Área de Sistemas Construtivos e Materiais do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC/UnB), bem como da Ênfase em Construção Civil do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC/UnB).

Expressamos nosso profundo reconhecimento aos autores, cujos resumos e artigos científicos conferem solidez a este documento e oferecem contribuições valiosas ao panorama da construção civil nacional. Estendemos este agradecimento à Comissão Científica, pelo rigoroso trabalho de avaliação e organização; à Comissão Organizadora, pela resiliência frente aos novos desafios; e aos colaboradores, presentes em todas as etapas, da concepção à execução final. Por fim, destacamos a confiança dos patrocinadores; esta parceria com o setor produtivo é fundamental para que os avanços acadêmicos alcancem toda a cadeia produtiva, gerando impactos reais na sociedade.

Desejamos a todos um excelente evento.

Jéssica Siqueira de Souza – Doutora, Professora da Universidade de Brasília (UnB)
João Henrique da Silva Rêgo – Doutor, Professor da Universidade de Brasília (UnB)
Coordenadores do CICC 2025

SUMÁRIO

SUSTENTABILIDIDADE, DESEMPENHO E DURABILIDADE

ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL: UMA REVISÃO SOBRE O USO DE CINZAS E RESÍDUOS DE MADEIRA 13

ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES COM TIRANTES TIPO GROUTED TIEBACK (COM ATRITO) UTILIZANDO O PLAXIS LE 2D 20

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO DO AÇO NA CORROSÃO INDUZIDA POR CLORETOS EM CONCRETO COM FÍLER CALCÁRIO 30

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ARGILA BENTONÍTICA EM PASTAS DE CIMENTO PORTLAND 40

AVALIAÇÃO DAS CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL 49

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO ADITIVO MIRA SET 595 NAS PROPRIEDADES DE UM CONCRETO CONVENCIONAL 58

BIM E GESTÃO DE RESÍDUOS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE 2010 A 2024..... 65

CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE BURITI (MAURITIA FLEXUOSA) PARA UTILIZAÇÃO COMO ADITIVO EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO 75

CARACTERIZAÇÃO POZOLÂNICA DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS PARA USO EM ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS..... 88

COMPORTAMENTO A ALTAS TEMPERATURAS DE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA ESTABILIZADOS COM CIMENTO RECICLADO 96

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA CAMADA DE PINTURA NAS PROPRIEDADES E DURABILIDADE DE BLOCOS DE GESSO NA ALVENARIA 106

ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DO RESÍDUO DE GESSO NA PRODUÇÃO DE PLACAS PRÉ-MOLDADAS PARA REVESTIMENTO DE GESSO..... 117

FORMA DE RUPTURA EM ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS EM ARGAMASSA 126

GÊMEOS DIGITAIS COMO FERRAMENTA PARA ALCANÇAR METAS ESG NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ANÁLISE INTEGRATIVA 135

INFLUÊNCIA DA FIBRA DO CAROÇO DE AÇAÍ NAS PROPRIEDADES FÍSICOMECÂNICAS DE TIJOLOS DE ADOBE..... 140

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO MONITORAMENTO DE SAÚDE ESTRUTURAL NA CONSTRUÇÃO 4.0: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (2019–2024) 148

O BAMBU: CARACTERÍSTICAS E POTENCIALIDADES SUSTENTÁVEIS 157

SISTEMAS SANITÁRIOS E PAPEL HIGIÊNICO: AVALIAÇÃO BIBLIOMÉTRICA DE DESEMPENHO, ENTUPIMENTOS E SUSTENTABILIDADE 165

GESTÃO

ANÁLISE DE SOLICITAÇÕES DE ADITIVOS DE CUSTOS E IMPACTOS ORÇAMENTÁRIOS EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL 174

APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA NA PRIORIZAÇÃO DE MANUTENÇÃO EM INFRAESTRUTURAS UNIVERSITÁRIAS: ESTUDO DE CASO EM UMA EDIFICAÇÃO DE ENSINO SUPERIOR NA CIDADE DE QUIXADÁ- CE. 183

AVALIAÇÃO DE EMPRESA DE GRANDE PORTE DO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM FORTALEZA – CEARÁ QUANTO AOS PROCESSOS DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS 196

AVALIAÇÃO DE EMPRESA DE PEQUENO PORTE DO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL QUANTO AOS PROCESSOS DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS 203

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO LOW-CODE BASEADO NA METODOLOGIA FMEA PARA O AUXÍLIO NAS ATIVIDADES DE INSPEÇÃO PREDIAL E CLASSIFICAÇÃO DE RISCO 210

DIGITIZATION IN THE PALM OF YOUR HAND: THE CIRCULAR CONSTRUCTION SITE APPLICATION FOR WASTE MANAGEMENT 227

ESTUDO DO PREÇO DOS INSUMOS PARA PRODUÇÃO DO CONCRETO NO ACRE EM COMPARAÇÃO COM AS REGIÕES NORTE E CENTRO-OESTE DO BRASIL 238

MAPEAMENTO DOS PONTOS DE DEPOSIÇÕES DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA ZONA URBANA DO MUNICÍPIO DE RIACHÃO DO DANTAS-SE 249

MATERIAIS E COMPONENTES

A VIABILIDADE DA MUCILAGEM DE OPUNTIA FÍCUS-INDICA COMO ADITIVO EM COMPOSTOS CIMENTÍCIOS: CONSIDERAÇÕES SOBRE AS VARIAÇÕES QUÍMICAS 256

ANÁLISE DA ESTRUTURA DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO POR CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR 267

ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE DE ADITIVOS PLASTIFICANTES PARA ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO..... 279

ANÁLISE DE PONTE RODOVIÁRIA EM CONCRETO ARMADO COM USO DOS AÇOS CA-50 E CA-70: ESTUDO DE CASO ATRAVÉS DOS ESTADOS-LIMITE 288

ANÁLISE DO CICLO DE PRODUÇÃO DO RCD NO DISTRITO FEDERAL/BRASIL EM 2025..... 298

APROVEITAMENTO DE CAREPA DE AÇO COMO ADIÇÃO NO CONCRETO: UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL 310

AVALIAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS DA REGIÃO DE GURUPI-TO PARA CONCRETO 318

ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DA RETRAÇÃO: UMA REVISÃO..... 327

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE EPS COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DE GESSO LEVE..... 340

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO GESSO COM ADIÇÃO DE ENDURECEDOR DE SUPERFÍCIE 355

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM A ADIÇÃO DE FIBRA DE PAPEL KRAFT OBTIDA DA RECICLAGEM DE SACOS DE CIMENTO 364

LODO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: USO COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR 372

MODELAGEM DA HIDRATAÇÃO DE CONCRETOS COM HYMOSTRUC: INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS FÍSICOS 384

REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DA INTERAÇÃO ENTRE SUPERPLASTIFICANTES À BASE DE PCE E CIMENTOS COMPOSTOS COM ARGILA CALCINADA 393

PATOLOGIA E VIDA ÚTIL

SISTEMA BOX IN BOX APLICADO EM ESTÚDIOS DE GRAVAÇÃO 404

ANÁLISE DAS PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UMA EDIFICAÇÃO DE ENSINO PÚBLICO COM MAIS DE CINQUENTA ANOS DE USO: ESTUDO DE CASO NO SEMIÁRIDO CEARENSE 412

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COM MATRIZ GUT: ESTUDO DE CASO 423

ANÁLISE E PRIORIZAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÃO AUTOCONSTRUÍDA: APLICAÇÃO DOS MÉTODOS GUT E FMEA PARA INTERVENÇÕES CORRETIVAS 435

ANÁLISE E PRIORIZAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: MÉTODO GUT 449

APLICAÇÃO DE NEGRO DE FUMO (CARBON BLACK) EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM CAPACIDADE DE AUTOSSENSORIAMENTO 460

AVALIAÇÕES DAS FUNDAÇÕES EM PRÉDIOS DO TIPO CAIXÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE COM O AUXÍLIO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA 469

CARBONATAÇÃO EM CONCRETO CONVENCIONAL SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO 479

ESTUDO DE CASO: DESPLACAMENTO DO REVESTIMENTO NA FACHADA DO BLOCO B EM UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO DA CIDADE DE QUIXADÁ (CEARÁ) 489

IMPACTOS DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS: RELATO DE INSPEÇÃO NA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UFAM 500

INTEGRAÇÃO DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA LOCALIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE FISSURAS EM ESTRUTURAS 512

INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO DE AGREGADOS DA REGIÃO DE GURUPI – TO 520

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÃO DA UFRB, AMARGOSA-BA 527

MAPA DE DANOS EM EDIFICAÇÕES EM ZONAS DE TOMBAMENTO: ESTUDO DE CASO DE UM IMÓVEL EM ÁREA DE PRESERVAÇÃO NO MUNICÍPIO DO RECIFE PERNAMBUCO 538

METODOLOGIA PARA DIAGNÓSTICO E REABILITAÇÃO DE PATOLOGIAS EM SISTEMAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO EM FACHADAS 547

TRANSFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS, PASSAGEM DO TEMPO E NÃO CONFORMIDADES CONSTRUTIVAS: ESTUDO DE CASO 555

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-43

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL: UMA REVISÃO SOBRE O USO DE CINZAS E RESÍDUOS DE MADEIRA

TORRES, Mateus Biasi[1]; FARIAS, Marcelo Miranda[2]; RÉUS, Giovana Costa[3]; GOBBI, Andressa[4]

[1] Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, mateustorres@ufpr.br, 0009-0004-1691-0428
[2] Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, mmfarias@uepg.br, 0000-0002-9076-5730
[3] Universidade Federal do Paraná, Palotina, Brasil, giovanareus@ufpr.br, 0000-0003-0443-4773
[4] Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, andressagobbi@ufpr.br, 0000-0002-6696-3331

RESUMO

A busca por alternativas sustentáveis na construção civil tem impulsionado o desenvolvimento de materiais que reduzam impactos ambientais sem comprometer o desempenho estrutural. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo analisar estudos realizados a cerca de alternativas de substituição de materiais em blocos de concreto para alvenaria estrutural, por meio de uma revisão bibliográfica de artigos. Foram investigados estudos que propõem a substituição do cimento Portland por cinzas de madeira e dos agregados miúdos por materiais inertes de origem lignocelulósica, como a cinza de serragem. Os resultados revelam que o uso dessas cinzas é uma alternativa tecnicamente viável, capaz de preservar ou até melhorar propriedades mecânicas relevantes, além de contribuir para a valorização de resíduos e a diminuição da demanda por recursos naturais não renováveis. A revisão também evidencia a importância da caracterização físico-química dos resíduos e do controle dos teores de substituição para garantir a eficiência e a durabilidade dos blocos produzidos.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural; Bloco de concreto; Substituições de materiais; Cinzas pozolânicas.

ABSTRACT

The search for sustainable alternatives in the construction industry has driven the development of materials that reduce environmental impacts without compromising structural performance. In this context, this article aims to analyze studies carried out on material substitution alternatives in concrete blocks for structural masonry through a bibliographic review of scientific articles. The reviewed studies explore the replacement of Portland cement with wood ash and the substitution of fine aggregates with inert lignocellulosic materials, such as sawdust ash. The results indicate that the use of these ashes is a technically viable alternative, capable of preserving or even enhancing key mechanical properties, while also contributing to waste valorization and the reduction of demand for non-renewable natural resources. The review also highlights the importance of the physicochemical characterization of the residues and the control of substitution rates to ensure the efficiency and durability of the blocks produced.

Keywords: Structural masonry; Concrete blocks; Material substitutions; Pozzolanic ashes.

1. INTRODUÇÃO

Blocos cerâmicos e de concreto constituem os principais elementos da alvenaria estrutural, distinguindo-se por tamanho, peso, resistências e desempenho termoacústico [1].
Os blocos de concreto para alvenaria estrutural normalmente são compostos de cimento Portland (aglomerante), pedrisco (agregado graúdo) e areia (agregado miúdo). Diversos estudos demonstram a possibilidade de substituição parcial desses componentes por materiais alternativos, como cinzas [2 - 4], resíduos de construção civil [5 - 6], resíduos industriais [7] e resíduos de madeira oriundos da queima de material orgânico [9 - 12]. Essas substituições podem ter diferentes objetivos principais a melhoria de características específicas dos blocos, a redução de custos ou a busca por alternativas mais sustentáveis. No entanto, a incorporação de novos materiais deve ser criteriosamente investigada, uma vez que pode impactar diversas propriedades dos blocos, variando conforme a composição, a proporção empregada e o tipo de material substituído, devendo-se sempre atender aos requisitos normativos da NBR 6136 [8].

Seguindo a vertente de redução de custos e em busca de uma construção mais sustentável, destaca-se a utilização de cinzas, proveniente da queima de biomassa, como as madeiras geradas por indústrias de celulose e usinas de energia [3]. Outra abordagem recorrente na literatura é a substituição de agregados miúdos por serragem de madeira, proveniente de serralherias e indústrias madeireiras [9] sendo a destinação adequada desses resíduos um desafio para ambos os setores. A incorporação desses resíduos ao concreto pode resultar na redução dos custos com matérias primas, como cimento Portland e agregados miúdos, além de promover melhorias em determinadas propriedades do concreto, assim podendo ser considerada uma relação simbiótica entre as indústrias e os produtores de blocos de concreto.

A contribuição científica deste artigo reside na sistematização crítica de estudos experimentais que abordam diferentes substituições de materiais na produção de blocos de concreto estrutural, com foco em comparações quantitativas entre seus desempenhos mecânicos e físicos. Este artigo tem como objetivo compilar e analisar estudos existentes sobre substituições já testadas, a fim de embasar uma futura investigação sobre a substituição de agregado miúdo por cinzas de *Eucalyptus spp.* na produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural.

2. METODOLOGIA

Para este artigo foi utilizado revisão bibliográfica, com o objetivo de identificar, analisar e sintetizar os estudos e pesquisas já existentes sobre substituições em blocos de concreto para alvenaria estrutural, com enfoque em substituições provenientes de resíduos de madeira como serragem ou queima de matérias orgânicas, assim utilizando esta pesquisa como base para uma posterior pesquisa sobre a substituição de agregado miúdo por cinzas de madeira. A busca por artigos foi realizada nas bases *Scopus* e *Web of Science*, utilizando diferentes combinações de palavras-chave relacionadas ao tema. Foram considerados apenas artigos publicados entre 2015 e 2025, excluindo-se revisões bibliográficas e outros tipos de documentos como notas de aulas, livros, teses e dissertações, para garantir maior uniformidade metodológica e qualidade dos dados experimentais comparados. Para evitar duplicidade, os resultados foram tratados por meio de verificação de similaridade do título, nomes dos autores e ano de publicação. A Tabela 1 resume o total de artigos encontrados, filtrados e únicos em cada combinação de palavras-chave analisadas.

Tabela 1 – Filtros e resultados das buscas nas bases *Scopus* e *Web of Science*.

Palavras-chave	Base de dados	Trabalhos entre 2015 e 2025	Artigos originais	Artigos sem duplicatas
Concrete AND block AND wood AND ash	*Scopus*	25	15	33
	Web of Science	32	24	
Concrete AND block AND saw AND dust	*Scopus*	07	05	09
	Web of Science	08	06	
Concrete AND block AND aggregate AND ash	*Scopus*	287	224	243
	Web of Science	310	266	

A partir desse universo, foram selecionados manualmente apenas os trabalhos que apresentaram foco na elaboração de bloco de alvenaria com substituições na composição por cinzas ou resíduos de madeira. As substituições avaliadas nesta revisão bibliográfica foram: substituição de cimento Portland por cinzas de madeira, substituição de agregados miúdos

por resíduos de madeira e a substituição de agregado graúdo por resíduos, avaliando suas características, conforme as seções 3, 4 e 5, respectivamente.

3. SUBSTITUIÇÕES DE CIMENTO PORTLAND POR CINZAS DE MADEIRA

A partir dos 33 trabalhos encontrados e filtrados conforme apresentado na Tabela 1, foram selecionados os 3 estudos que abordam especificamente a substituição do cimento Portland por cinzas de madeira. Esses estudos se destacam por apresentar investigações experimentais focadas em propriedades mecânicas e no desempenho físico de compósitos cimentícios com adições de cinza de madeira.

Rahimi, Dogmechi e Daemi [13] investigaram concretos produzidos com teores de 5%, 8% e 12% de substituição do cimento Portland por cinza obtida da queima de resíduos orgânicos, com predominância de madeira (80%). Foram conduzidos ensaios de resistência à compressão e à tração por compressão diametral conforme a norma ASTM C109 e ASTM C496, respectivamente. A mistura com 8% de substituição apresentou o melhor desempenho, com resistência à compressão aos 28 dias 17% superior ao traço de referência, e ganho de 11% na resistência à tração. Embora este estudo não tenha como foco direto os blocos de alvenaria, os resultados sugerem a viabilidade técnica da aplicação da cinza de madeira em concretos. O incremento na resistência à compressão observado por Rahimi, Dogmechi e Daemi [13] pode ser atribuído à reação pozolânica estimulada pela presença de potássio, magnésio e cálcio na cinza, que aumentam o pH da mistura hidratada e favorecem a formação de compostos cimentícios secundários, como o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) conforme discutido por Vilane, Thabani e Innocent [2].

No estudo de Cheah, Part e Ramli. [14] foram fabricados blocos de alvenaria utilizando geopolímeros obtidos pela hibridização de cinza de madeira rica em cálcio com cinza volante de classe F. As misturas foram moldadas com proporções de 100:00, 70:30, 60:40 e 50:50 entre cinza de madeira e cinza volante. O estudo demonstrou que blocos com proporções entre 50%, 60% e 70% de cinza de madeira e relação água/aglomerante de 0,30, apresentaram resistência à compressão suficiente para serem classificados como blocos estruturais, conforme os requisitos da norma ASTM C90, que exige resistência média mínima de 13,10 MPa aos 28 dias.

Os mesmos autores aprofundaram a pesquisa anterior e neste trabalho [15] investigaram blocos de alvenaria moldados com substituição total do cimento Portland por misturas de cinza de madeira rica em cálcio e cinza volante pulverizada. Foram avaliadas proporções de 00:100 a 100:00 entre cinza de madeira e cinza volante, variando a proporção de 10 em 10. A formulação 40:60 apresentou o melhor desempenho mecânico aos 28, 90, 180 e 365 dias, superando as demais tanto em compressão quanto em flexão. Entretanto, com base nos resultados obtidos aos 28 dias, as misturas de blocos de argamassa geopolimérica produzidas proporções de 20:80 até 80:20 atingiram resistência à compressão suficiente para serem classificados como blocos estruturais, conforme os requisitos da norma ASTM C90. A sinergia entre a cinza de madeira rica em cálcio e a cinza volante, observada nos estudos de Cheah, Part e Ramli [14, 15], favoreceu o desenvolvimento precursor geopolimérico, aumentando a densidade da matriz e a resistência mecânica dos blocos.

Além disso, as formulações variando de 30:70 a 90:10 atenderam ao critério de resistência à flexão mínima de 0,93 MPa, conforme prescrito pelo *California Concrete Masonry Technical Committee* para qualificação como bloco de alvenaria de concreto da classe N. A utilização de resíduos como única fonte de aglomerante é um diferencial do estudo, que demonstra a viabilidade da produção de blocos sem cimento convencional, com desempenho adequado para alvenaria estrutural. Embora as formulações analisadas não constituam concretos, os dois trabalhos foram selecionados por apresentarem resultados diretamente aplicáveis à produção de blocos de alvenaria obtidos com resíduos, atendendo aos requisitos normativos de resistência mecânica.

É importante destacar, contudo, que a discrepância nos resultados entre diferentes estudos pode estar relacionada às variações na temperatura de queima da madeira, fator que influencia diretamente nas propriedades físico-químicas da cinza produzida, conforme demonstrado por Etitgn e Campbell [16].

4. SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND POR CINZA DE RESÍDUOS DE MADEIRA

Dos 9 estudos refinados a partir da segunda combinação de palavras-chave utilizada (*"Concrete AND block AND saw AND dust"*), conforme apresentado na Tabela 1, três deles apresentaram relação direta ao tema da substituição parcial

do cimento Portland por cinza de resíduos de madeira. Embora nem todos os trabalhos selecionados abordem diretamente a produção de blocos de alvenaria estrutural, foram incluídos nesta revisão por investigarem a aplicação da cinza de resíduos de madeira como material cimentício suplementar em composições de concreto com potencial de uso em elementos pré-moldados. Um dos estudos analisou a aplicação da cinza na fabricação de blocos intertravados (pavers), outro em concreto leve para aplicações não estruturais, e o terceiro com recomendação de uso em blocos e tijolos estruturais. Para fins desta revisão, considera-se como cinza de resíduos de madeira o material pulverulento resultante da queima de resíduos de madeira, tais como serragem proveniente do beneficiamento de madeira, cascas, folhas etc. Nos três estudos analisados, a cinza foi obtida exclusivamente a partir da queima de serragem.

Omar *et al.* [17] investigaram a produção de concreto leve com substituição parcial do cimento por uma combinação de cinza de serragem e cinza volante, em teores totais de 5%, 10%, 15% e 20%. O artigo não especifica a proporção exata entre os dois resíduos, referindo-se apenas a uma combinação como material substituto. A cinza foi obtida por queima da serragem a 600 °C, seguida de moagem e peneiramento.

Os resultados indicaram que o aumento do teor de substituição levou à redução da densidade e da resistência à compressão, além de elevação na absorção de água. A densidade do concreto leve passou de 1820 kg/m³ (referência) para 1615 kg/m³ na mistura com 20% de substituição, refletindo a menor massa específica das cinzas em relação ao cimento Portland. Quanto à resistência à compressão, observou-se uma queda de 5,12 MPa (referência) para 2,83 MPa (20% de substituição), com melhor desempenho registrado na composição com 5% de substituição, que atingiu 4,25 MPa. O aumento da absorção de água e queda na resistência mecânica foi atribuído à maior porosidade induzida pela presença das cinzas, especialmente a cinza de serragem, que apresenta estrutura fibrosa e alta absorvência.

Até 15% de substituição, os concretos atenderam aos requisitos mínimos de resistência à compressão estabelecidos pela *British Concrete Association* para concretos leve e absorção de água, sendo considerados viáveis para aplicações em elementos construtivos. Ressalta-se que, embora o estudo utilize critérios internacionais, os parâmetros de resistência à compressão e absorção de água também são os principais exigidos na avaliação de blocos de concreto para alvenaria estrutural segundo a norma brasileira [8], o que reforça a relevância desses resultados para futuras aplicações no contexto nacional.

O trabalho de Awolusi, Akinyemi e Akinlosotu [18] investigou a produção de concretos nos quais a areia foi parcialmente substituída por laterita (15%, 30% e 45%) (um solo de origem residual, típico de regiões tropicais, rico em óxidos de ferro e alumínio) e o cimento foi parcialmente substituído por cinza de serragem, em teores de 0% a 10% (a cinza de serragem foi utilizada como material cimentício suplementar). Os resultados mostraram que, em temperatura ambiente, a incorporação da cinza promoveu ganhos de resistência à compressão, o teor de 10% apresentou um incremento médio de 15,9% em relação ao concreto de referência. Esse comportamento é atribuído ao caráter pozolânico da cinza, capaz de reagir com produtos da hidratação do cimento e contribuir para o desenvolvimento da matriz resistente. Com base nesses resultados, os autores recomendam o uso dessa composição para a produção de blocos e tijolos estruturais, bem como para elementos não estruturais em construções sustentáveis.

O terceiro estudo, de Neeraja *et al*. [19], avaliou a substituição parcial do cimento por cinza de serragem na produção de blocos intertravados (pavers), com teores de 0%, 10%, 20% e 30%. A cinza foi obtida por queima controlada da serragem, peneirada e incorporada como material cimentício suplementar. Os resultados indicaram que a mistura com 10% de substituição apresentou a melhor resistência à compressão, atingindo 32,4 MPa, esse aumento da resistência à compressão observado com 10% de substituição é atribuído à ação pozolânica da cinza de serragem, que reage com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento, promovendo a formação adicional de compostos cimentantes como o C-S-H. Além disso, o efeito fíler das partículas finas da cinza contribui para uma matriz mais densa e com menor porosidade. No entanto, quando a substituição atinge 20% ou 30%, tende a aumentar a demanda de água da mistura e introduzir porosidade adicional na microestrutura do concreto, essa combinação resulta na queda significativa da resistência à compressão observada nesses teores mais elevados.

4. SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO

Dos 243 artigos inicialmente identificados a partir da terceira combinação de palavras-chave, 48 tratavam da aplicação de cinzas na produção de blocos para pavimentação (pavers) e foram desconsiderados nesta etapa por apresentarem

características normativas e funcionais distintas dos blocos de alvenaria estrutural, foco desta análise. Embora esse tipo de aplicação tenha sido considerado em itens anteriores devido à escassez de estudos diretamente relacionados a blocos de concreto, neste caso optou-se por sua exclusão, dado que a amostra obtida foi mais abrangente e permitiu um recorte mais alinhado ao escopo da revisão. Assim, os estudos com pavers, que representam aproximadamente 19,7% da amostra inicial, foram desconsiderados por envolverem características normativas, funcionais e de desempenho distintas dos blocos de alvenaria estrutural, foco principal desta análise.

Especificamente, 16 artigos trataram da produção de blocos (com ou sem função estrutural), dos quais mais de 85% utilizaram cinza volante como material substitutivo. Os demais empregaram adições como cinza de serragem, cinza de casca de arroz e até resíduos plásticos, revelando menor presença de cinza de madeira como material alternativo em estudos voltados à fabricação de blocos. A resistência à compressão e a absorção de água são parâmetros fundamentais para avaliação do desempenho de blocos de concreto pela normativa brasileira, dos estudos analisados, a resistência à compressão foi amplamente investigada, com variações significativas em função do tipo de cinza, dos teores de substituição e das técnicas de moldagem empregadas.

No estudo de Bakshi, Jain e Maiti [20], blocos autoclavados foram produzidos com substituição integral da areia natural por cinza volante. A formulação dos blocos, isenta de agregados naturais, foi proposta como alternativa sustentável aos blocos tradicionais, alinhando-se à lógica da economia circular. Embora o foco principal do estudo tenha sido a análise do ciclo de vida comparativa entre blocos com areia e blocos com cinza volante, os autores realizaram caracterizações físico-químicas e microestruturais dos materiais produzidos. A substituição da areia por um resíduo industrial finamente particulado contribuiu para a redução do consumo de cimento, a mitigação de passivos ambientais e a viabilidade de produção de blocos com menor impacto ambiental. O estudo não detalha os valores exatos das propriedades mecânicas dos blocos, mas ressalta que os blocos com cinza volante apresentaram desempenho satisfatório e características compatíveis com os parâmetros normativos da IS: 2185:2005, justificando seu uso técnico e ambientalmente vantajoso em substituição ao agregado miúdo convencional.

A substituição parcial do agregado miúdo por cinzas é uma estratégia investigada por diversos autores com o objetivo de promover o reaproveitamento de resíduos e reduzir o consumo de areia natural na produção de blocos de concreto. Nos estudos analisados observou-se que a viabilidade técnica depende diretamente do tipo de cinza, da proporção utilizada e da tecnologia de moldagem adotada para a fabricação do bloco. Por exemplo no estudo de Kaewsai, Tippayasak e Tangchirapat [21], blocos de concreto foram produzidos com substituição parcial da areia por cinza pesada de carvão (*bottom ash*) em teores de até 30%, além da substituição do cimento por cinza volante. Os melhores resultados de resistência à compressão foram obtidos com a substituição de 10% da areia por cinza pesada, utilizando a proporção de cimento:agregado miúdo:pó de pedra de 1:3,5:4,5. Substituições de 10% e 20% do cimento por cinza volante também resultaram em resistências similares. Todas essas composições atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pela norma tailandesa TIS 58-1990 para blocos. Com isso, pode-se afirmar que, embora teores mais altos de substituição possam comprometer o desempenho mecânico, a combinação de cinza volante como substituição ao cimento e cinza pesada como substituição parcial da areia pode ser tecnicamente viável quando mantida em níveis moderados.

No trabalho de Raj e Somasundaram [22], foram produzidos blocos de concreto com substituição parcial da areia por pó de borracha proveniente de pneus usados e do cimento por cinza volante, com o objetivo de desenvolver uma solução construtiva mais sustentável. Foram testadas proporções de 5%, 10% e 15% de substituição da areia por pó de borracha, associadas a 20% de substituição do cimento por cinza volante, além de formulações sem areia, em que o resíduo de borracha atuou como principal material de enchimento. A substituição de até 15% da areia por pó de borracha mostrou-se eficaz para obter a resistência necessária em blocos de alvenaria. As misturas sem agregados miúdos apresentaram resultados semelhantes às que continham areia, ou seja, o pó de borracha pode ser utilizado de forma eficaz como material de preenchimento em pastas.

4. CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica apresentada demonstrou que diferentes tipos de cinza têm sido investigados como substitutos parciais do cimento e do agregado miúdo na produção de blocos de concreto. Estudos com cinza de madeira demonstraram que essa adição, especialmente quando combinada com cinza volante, pode substituir integralmente o

cimento convencional e ainda garantir desempenho mecânico compatível com normas internacionais, como a ASTM C90.

Nos casos de substituição do cimento por cinza de serragem, observou-se que teores baixos (até 10%) podem melhorar ou manter a resistência à compressão, enquanto teores mais elevados comprometeram o desempenho, principalmente por causa da maior porosidade e da elevação na absorção de água. Apesar disso, até 15% de substituição ainda foi considerado viável para concretos leves, de acordo com critérios da *British Concrete Association.* Esse tipo de substituição pode ser promissor para aplicações não estruturais.

Por fim, a substituição da areia por cinzas ou por resíduos alternativos também apresentou resultados positivos, desde que os teores se mantenham em níveis moderados. Esses resultados reforçam o potencial de investigação da substituição do agregado miúdo por cinza de Eucalyptus spp. como uma solução sustentável na fabricação de blocos estruturais.

REFERÊNCIAS

[1] Poyastro, P. C. **Comparação entre blocos cerâmicos e em concreto, quanto custo e produtividade, quando utilizados em alvenaria estrutural.** Trabalho de conclusão de curso em Construção Civil. Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. 2019.

[2] Vilane, B. R. T.; Thabani, N.; Innocent, S. M. (2021). **The Effect of Wood Ash Blending on the Compressive Strength of Concrete Blocks.** Journal of Agriculture Science and Engineering, 6.

[3] Subramaniam, P.; Subasinghe, K.; Fonseka, W. R. K. (2015). **Wood Ash Effective Material For Concrete Blocks.** International Journal of Research in Engineering and Technology, 4 (2).

[4] Prarthana, P. V. T.; *et al*. (2024). **Incorporation of Wood ash and waste glass powder in enhancing concrete block performance.** Journal of the Sri Lanka Association for Advancement of Science, 6.

[5] Kaish, A. B. M. A; Odimegwu, T. C.; Zakaria, I.; Abood, M. M. (2021). **Effects of different industrial waste materials as partial replacement of fine aggregate on strength and microstructure properties of concrete.** Journal of Building Engeneering, 35.

[6] Kumar, P.; Singh, N. (2020). **Influence of recycled concrete aggregates and Coal Bottom Ash on various properties of high volume fly ash-self compacting concrete** Journal of Building Engeneering, 32.

[7] Thomas, R. V.; Nair, D. G. (2015). **Fly ash as Fine Aggregate Replacement in Concrete Building Blocks.** International Journal of Engineering and Advanced Research Technology, 1.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136: **Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria.** Rio de Janeiro, 2016.

[9] Oliveira, M. S. **Utilização de Resíduos de *Pinus ssp.* na Produção de Blocos de Concreto para Alvenaria Estrutural.** Dissertação de Mestrado em Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2020).

[10] Abera, M. A. (2019). **Investigating the acceptable quantity of fine aggregate to be replaced with sawdust to obtain strong, light weight, and economical result for HCB production.** International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, 5.

[11] Lima, A. J. M; Iwakiri, S. (2014). **Utilização de Resíduos de Madeira de *Pinus ssp.* Como Substituição ao Agregado Miúdo na Produção de Blocos para Alvenaria Estrutural.** Ciência Florestal, Santa Maria, 24.

[12] Bertoldo, N.; *at al*. (2024). **Concrete with Organic Waste Materials as Aggregate Replacement.** Applied Sciences, 14.

[13] Rahimi, A.; Dogmechi, S. F.; Daemi, M. R. **Experimental study on utilization of organic waste ash in concrete mixtures**. KSCE Journal of Civil Engineering, v. 22, n. 1, p. 167-173, 2018.

[14] Cheah, C. B.; Part, W. K.; Ramli, M. **The hybridizations of coal fly ash and wood ash for the fabrication of low alkalinity geopolymer load bearing block cured at ambient temperature.** Construction and building materials, v. 88, p. 41-55, 2015.

[15] Cheah, C. B.; Part, W. K.; Ramli, M. **The long term engineering properties of cementless building block work containing large volume of wood ash and coal fly ash.** Construction and building materials, v. 143, p. 522-536, 2017.

[16] Etitgn L.; Campbell, A. G. (1990). **Physical and Chemical Characteristics of Wood Ash**. Bioresource Technology, 37.

[17] Omar, M. F. *et al.* **Partially replacement of cement by sawdust and fly ash in lightweight foam concrete**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. p. 012035.

[18] Awolusi, T. F.; Sojobi, A. O.; Afolayan, J. O. **SDA and laterite applications in concrete: Prospects and effects of elevated temperature**. Cogent Engineering, v. 4, n. 1, p. 1387954, 2017.

[19] Neeraja, P. G. *et al*. **Production of eco-friendly paver block by incorporating saw dust ash as cementitious materials.** In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2023. p. 020005.

[20] Bakshi, P.; Jain, N.; Maiti, S. **Comparative Life Cycle Assessment of Manufacturing Fly Ash Block and Sand Block Using Aerated Autoclaved Technology by a Cradle-to-Gate System**. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2025.

[21] Kaewsai, B.; Torkittikul, P.; Chaipanich, A. **Environment friendly concrete block made from Portland cement and aggregate replacement materials**. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. p. 012032.

[22] Raj, I. S.; Somasundaram, K. **An optimized mix for the manufacture of sustainable aerated concrete blocks using waste rubber powder.** Clean Technologies and Environmental Policy, v. 25, n. 4, p. 1273-1289, 2023.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-41

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES COM TIRANTES TIPO GROUTED TIEBACK (COM ATRITO) UTILIZANDO O PLAXIS LE 2D

SANTANA, Jamile Teles[1]; SOUZA, Gabriel Suchodolak[2]; MONTEZUMA, Petrônio Rodrigo Mello[3]

[1]Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial, Guarapuava - PR, 85053-525, Brasil, jamiletelessantana@alunos.utfpr.edu.br, 0009-0001-8327-6154
[2]Universidade Tecnológica Federal do Paraná, NUEM - Núcleo de Escoamento Multifásico. Rua Dep. Heitor Alencar Furtado, 5000 Campus Ecoville - Bloco N - Cidade Industrial - Curitiba, PR 81280-340, Brasil, gabrielsouza.2002@alunos.utfpr.edu.br, 0009-0000-9601-2783
[3]Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial, Guarapuava - PR, 85053-525, Brasil, petroniomello@utfpr.edu.br, 0000-0003-1391-3987

RESUMO

Este estudo procura destacar a crescente necessidade de garantir a estabilidade de taludes, especialmente em áreas urbanas sujeitas a eventos climáticos extremos e ações antrópicas. O objetivo geral foi analisar a eficiência do reforço com tirantes do tipo *Grouted Tieback* (com atrito) em um talude, anteriormente estudado por Joly e Montezuma (2016), localizado na Rodovia Presidente Dutra, em Queluz (SP), por meio de simulações no software Plaxis LE 2D. Especificamente, investigou-se o impacto do comprimento e diâmetro dos tirantes sobre o fator de segurança (FS). A metodologia incluiu modelagem numérica com base no critério de Mohr-Coulomb, e slip de Grid and Tangent, com método de cálculo Bishop simplificado, considerando diferentes cenários de reforço e níveis de água. Os resultados indicaram que o reforço aumentou significativamente o FS, sendo o cenário com tirantes de 14 m e 0,18 m de diâmetro o mais eficiente, atingindo FS de 1,519. Os resultados demonstram que o uso de reforços adequadamente dimensionados, aliado a ferramentas computacionais, é eficaz para garantir a estabilidade e a segurança de taludes.

Palavras-chave: Estabilidade de taludes; Engenharia geotécnica; Plaxis LE 2D; Grouted Tieback (com atrito).

ABSTRACT

This study looks to highlight the growing need to ensure slope stability, especially in urban areas subject to extreme weather events and anthropogenic actions. The main objective was to analyze the efficiency of reinforcement using Grouted Tieback (with friction) on a slope previously studied by Joly and Montezuma (2016), located on the highway Presidente Dutra, in Queluz (SP), through simulations using the Plaxis LE 2D software. Specifically, the study investigated the impact of anchor length and diameter on the factor of safety. The methodology included numerical modeling based on the Mohr-Coulomb criterion and the Grid and Tangent slip method, with the Bishop calculation method, considering different reinforcement scenarios and water levels. The results indicated that the reinforcement significantly increased the FOS, with the most efficient scenario using 14 m long and 0.18 m diameter anchors, reaching an FOS of 1.519. The results demonstrate that the use of properly sized reinforcements, combined with computational tools, is effective in ensuring slope stability and safety.

Keywords: Slope stability; Geotechnical engineering, Plaxis LE 2D, Grouted Tieback (with friction).

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações no campo da construção civil é a garantia da estabilidade de massa do solo. Estudos sobre esse assunto têm se tornado ainda mais relevantes na atualidade, visto que com as mudanças climáticas e a crescente expansão urbana, uma maior atenção é dada às tensões aplicadas nos solos que podem gerar uma série de eventos, como recalques, deslizamentos e tombamentos. Com o atual cenário de atualizações de normas técnicas e

avanços tecnológicos para a execução de obras é possível assegurar com maior precisão a segurança estrutural e durabilidade das construções.

Entretanto, ainda que haja recomendações e métodos que colaborem para evitar esses problemas, é muito comum que essas dificuldades se repitam. Casos como esses ocorrem com muita frequência em taludes, principalmente em períodos chuvosos e em localidades periféricas. Existem dois tipos de taludes: os naturais, ou seja, formações não alteradas por intervenções do homem, e os artificiais, aqueles que sofreram ações humanas. Os pesquisadores Cruden e Varnes em Braja [6] separaram os movimentos de massas em cinco categorias: quedas, tombamentos, deslizamentos, espalhamento e escoamentos.

Um dos exemplos que pode ser citado é o caso da reportagem da CNN Brasil, 2022 [5], em 2011, quando chuvas intensas ocorreram na região serrana do Rio de Janeiro, que resultaram em deslizamentos que deixaram vítimas fatais, destruição de moradias e interferências no meio ambiente. Devido à influência da chuva, houve saturação do maciço que provocou a perda de resistência ao cisalhamento, assim causando a ruptura dos taludes e a movimentação de massa na região. Além das condições climáticas, existem também as ações antrópicas com aplicação de tensões que influenciam na estabilidade de taludes, em casos como cortes com geometria inadequada, descarte de lixo e entulho em ambientes inapropriados, além de vibrações e tráfegos.

Garantir a estabilidade do talude, segundo Braja [6] é responsabilidade do engenheiro assegurar o fator de segurança (FS) em relação à resistência. A partir disso, este trabalho buscou apresentar a importância da necessidade de cuidados preventivos com o auxílio do software Plaxis LE 2D. No presente estudo, serão adicionados 6 reforços de Grouted Tieback (com atrito) como método de contenção no talude analisado. A eficiência desse reforço será avaliada por meio de simulações comparativas entre a condição original e com o reforço implementado.

Para este estudo de caso, o talude analisado é o mesmo apresentado em Joly e Montezuma [9], localizado na pista sul da Rodovia Presidente Dutra, no município de Queluz (SP). Trata-se de um aterro adjacente a uma ponte, onde ocorreu a instabilização do talude, devido à elevação do nível de água de um rio próximo. O estudo de Joly foi conduzido com sondagens de reconhecimento e modelagem numérica probabilística utilizando o método Monte Carlo. A situação revelou a importância do monitoramento contínuo e da avaliação geotécnica precisa para a prevenção de acidentes em regiões com topografia similares.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para compreender o comportamento da estabilidade de taludes sob diferentes condições geotécnicas e metodológicas, diversos estudos têm recorrido a simulações numéricas com o uso do PLAXIS LE 2D ou ferramentas similares. É um software de engenharia geotécnica usado para análise de estabilidade de taludes. Ele calcula o FS com base no equilíbrio entre as forças resistentes e as forças de ruptura nos solos, segundo Banne et al [4]. A Tabela 1 apresenta um resumo comparativo de trabalhos recentes, destacando os métodos utilizados, os tipos de solo ou reforço analisados, os modelos constitutivos adotados e os principais resultados obtidos.

Tabela 1 - Comparativo entre estudos de estabilidade de taludes (Fonte: autoria própria).

Estudo	Método	Software	Tipo de solo / Estudo	Modelo constitutivo	Principais Resultados
Leroy et. al. [12]	Numérico (FEM vs LEM)	Plaxis 2D e Slide 2D	Talude em mina de pozolana (Camarões)	Mohr-Coulomb	FS passou de 1,0 para 1,98 com geotêxtil. Plaxis mostrou resultados mais conservadores que Slide.
Razak; Nujid [15]	Numérico paramétrico	Plaxis 2D	Talude com solo grampeado (ativo vs passivo)	Mohr-Coulomb e Hardening Soil	Sistema ativo teve FS de 1,336 (melhor) vs 1,107 no passivo, ambos sob umidade de 7,1%.
Thakur; Sharma	Numérico comparativo	Plaxis 2D e	Talude sísmico com reforço	Mohr-Coulomb	FS aumentou de 1,028 (estático) para 1,98 (dinâmico)

Estudo	Método	Software	Tipo de solo / Estudo	Modelo constitutivo	Principais Resultados
[16]		GEOS			com reforço e modelagem FEM.
Mekki [13]	Analítico (Teoria do Limite Superior)	Formulação própria / Mathcad	Talude em solo granular seco com tirante ancorado	Mohr-Coulomb com fluxo não associado	Inclusão do ângulo de dilatação (ψ) elevou significativamente o FS. Comprimento ancorado e inclinação influenciam F; diâmetro do tirante não afeta.

3. METODOLOGIA

No presente trabalho, optou-se pelo uso do software Plaxis LE 2D, que permite aplicar diferentes métodos de limite de equilíbrio (Limit Equilibrium - LE) com flexibilidade e precisão. O software apresenta vantagens técnicas e econômicas. Destaca-se pela precisão dos resultados, liberdade de modelagem de diferentes geometrias de taludes, simulações de diversos cenários de solo e aplicações de cargas, como também, auxiliam nas tomadas de decisões que podem influenciar na redução de custos e na otimização de uso de materiais.

O modelo de resistência dos solos adotado foi o critério de Mohr-Coulomb, devido à sua ampla utilização em análises geotécnicas de caráter preliminar e boa compatibilidade com o LE. Tal escolha é compatível com estudos como o de Banne et al [3], investigaram o uso de goma xantana para estabilização de solos lateríticos com o Plaxis LE, observando aumentos significativos no FS, especialmente em condições submersas. Da mesma forma, Inabah e Sukamta [8] analisaram a estabilidade de taludes argilosos com reforço por estacas escavadas, também com Plaxis LE, obtendo melhorias no FS de 1,440 para 1,868 após a inserção dos reforços. Esses estudos demonstram a versatilidade do Plaxis LE em diferentes contextos geotécnicos, reforçando sua aplicabilidade no presente trabalho.

Foi realizada uma análise paramétrica para avaliar a influência do comprimento e do diâmetro dos tirantes no fator de segurança (FS). O objetivo é identificar o ponto a partir do qual a variação desses parâmetros se torna irrelevante, ou seja, quando o FS se estabiliza e deixa de apresentar mudanças significativas. Essa análise contribui para um dimensionamento mais eficiente.

O método de cálculo utilizado neste estudo, é o de Bishop simplificado, explicado por Kumar et al. [11], que utilizaram para avaliar a estabilidade de taludes em 2D e 3D. Esse método calcula o FS dividindo o talude em fatias verticais, e avaliando o equilíbrio entre as forças resistentes ao deslizamento e as forças que promovem o movimento. O FS é determinado iterativamente, ajustando seu valor até que o momento resistente total iguale o momento causador de instabilidade. A pressão de poros reduz a força normal efetiva na base da fatia, o que afeta diretamente a resistência ao cisalhamento mobilizada.

Para o método de busca, foi utilizado grid and tangent. A Tangent é representada por um retângulo posicionado verticalmente entre a crista e o pé, com profundidade proporcional à altura do talude, mas levemente elevada acima da base para evitar interferência com o nível inferior do modelo. Já o Grid é definido como um triângulo isósceles posicionado acima da crista, centralizado horizontalmente entre os dois pontos, com dimensões proporcionais à altura e largura do talude.

A geometria adotada neste estudo é a mesma de Joly e Montezuma [9], preservando as características originais da encosta. Esta escolha tem como objetivo comparabilidade entre os modelos, permitindo avaliar os efeitos da introdução de um sistema de contenção proposto sobre um cenário previamente analisado e já validado. A Figura 1 mostra a geometria do talude.

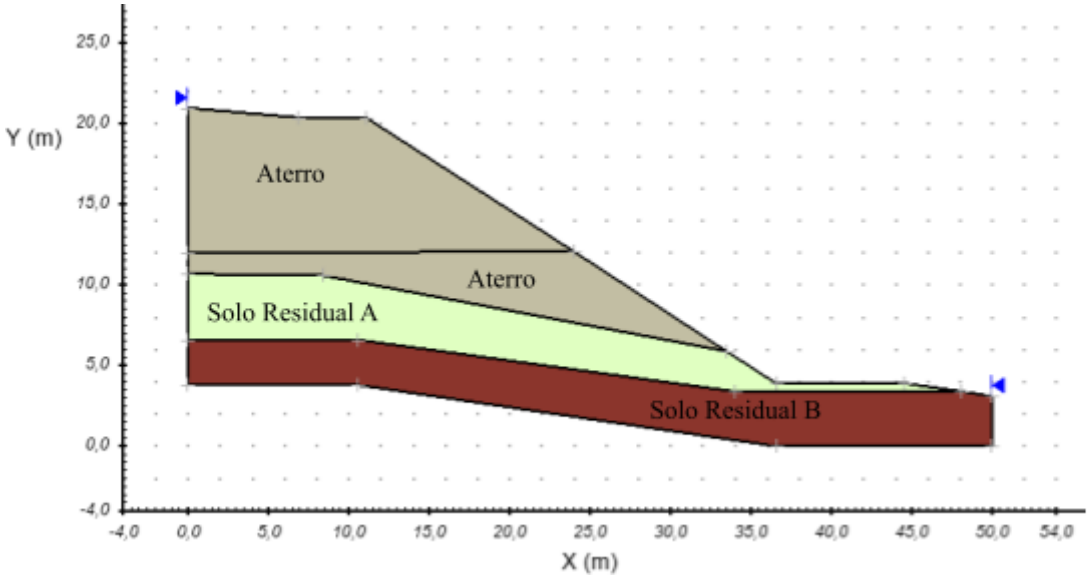


Figura 1 – Geometria do talude [9].

3.1 Condições de contorno e carregamento

Para representar as condições atuantes sobre o talude, foi adotada uma sobrecarga de 5 kN/m², correspondente ao carregamento de tráfego de veículos na rodovia, conforme a norma brasileira NBR 7188:1982 [2]. Esse valor foi aplicado na superfície do platô superior do talude, simulando as condições reais de uso da via. As condições de contorno foram definidas de modo a reproduzir adequadamente o comportamento estrutural do sistema. Neste estudo, optou-se pela utilização de 6 tirantes ancorados com calda de cimento (grouted tieback), que funcionam aderindo ao solo ao longo da porção ancorada, em consonância com as orientações da norma brasileira NBR 5629 [1].

Tal seleção se explica pelas propriedades geotécnicas do talude, formado majoritariamente por solos residuais, o que impede o uso de tirantes do tipo ancorados na extremidade, que exigem a existência de rochas sólidas para uma ancoragem segura na ponta. Alternativas como *micro estacas*, embora eficazes em certos contextos, demandam baixas inclinações de instalação, o que comprometeria sua eficiência estrutural e construtiva em taludes com geometrias mais inclinadas, como é o caso neste projeto.

4. MATERIAIS

Os parâmetros geotécnicos, utilizados para a definição dos materiais foram baseados no trabalho de Joly e Montezuma [9], os quais foram determinados com base em sondagens à percussão (SPT). Esses dados representam as propriedades das 3 camadas identificadas no perfil, incluindo valores de peso específico, coesão e ângulo de atrito para cada uma das partes analisadas. Os dados estão dispostos na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 - Materiais

Camadas	Peso específico [kN/m³]	Coesão [kPa]	Ângulo de atrito [°]
Aterro	15	15	21
Solo Residual A	18	18	30
Solo Residual B	21	23	40

A Tabela 3 apresenta os principais parâmetros adotados na modelagem numérica dos tirantes, conforme orientações da literatura técnica. Os valores foram selecionados com base em recomendações do PTI DC 35.1-14 [14] e em dados obtidos por Goehring et al. [7] e Kim [10] buscando representar adequadamente as condições geométricas do talude analisado.

Tabela 3 - Características dos tirantes

Parâmetro	Valor adotado	Referência
Adesão na interface (c_0)	9,6 kPa	PTI DC 35.1-14 [14]
Ângulo de inclinação do talude (φ)	38°	Joly e Montezuma [9]
Ângulo de atrito da interface (δ)	23° ($\approx 0{,}6\,\varphi$)	PTI DC 35.1-14 [14]
Espaçamento "in-plane" entre as amarras	5 m	Goehring et al. [7]
Comprimento da zona aderida	75 % do comprimento total	PTI DC 35.1-14 [14]
Capacidade nominal (tração e placa)	800 kN	Kim [10]

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para garantir a confiabilidade das simulações realizadas neste estudo, foi executada uma etapa de comparação do modelo numérico no Plaxis LE 2D. A Figura 2 apresenta um gráfico com a comparação entre os fatores de segurança do talude sem reforço obtidos nas simulações, com os resultados base de Joly e Montezuma [9], para diferentes níveis de água variada entre 5,9 m e 12,1 m. A proximidade entre os valores obtidos e os dados de referência mostram a adequação do método adotado, considerando que o modelo numérico atual utiliza as mesmas propriedades geotécnicas e geometria do estudo original.

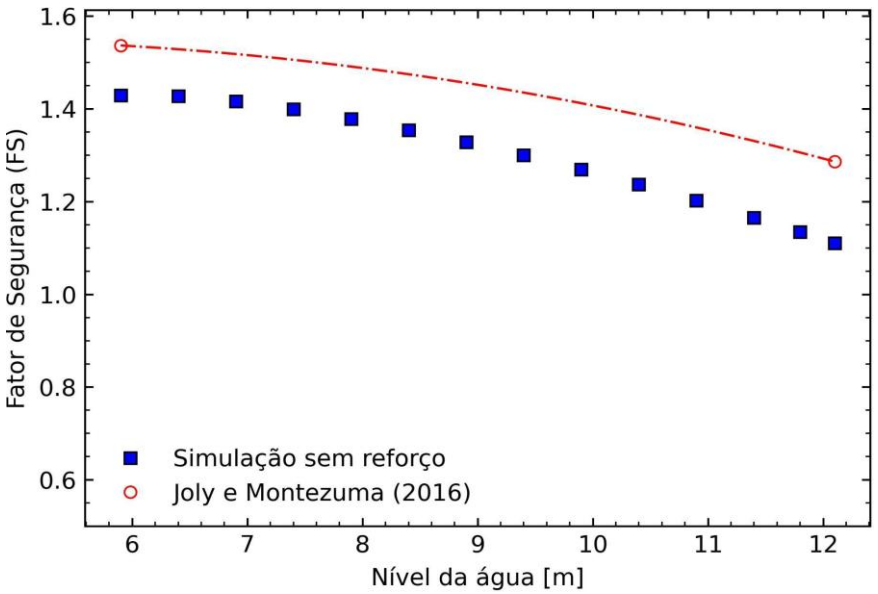


Figura 2 – Gráfico de comparação.

A Figura 3 apresenta o modelo geotécnico gerado no Plaxis LE 2D para o talude analisado, evidenciando a superfície de ruptura crítica. A coloração ao longo do contorno representa o fator de segurança global (FS), conforme escala indicada.

A superfície de ruptura identificada intercepta diversas camadas do solo e se propaga de forma profunda até a base da encosta, indicando um mecanismo de instabilidade global. Segundo a norma NBR 5629 [1], o FS de 1,11 indica uma situação de alto risco.

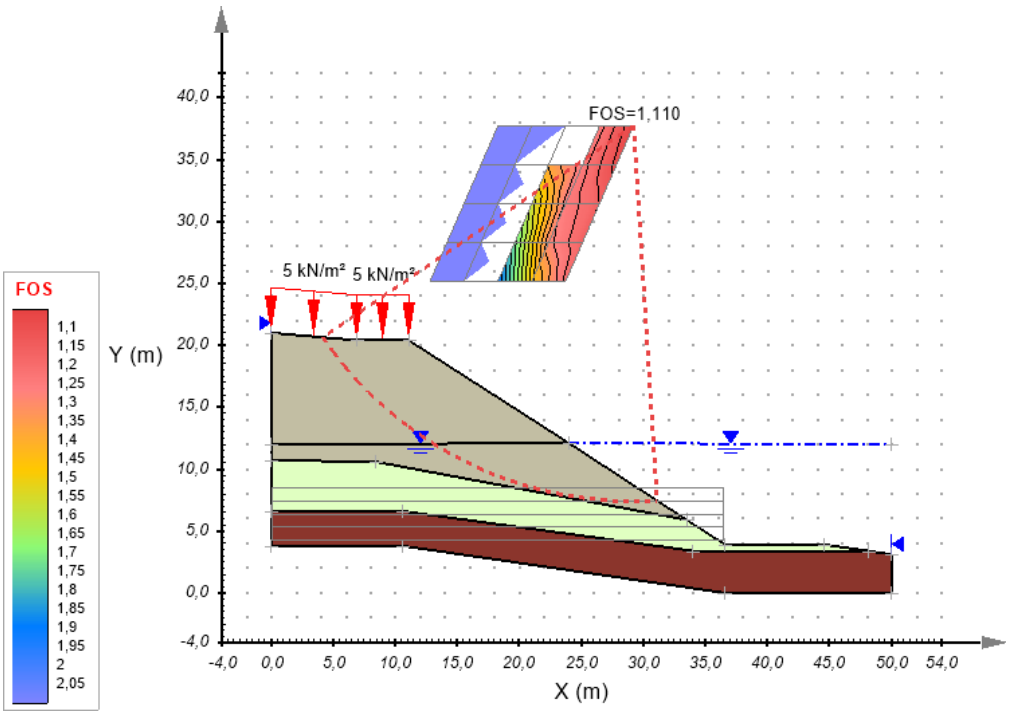


Figura 3 – Superfície de ruptura e distribuição do Fator de Segurança.

Após a etapa de comparação do modelo sem reforço, foi realizada uma análise paramétrica com a implementação de um sistema de contenção do tipo tirante Grouted Tieback (com atrito). Com o objetivo de verificar o efeito do comprimento do tirante no valor do fator de segurança. É importante destacar que, para que o sistema de reforço por Grouted Tieback (com atrito) seja efetivo, os elementos de ancoragem devem cruzar a superfície de ruptura. A Figura 3 apresenta a variação do fator de segurança em função do comprimento do tirante, variando entre 6 m e 25 m.

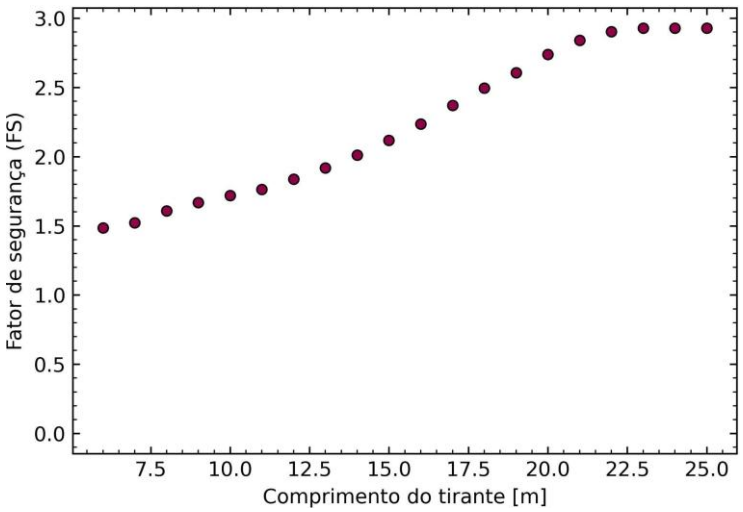


Figura 4 – FS em função do comprimento do tirante.

De acordo com a recomendação da norma PTI DC 35.1-14 [14], o comprimento típico para tirantes deve variar entre 6 e 12 metros, faixa adotada como referência nesta análise. Conforme o comprimento do tirante aumenta, há também um aumento progressivo do fator de segurança. Observando o gráfico, nota-se que o crescimento é mais acentuado até os 20 metros, em torno de 22 metros, o FS fica constante. Então, o valor de 3,325 para o fator de segurança, pode ser considerado como o cenário de maior FS possível para o talude estudado.

A seguir, foi avaliado o impacto do diâmetro do tirante no fator de segurança, considerando o comprimento máximo obtido na análise anterior (22 m). A Figura 4 apresenta a variação do FS em função do diâmetro do tirante, variando entre 0,116 m e 0,27 m. Observa-se que o aumento do diâmetro contribui para o incremento do fator de segurança, principalmente entre os valores iniciais de 0,116 m e 0,17 m. A partir desse ponto, o ganho no FS se torna gradualmente menor, estabilizando em torno de 3,3.

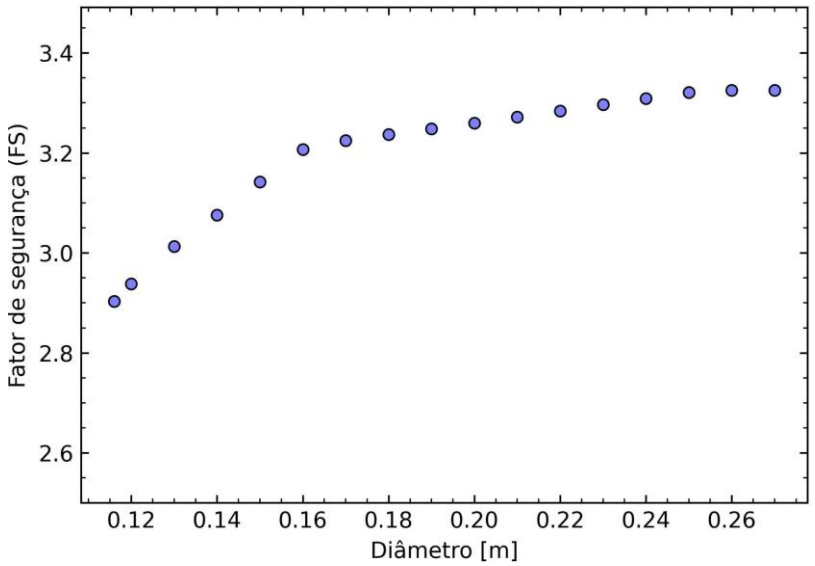


Figura 5 – FS em função do diâmetro do tirante.

Com o objetivo de avaliar o desempenho global do sistema proposto em diferentes configurações, foram definidos quatro cenários distintos:
Caso 1 = Comprimento do tirante de 22 metros, e diâmetro de 0,25 m
Caso 2 = Comprimento do tirante de 17 metros, e diâmetro de 0,25 m
Caso 3 = Comprimento do tirante de 14 metros, e diâmetro de 0,18 m
Caso 4 = Comprimento do tirante de 12 metros, e diâmetro de 0,4 m

A Figura 6 apresenta a comparação do FS ao longo de diferentes níveis de água para os quatro casos analisados, além da condição inicial sem reforço.

Verifica-se que, em todos os níveis de água, os quatro casos com reforço apresentaram desempenho significativamente superior em relação ao talude sem contenção. O caso 1 é superdimensionado para se ter o maior FS, alcançando valores superiores a 3, porém, pelas limitações geométricas do modelo, os tirantes teriam tamanhos diferentes entre si, dificultando sua instalação. Além disso, o superdimensionamento também gera custos elevados que não são justificados.

No caso 2, todos os tirantes possuem o mesmo comprimento. Quando os tirantes possuem uniformidade, proporcionam uma padronização que resultará na otimização do serviço e assim evita custos desnecessários. Mesmo com tirantes 5 metros mais curtos em relação ao Caso 1, o FS se manteve próximo, isso indica que, quando se utiliza um diâmetro maior de tirante, a redução no comprimento tem um impacto menor no FS. Especialmente se comparado com a variação no gráfico da Figura 3.

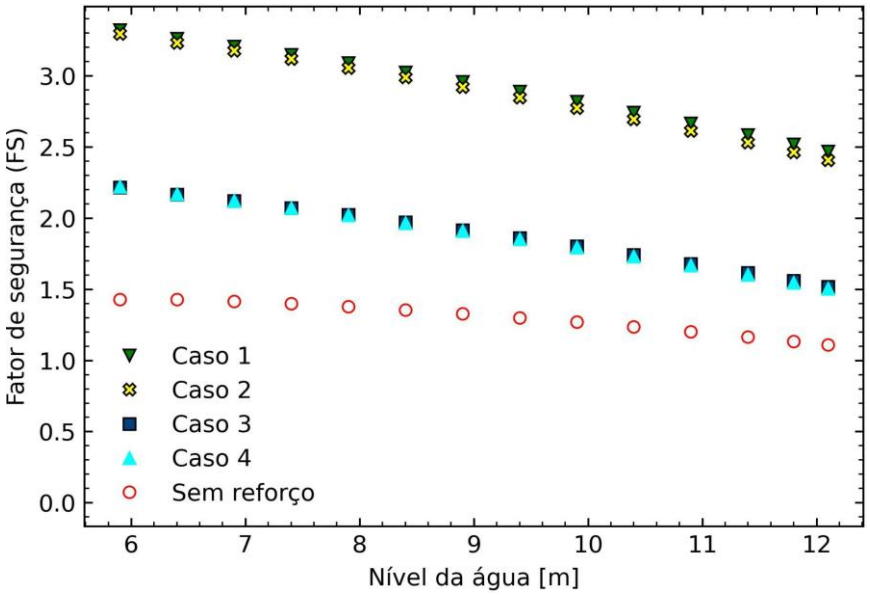


Figura 6 – FS em função do nível da água.

Foi possível verificar que o caso 3 é o mais adequado, visto que ele atende a NBR 5629 [1], que determina que, para este tipo de reforço é necessário que o FS seja de 1,5, para que seja possível assegurar um alto potencial de confiabilidade. Neste caso, foi alcançado o FS de 1,519 com o nível da água elevado, o que garante um alto desempenho e proporcionando uma maior economia na execução em comparação aos demais casos.

Foi analisado também o caso 4, considerando um comprimento de tirante de 12 metros, para que fique dentro do intervalo recomendado por PTI DC 35.1-14 [14]. Entretanto, para que o FS seja maior que 1,5, o diâmetro dos tirantes precisou ser superior a 0,4 metros, o que fica fora dos valores do gráfico da Figura 5, onde foi estipulado que a partir de 0,25 m, o ganho de FS é mínimo. Isso indica que, ao variar o comprimento do tirante, o ponto a partir do qual o aumento do diâmetro deixa de gerar ganhos significativos no FS também se altera.

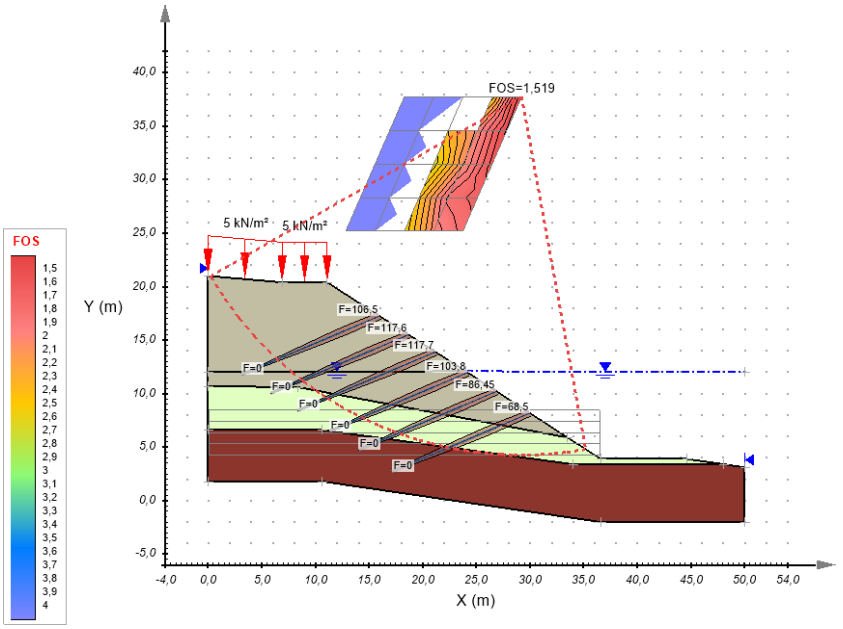


Figura 7 – Caso 3.

A Figura 7 mostra o resultado da análise de estabilidade do talude do caso 3. Observa-se que a superfície de ruptura atravessa, parcialmente o corpo do aterro e penetra na camada de solo residual, evidenciando as regiões onde a geometria do talude "cruza" a linha de ruptura prevista. As forças mobilizadas em cada ancoragem (valores em kN) confirmam a contribuição individual dos cabos para conter o movimento, garantindo a estabilidade global do talude.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou a importância da análise de estabilidade de taludes e da adoção de medidas preventivas para garantir a segurança de obras geotécnicas, especialmente em regiões sujeitas a variações climáticas intensas e à influência de ações antrópicas. Utilizando o Plaxis LE 2D, foi possível avaliar o comportamento do talude analisado, submetido a diferentes condições de carregamento e reforço. A análise paramétrica demonstrou que a implementação de tirantes do tipo Grouted Tieback (com atrito) teve um impacto positivo na elevação do fator de segurança (FS), especialmente quando o comprimento e o diâmetro dos tirantes foram ajustados adequadamente.

Dentre os cenários analisados, os casos 3 e 4 atingiram um FS maior que 1,5 mesmo sob nível elevado de água, o que está em conformidade com as exigências da norma NBR 5629 [1]. Entretanto, o caso 3 é preferível por apresentar desempenho satisfatório com um sistema de contenção mais leve e econômico, cerca de cinco vezes mais barato e com menor volume de material em comparação ao caso 4. Além disso, a geometria adotada no caso 3 garante que uma porção mais expressiva do tirante esteja dentro da zona resistente, enquanto no caso 4 apenas a extremidade do tirante atinge essa região. Ainda que o comprimento do tirante no caso 3 esteja ligeiramente fora da faixa recomendada por PTI DC 35.1-14 [14], os resultados indicam que a solução atende aos critérios de segurança com eficiência técnica e menor impacto financeiro.

Portanto, é possível afirmar que o Plaxis LE 2D, aliado ao dimensionamento criterioso de elementos de contenção, representa uma estratégia eficaz para garantir a estabilidade de taludes. A abordagem adotada permite a identificação de soluções otimizadas, promovendo maior segurança, durabilidade e economia nas intervenções geotécnicas. Além disso, reforça a necessidade do monitoramento contínuo e da adoção de boas práticas de engenharia para mitigar riscos e prevenir desastres associados à instabilidade de massas de solo.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5629: **Execução de tirantes ancorados no terreno**. Rio de Janeiro, 2018.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: **Cargas móveis em pontes rodoviárias e passarelas para projeto e cálculo**. Rio de Janeiro, 1982.

[3] BANNE, M. A. et al. **Evaluation of lateritic soil stabilised with xanthan gum for slope stability using numerical limit equilibrium analysis.** KSCE Journal of Civil Engineering, 2024.

[4] BANNE, S. P. et al. **Slope stability analysis of xanthan gum biopolymer treated laterite soil using Plaxis Limit Equilibrium Method (PLAXIS LE)**. KSCE Journal of Civil Engineering, [S.l.], v. 28, n. 4, p. 1205–1216, 2024

[5] CARVALHO, B. **Em 2011, chuvas que atingiram região serrana do RJ deixaram quase mil mortos**, CNN Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/noticias/em-2011-chuvas-que-atingiram-regiao-serrana-do-rj-deixaram-quase-mil-mortos/>. Acesso em: 21 de julho de 2025.

[6] DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** Tradução da 7. ed. americana. Tradução: EZ2Translate. Revisão técnica: Leonardo R. Miranda. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

[7] Goehring, R. L. (2019). **Design and Repair of a Reinforced Steep Slope, Pinnacle Shopping Center at Tutwiler, Birmingham, AL. In Embankments, Dams, and Slopes**: Selected Papers from Geo-Congress 2019 (GSP 305), pp. 180–194. Reston, VA: ASCE.

[8] INABAH, Redha Fatki; SUKAMTA. **Slope stability analysis with bore piles for landslide prevention using Plaxis LE 2D**. *TEKNIK*, v. 46, n. 2, p. 96–102, 2025.

[9] JOLY, N. H.; MONTEZUMA, P. R. M. **Análise geoestatísticada estabilidade de um talude rodoviário.** XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. O Futuro Sustentável do Brasil passa por Minas,COBRAMSEG 2016 — 19-22 Outubro, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil © ABMS, 2016.

[10] Kim, N. K. (2003). **Performance of Tension and Compression Anchors in Weathered Soil**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 129(12), 1138–1150.

[11] KUMAR, Sumit et al. **Analysis of 2D and 3D slope stability using the Bishop simplified method.** In: CISCE-2023. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 1326, p. 012117, 2024.

[12] LEROY, L.; NOUBE, L.; DJEUFACK, R. **Comparative analysis of slope stability using Slide and PLAXIS 2D in the context of pozzolanic mining.** Applied and Environmental Soil Science, 2024.

[13] MEKKI, F. **Investigation of the effect of dilation angle of soil on the performance of grouted tieback under axial static load by analytical approach.** SSP - Journal of Civil Engineering, v. 19, n. 1, 2024. DOI: 10.2478/sspjce-2024-0001.

[14] POST-TENSIONING INSTITUTE. *PTI DC35.1-14:* **Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors**. 1. ed. Farmington Hills, MI: PTI, 2014.

[15] RAZAK, M. R. A.; NUJID, M. M. **Slope stability analysis of active and passive soil-nailed systems using PLAXIS 2D.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 1369, p. 012020, 2024.

[16] THAKUR, S.; SHARMA, R. K. **Integrated slope stability assessment and solutions using PLAXIS 2D and GEO5.** Journal of Mining and Environment, v. 16, n. 3, p. 925–946, 2025.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-51

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO DO AÇO NA CORROSÃO INDUZIDA POR CLORETOS EM CONCRETO COM FÍLER CALCÁRIO

OLIVEIRA, Marina Cartaxo Braga Morais de[1]; DIAS, Bruno Delfino[2]; SOUSA, João Willian Leite Filgueira de[3]; SANTOS, Robson Arruda dos[4]; MELO NETO, Antônio Acácio de[5]

[1] Universidade Federal de Pernambuco, Laboratório de Tecnologia dos Aglomerantes, Brasil, cartaxo.braga@ufpe.br, 0000-0001-6336-6868
[2] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil, Brasil, bruno.dias@academico.ifpb.edu.br
[3] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil, Brasil, joao.willian@academico.ifpb.edu.br
[4] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil, Brasil, robson.santos@ifpb.edu.br
[1] Universidade Federal de Pernambuco, Laboratório de Tecnologia dos Aglomerantes, Brasil, antonio.meloneto@ufpe.br

RESUMO

A proteção das armaduras em concreto armado contra corrosão depende do cobrimento e da alcalinidade do concreto. A corrosão do aço é uma das principais causas de deterioração estrutural, impulsionando a busca por soluções sustentáveis, como a substituição parcial do cimento por fíler calcário. Este estudo avaliou a influência do tipo de concreto e da condição superficial das barras de aço (limpas e oxidadas) na corrosão, considerando diferentes diâmetros. Ensaios de imersão em soluções de cloreto foram realizados para medir a taxa de corrosão por meio de diferenças de potencial. Os resultados indicaram que o diâmetro das barras teve maior impacto na despassivação do que a condição da superfície do aço, especialmente no concreto com fíler calcário. Nesse concreto, as barras de menor diâmetro apresentaram maior suscetibilidade à corrosão, independentemente da oxidação prévia. Apesar de sua boa resistência mecânica, o concreto com fíler calcário teve um desempenho inferior na proteção das armaduras em comparação ao concreto de referência. O estudo evidencia a necessidade de analisar os efeitos da incorporação de finos na durabilidade do concreto, reforçando a importância da escolha adequada dos materiais para garantir a longevidade das estruturas.

Palavras-chave: corrosão; cloretos; fíler calcário; concreto.

ABSTRACT

The protection of reinforcement in reinforced concrete against corrosion depends on the concrete cover and its alkalinity. Steel corrosion is one of the main causes of structural deterioration, driving the search for sustainable solutions such as the partial replacement of cement with limestone filler. This study evaluated the influence of concrete type and surface condition of steel bars (clean and oxidized) on corrosion, considering different diameters. Immersion tests in chloride solutions were conducted to measure corrosion rates through potential differences. The results indicated that bar diameter had a greater impact on depassivation than surface condition, particularly in concrete with limestone filler. In this concrete, smaller-diameter bars were more susceptible to corrosion, regardless of prior oxidation. Despite its good mechanical strength, limestone filler concrete performed worse in protecting reinforcements compared to reference concrete. The study highlights the need to assess the effects of fine incorporation on concrete durability, emphasizing the importance of selecting appropriate materials to ensure the longevity of structures.

Keywords: corrosion; chlorides; limestone filler; concrete.

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade do concreto armado depende, em grande parte, da proteção das armaduras contra a corrosão. Essa proteção ocorre por dois mecanismos principais: a barreira física do cobrimento e a proteção química proporcionada pela alta alcalinidade da solução nos poros do concreto, que mantém o aço em estado passivo [1]. Contudo, essa camada protetora pode ser rompida por íons cloreto, oriundos de insumos contaminados ou de ambientes agressivos, como zonas litorâneas, industriais e urbanos, ou ainda introduzidos em sais usados para derretimento de gelo [4, 24]. A penetração desses íons é facilitada por fissuras e porosidades na matriz cimentícia, acelerando o processo de corrosão eletroquímica, que compromete a integridade estrutural do concreto armado [23, 25].

Estudos indicam que a corrosão induzida por cloretos é a principal causa de deterioração em estruturas de concreto armado, representando até 64% dos casos reportados [5–7]. O rompimento da camada passiva leva à formação de produtos expansivos, como a ferrugem, que causam fissuração e delaminação do cobrimento. Esse problema é bastante comum na construção civil e se apresenta em superfícies oxidadas que dificultam a repassivação mesmo em meios de elevada alcalinidade. Dessa forma, a condição superficial da armadura e o seu diâmetro passam a exercer influência direta sobre a durabilidade da estrutura.

Além das preocupações com durabilidade, a construção civil enfrenta desafios ambientais significativos, sendo responsável por cerca de 37% das emissões globais de CO_2, dos quais até 8% são atribuídos à indústria do cimento [8–9]. No Brasil, o setor consome aproximadamente 75% dos recursos naturais extraídos e responde por uma fração expressiva da geração de resíduos sólidos [10, 12]. Esse cenário reforça a necessidade de soluções construtivas mais sustentáveis, capazes de reduzir a pegada de carbono sem comprometer o desempenho técnico das estruturas.

Uma alternativa promissora nesse contexto é a substituição parcial do cimento por adições minerais, ativas ou inertes. Entre os materiais com potencial para essa finalidade, destaca-se o fíler calcário, tradicionalmente utilizado como adição inerte, mas que tem demonstrado capacidade de refinar a microestrutura, reduzir a porosidade e melhorar o empacotamento granular do concreto, sobretudo quando disperso por aditivos plastificantes e integrado a um projeto granulométrico eficiente [13–17]. O fíler apresenta partículas finas, de formato geralmente esférico, que se posicionam entre os grãos de cimento e agregados, promovendo maior densidade da matriz e menor demanda por água.

A otimização da distribuição de partículas no concreto tem sido tema de estudos desde o trabalho pioneiro de R. Feret em 1892, que destacou a importância de selecionar agregados com base na redução da porosidade e no aumento da resistência [18]. Avanços significativos ocorreram em 1907, com a curva contínua de Füller e Thompson, baseada em um coeficiente fixo de distribuição, e em 1930, com o modelo de Andreasen e Andersen, que introduziu flexibilidade ao coeficiente. Posteriormente, Funk e Dinger aperfeiçoaram esse modelo ao estabelecer um limite inferior de diâmetro para as partículas. O modelo resultante, conhecido como Modelo de Alfred ou Andreasen modificado, é expresso pela Equação 1, e permite prever a fração acumulada de partículas em função do seu tamanho [19–21].

$$CCCCCCCC(\%) = 100 \left[\frac{DD^{qq} - DD_{ss}^{qq}}{DD_{ll}^{qq} - DD_{ss}^{qq}}\right] \quad (1)$$

Onde, CPFT é a porcentagem volumétrica de partículas menores que o diâmetro D, D_l e D_s são os diâmetros máximo e mínimo das partículas, respectivamente, e q é o coeficiente de distribuição.

Estudos computacionais indicam que valores de $q \leq 0{,}37$ resultam no empacotamento máximo das partículas, reduzindo os vazios e melhorando o desempenho do concreto tanto no estado fresco quanto endurecido [21, 22]. A distribuição granulométrica ideal pode ainda ser ajustada por métodos como a programação linear, buscando minimizar desvios da curva teórica de empacotamento e otimizando propriedades como trabalhabilidade, resistência e durabilidade.

Neste contexto, o presente estudo investiga a influência da condição superficial e do diâmetro das armaduras na corrosão de concretos com alto teor de fíler calcário, dosados com empacotamento de partículas, expostos a soluções com íons cloreto. O uso elevado desse material pode reduzir a reserva alcalina do concreto, o que pode comprometer a estabilidade da camada passiva. A avaliação do potencial de corrosão, conforme estabelecido na norma ASTM C876 [39], é empregada como ferramenta de monitoramento ao longo do tempo, permitindo verificar a integridade das armaduras e os efeitos de cada variável sobre a durabilidade das estruturas.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

O concreto foi produzido com cimento Portland tipo V de alta resistência inicial (CP V–ARI). No traço com menor teor de cimento, utilizou-se fíler calcário como substituto parcial, obtido pela moagem do calcário em partículas menores que 75 micrômetros. A composição química do cimento e do fíler foi analisada por Fluorescência de Raios X (FRX), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do cimento Portland e do fíler calcário.

Cimento Portland											
Óxidos	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	CaO	BaO	P_2O_5	SO_3
(%)	22,11	3,99	3,41	1,97	0,96	0,43	0,37	62,25	0,09	0,64	3,51
Fíler Calcário											
Óxidos	CaO	SiO_2	Fe_2O_3	K_2O	SrO	CuO	MnO				
(%)	95,74	3,46	0,46	0,10	0,10	0,09	0,05				

Os agregados utilizados no concreto apresentaram diferentes granulometrias, com areias finas, médias e grossas para os agregados miúdos, e brita com diâmetro máximo de 9,5 mm para os graúdos, garantindo uma boa distribuição granulométrica. Para melhorar a trabalhabilidade e reduzir a relação água/cimento sem comprometer a resistência, foi adicionado o superplastificante GCP ADVA 525, à base de policarboxilato. As armaduras empregadas foram barras de aço-carbono nervuradas dos tipos Gerdau CA-50 (diâmetros de 6,3 mm e 16 mm) e CA-60 (diâmetro de 5 mm).

2.2 Caracterização dos materiais

i. Cimento, fíler calcário e agregados

Para caracterizar o cimento e fíler calcário, foi realizado ensaio de granulometria utilizando a técnica de difração a laser, com o equipamento CILAS 1090 SECO, analisando partículas dentro da faixa de 0,10 a 500 µm, distribuídas em 100 classes. A finura do fíler calcário foi semelhante à do cimento Portland, indicando a viabilidade da substituição parcial do cimento pelo firme, anteriormente sugerido por De Grazia *et al.* [27].

Para definir o traço do concreto, foi realizado o empacotamento de partículas, separando as areias por peneiramento em três categorias: fina (≤0,6 mm), média (0,6–1,2 mm) e grossa (>1,2 mm). A análise granulométrica seguiu a ABNT NBR 17054 [40], enquanto a determinação da massa específica foi realizada conforme a ABNT NBR 52 [41] para agregados miúdos e a ABNT NBR 53 [42] para agregados graúdos.

2.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

i. Empacotamento de partículas

O empacotamento de partículas foi realizado utilizando o programa Q-Mix, desenvolvido por Santos [28], que calcula curvas granulométricas com base no modelo de Andreasen Modificado. O software, detalhado por Santos *et al.* [29], recebe como entrada a composição granulométrica dos agregados e o coeficiente de distribuição q. A partir desses dados, gera o CPFT e combina os agregados linearmente, identificando a melhor proporção por meio da minimização do desvio entre a curva-alvo e a curva real, utilizando o critério de DM como métrica de ajuste.

ii. Tratamento das barras de aço e características do concreto

As barras de aço adquiridas apresentavam sinais de corrosão superficial devido à exposição ambiental. Para avaliar a influência da oxidação na resistência à corrosão, metade das barras passou por tratamento mecânico com decapagem através de escovação rotativa usando palha de aço, removendo os produtos de corrosão visíveis. Cada barra teve uma região de 3,0 cm exposta ao meio agressivo, enquanto o restante foi isolado com fita adesiva, deixando 1,0 cm exposto

na extremidade oposta para ensaios de corrosão. A área efetiva de exposição foi calculada para cada diâmetro: 6,25 cm² (CA-50, 6,3 mm), 17,09 cm² (CA-50, 16 mm) e 4,91 cm² (CA-60, 5 mm).

O concreto foi preparado conforme Santos *et al.* [29] e compactado com vibrador mecânico. Foram moldados oito corpos de prova cilíndricos (10 × 20 cm) e doze cúbicos (8 × 8 × 8 cm), cada um contendo duas barras de aço com cobrimento de 1,5 cm. Após 24 horas, os corpos foram desmoldados, identificados e curados em água saturada com hidróxido de cálcio. Dois traços foram produzidos: um de referência (Ref), contendo apenas cimento, e outro com fíler calcário (TF), substituindo 44% do volume de cimento, conforme estudo prévio de Santos *et al.* [29]. A relação água/aglomerante foi mantida em 0,36, com 1,8% de superplastificante em relação à massa de cimento e abatimento de 100±5mm

O consumo de materiais está detalhado na Tabela 2. As pequenas variações nos quantitativos de cimento e aglomerante total (cimento + fíler calcário) entre os traços devem-se a ajustes necessários para manter constante a relação água/aglomerante, adotada como referência para ambos os traços. No traço TF, o fíler calcário substituiu parcialmente o cimento Portland, mantendo-se a proporção total de ligante próxima à do traço Ref (460,75 kg/m³ vs. 463,40 kg/m³), com variações esperadas em função da adequação dos agregados ao novo volume de pasta.

Tabela 2 – Consumo de materiais por mistura (kg/m^3).

Consumo de materiais do concreto (kg/m^3)							
Traço	Cimento	Fíler Calcário	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Brita	Água
Ref	463,40	-	306,56	73,99	391,05	1019,33	168,51
TF	258,02	202,73	305,36	73,71	389,52	1015,34	167,85

2.4 Ensaios

i. Resistência à compressão e Índice de ligante

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 5739 [43]. Os testes foram conduzidos aos 7 e 28 dias de idade do concreto.

Damineli *et al.* [11] propuseram o Índice de Ligante (IL), que mede a eficiência do concreto em relação ao consumo de cimento e à resistência mecânica, permitindo avaliar tanto o desempenho quanto o impacto ambiental. O IL é calculado pela razão entre o consumo de cimento (C, em kg/m³) e a resistência à compressão (R, em MPa), expressa na Equação 2.

$$IIII = \frac{CC}{RR} \tag{2}$$

ii. Ciclos de imersão e secagem e Monitoramento eletroquímico

Os corpos de prova para o ensaio de corrosão foram submetidos a ciclos alternados de imersão e secagem, conforme metodologias da literatura. Para delimitar a área exposta, quatro faces foram isoladas com pintura epóxi bicomponente. Os ciclos consistiram em 2 dias de imersão em solução de NaCl 1 molar, seguidos por 5 dias de secagem em estufa a 40°C, conforme recomendações de Page *et al.* [31], Silva [32], Kishimoto [33], Cabral [34], Santos [35] e Angst *et al.* [36].

Ao final de cada ciclo de imersão e secagem, o potencial de corrosão foi medido utilizando um multímetro e um eletrodo de referência de prata/cloreto de prata (Ag/AgCl), composto por um fio de prata recoberto por cloreto de prata e imerso em solução de KCl. Um contraeletrodo de aço inoxidável foi empregado para completar o circuito de medição, permitindo a avaliação da atividade eletroquímica das armaduras. O critério de avaliação segue a ASTM C 876 [39], onde medições do potencial são definidas em zonas de probabilidade de corrosão. Potenciais mais negativos que −350 mV, a probabilidade de corrosão da armadura é superior a 90%, indicando alto risco. Se o potencial for mais positivo que −200 mV, a probabilidade de corrosão é inferior a 10%, sugerindo baixo risco. Já para valores entre −200 mV e −350 mV, a ocorrência de corrosão é incerta, não sendo possível afirmar com segurança o estado da armadura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos materiais

As massas específicas dos materiais e agregados utilizados estão apresentadas na Tabela 3. A análise granulométrica a laser (Figura 1) evidenciou a semelhança na distribuição de partículas entre o cimento Portland e o fíler calcário, sugerindo que a substituição parcial do cimento por fíler é viável, sem comprometer significativamente a estrutura da matriz cimentícia. As curvas granulométricas das areias indicaram adequada segregação por faixas, com perfis distintos entre as classificações fina, média e grossa, conforme o esperado. A brita 0, por sua vez, apresentou distribuição compatível com a de agregados graúdos, com dimensão máxima característica de 9,5 mm, atendendo aos requisitos estabelecidos pelas normas técnicas para essa faixa granulométrica e estão apresentados na Figura 2.

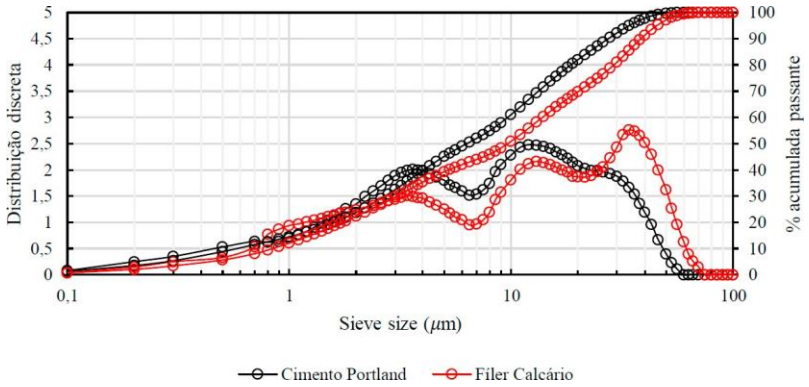


Figura 1 – Granulometria a laser dos materiais finos.

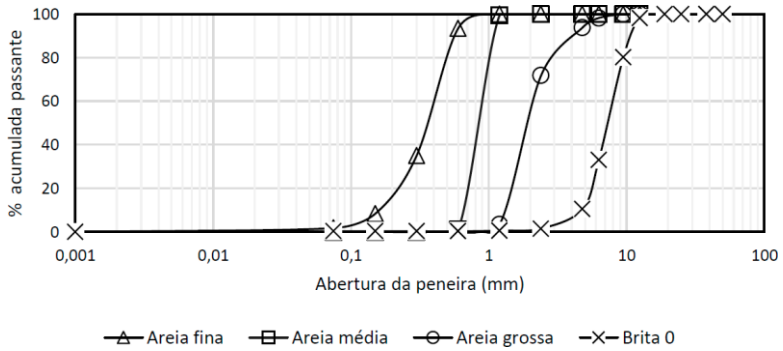


Figura 2 – Análise granulométrica dos agregados miúdos e graúdo.

Tabela 3 – Massa específica dos materiais.

Massa específica (g/cm^3)					
Cimento	Fíler Calcário	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Brita
3,04	2,86	2,66	2,64	2,62	2,63

3.2 Resistência à compressão e Índice de ligante

Os resultados de resistência à compressão (Figura 3) mostram que, aos 28 dias, o concreto de referência (100% cimento) apresentou uma resistência 38,8% superior ao traço TF, no qual 44% do cimento foi substituído por fíler calcário, mantendo o mesmo esqueleto granular. Esse comportamento está de acordo com estudos anteriores sobre os efeitos da substituição do cimento por fíler calcário na resistência mecânica do concreto [37, 44].

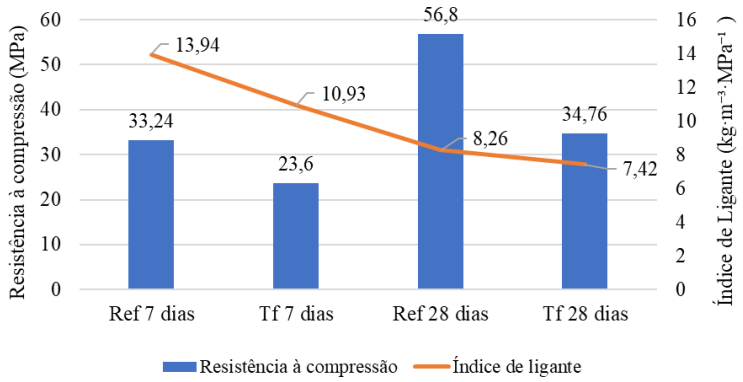


Figura 3 – Resistência à compressão e índice de ligantes das misturas.

Feltrin e Isaia [17] observaram que concretos com 10% e 15% de fíler calcário alcançaram cerca de 50 MPa aos 28 dias para uma relação a/c de 0,35. Com 20% de substituição, a resistência aumentou, sugerindo um teor ótimo. No presente estudo, com 44% de substituição, o concreto TF atingiu 35 MPa, indicando que há um limite de substituição além do qual a resistência mecânica é comprometida.

De acordo com Damineli *et al.* [11], concretos com IL ≤ 5 kg·m^{-3}·MPa^{-1} são classificados como de alta eficiência. Conforme os resultados apresentados na Figura 3, nenhum dos traços atingiu essa classificação aos 7 dias. No entanto, aos 28 dias, o traço TF se aproximou desse limite (7,42 kg/m^{3}Mpa^{-1}), indicando uma melhoria na eficiência do ligante ao longo do tempo. Com esse resultado, torna-se evidente que ao se aplicar uma correta dosagem e esqueleto granular otimizado, é possível melhorar a eficiência do ligante.

3.3 Monitoramento eletroquímico

A Figura 4 e 5 apresenta os resultados do potencial de corrosão para diferentes diâmetros de barras de aço nos dois traços de concreto. Não foi observada uma correlação clara entre diâmetro e condição superficial das barras com a passivação do aço, embora as barras limpas tenham mostrado melhor desempenho nos diâmetros 6,3 mm e 16 mm, apresentando potenciais menos negativos em comparação às oxidadas, que demonstraram tendência à despassivação.

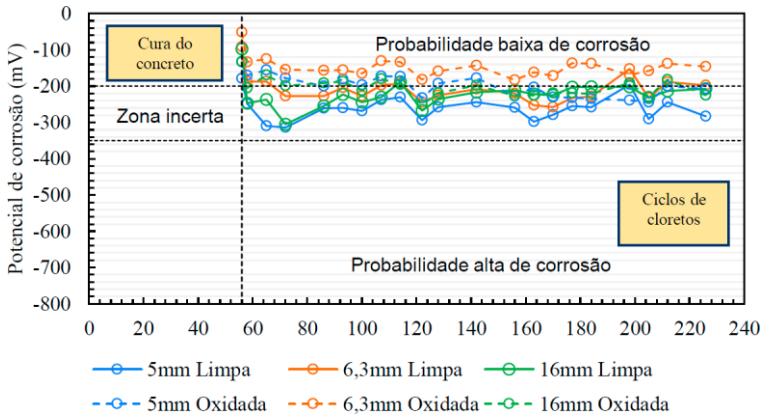


Figura 4 – Potencial de corrosão da mistura Ref.

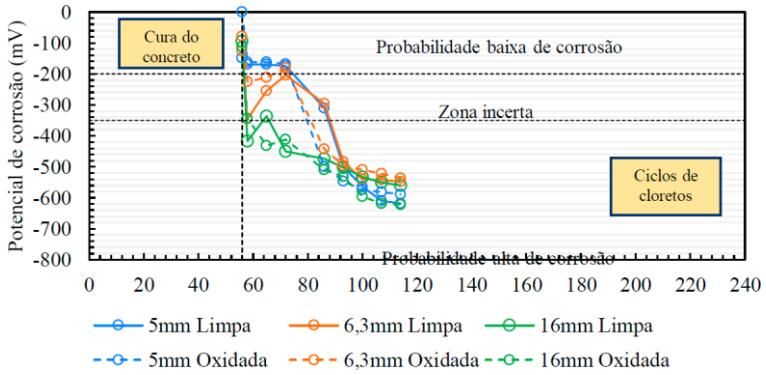


Figura 5 – Potencial de corrosão da mistura TF.

No concreto com fíler calcário, as barras de 16 mm sofreram despassivação já nos primeiros ciclos de cloretos, apesar da resistência de 34 MPa, sugerindo que a maior umidade interna favoreceu a corrosão, conforme indicado por Rodrigues *et al.* [30], que destacam que a taxa de corrosão é influenciada principalmente pelo teor de água e pela distribuição dos poros ao redor das armaduras. A partir do terceiro ciclo, todas as barras iniciaram o processo de corrosão, com as de 16 mm exibindo potenciais ainda mais negativos, indicando corrosão avançada.

O tipo de concreto influenciou significativamente a proteção das armaduras. O concreto com 100% de cimento (Ref) apresentou potenciais até -300 mV mais positivos do que o concreto com fíler, demonstrando maior eficácia na estabilização das armaduras, mesmo com sinais iniciais de oxidação. Já o concreto com fíler calcário não garantiu uma passivação completa, resultando em despassivação precoce. Os resultados confirmam que a substituição parcial do cimento por fíler calcário reduziu a reserva alcalina do concreto, comprometendo a proteção das armaduras e tornando o material mais suscetível à corrosão.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, destacam-se os seguintes pontos:

- Condição da superfície do aço: as barras limpas (tratadas) apresentaram ligeira vantagem na passivação nos diâmetros 6,3 mm e 16 mm, mas sem tendência clara, não sendo possível afirmar que a condição superficial influenciou decisivamente a corrosão.

- Impacto do diâmetro das barras: No concreto de referência (Ref), com maior alcalinidade, não houve diferença significativa nos potenciais de corrosão entre os diâmetros das barras. Já no concreto com fíler (TF), com menor alcalinidade, as barras de 16 mm apresentaram despassivação precoce, sugerindo falha na passivação. Em concretos com baixo consumo de cimento, o diâmetro influenciou a corrosão, pois as barras de 5 mm mantiveram potenciais mais positivos por mais tempo, enquanto barras maiores tiveram redução gradual dos potenciais até a despassivação.

- Influência do tipo de concreto: O concreto de referência (Ref) garantiu melhor proteção às armaduras, mesmo com sinais de oxidação. Já o concreto com fíler calcário não assegurou passivação completa.

Assim, a condição das barras e a seleção dos materiais são essenciais para a durabilidade das estruturas, reforçando a necessidade de estratégias que combinem desempenho mecânico e proteção contra corrosão.

REFERÊNCIAS

[1] RIBEIRO, D. V.; SALES, A.; SOUSA, C. A. C.; ALMEIDA, F. C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z. **Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora LTDA, 2014.

[2] GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC Livros Técnicos e Científicos S/A, 1996.

[3] SCHIESSL, P. **Corrosion of Steel in Concrete:** report of the Technical Committee 60-CSC RILEM (The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). London: Chapman and Hall, 1988.

[4] MONTEIRO, E. C. B. **Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras**. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

[5] CARMONA, A.; MEREGA, A. Retrospectiva da patologia no Brasil: estudo estatístico. **Proceeding of the Jornadas em Español y Portugués sobre Estructuras y Materiales, Madrid, Spain**, p. 23-27, 1988.

[6] MOLIN, D. C. C. D. **Fissuras em estruturas de concreto armado:** Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1988.

[7] ANDRADE, J. J. **Durabilidade das estruturas de concreto armado:** análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.

[8] ALI, M.; SAIDUR, R.; HOSSAIN, M. A review on emission analysis in cement industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2252-2261, 2011.

[9] FELIX, E. F.; POSSAN, E. Balanço das emissões e da captura de CO2 em estruturas de concreto: simulação em função do consumo e tipo de cimento. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, n. 1, p. 135-162, 2018.

[10] GRIGOLETTI, G. C.; SATTLER, M. A. Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. **Ambiente construído,** v. 3, n. 3, p. 19-32, 2003.

[11] DAMINELI, B. L.; KEMEID, F. M.; AGUIAR, P. S.; JOHN, V. M. Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement and concrete composites**, v. 32, n. 8, p. 555-562, 2010.

[12] SCHEIFER, D. M.; CALLEJAS, I. J. A. Caracterização física e mecânica de blocos de concreto com incorporação de areia de resíduo de construção civil. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 04, p. e13087, 2021.

[13] BOMFIM, D. S.; RIBEIRO, Y.; ÁLLEFE, M.; RIBEIRO, I. J. S.; LIMA, M. P.; PESSOA, J. R. C. Analysis of the influence of partial replacement of cement by micro silica. **Brazilian journal of development,** v. 7, n. 4, p. 43511–43522, 2021.

[14] CÂNDIDO, T. G.; MEIRA, G. R.; QUATTRONE, M.; JOHN, V. M. Mechanical performance and chloride penetration resistance of concretes with low cement contents. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 15, n. 6, p. e15608, 2022.

[15] ANTONI, M.; ROSSEN, J.; MARTIRENA, F. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. **Cement and Concrete Research**, v. 42, n. 12, p. 1579-1589, 2012.

[16] MEDEPALLI, S.; SHAH, V.; BISHNOI, S. **Production of lab scale limestone calcined clay cements using low grade limestone**. In: 7th International conference on sustainable built environment, p. 1382-1, 2016.

[17] FELTRIN, C. S.; ISAIA, G. C. Propriedades do concreto com adição de fíler calcário dolomítico. **Revista de Ciência e Inovação**, v. 3, n. 1, p. 58-71, 2018.

[18] WANG, A.; CHENGZHI, Z.; NINGSHENG, Z. Study of the influence of the particle size distribution on the properties of cement. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n. 5, p. 685-695, 1997.

[19] LONDERO, C.; LENZ, L. A.; SANTOS, Í. M. R.; KLEIN, N. S. Determinação da densidade de empacotamento de sistemas granulares compostos a partir da areia normal do IPT: comparação entre modelos de otimização de distribuição granulométrica e composições aleatórias. **Cerâmica**, v. 63, n. 365, p. 22-33, 2017.

[20] CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. **Cerâmica**, v. 55, n. 333, p. 18-32, 2009.

[21] DINGER, D. R.; FUNK, J. E. Particle packing IV – computer modelling of particle packing phenomena. **Interceram**, v. 42, n. 3, p. 150-152. 1993.

[22] SANTOS, R. A.; MEIRA, G. R.; BEZERRA, W. V. D.; BRAGA, C. F. A. V.; PONTES, D. L. Use of numerical method for optimization of granulometric curves in eco-efficient concrete. **Matéria (Rio de Janeiro),** v. 26, n. 4 p. e13115, 2021.

[23] KOCH, G. H.; BRONGERS, M. P. H.; THOMPSON, N. G.; VIRMANI, Y. P.; PAYER, J. H. **Corrosion costs and preventive strategies in the United States**. Federal Highway Administration, 2002.

[24] BERTOLINI, L.; CARSANA, M.; PEDEFERRI, P. **Corrosion of steel in concrete structures**. CRC Press, 2004.

[25] DAVIS, J. R. **Corrosion of steel in concrete:** An introduction. ASTM international, 2000.

[26] JERÔNIMO, V. L. **Estudo da durabilidade de concretos com adição de resíduos da indústria de cerâmica vermelha com foco na corrosão de armaduras.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

[27] DE GRAZIA, M. T.; SANCHEZ, L. F.; ROMANO, R. C.; PILEGGI, R. G. Investigation of the use of continuous particle packing models (PPMs) on the fresh and hardened properties of low-cement concrete (LCC) systems. **Construction and Building Materials**, v. 195, n. 20, p. 524-536, 2019.

[28] SANTOS, R. A. **Dosagem e desempenho de concretos com elevadas substituições de cimento por fíler de resíduos cerâmicos frente a corrosão de armaduras.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2022.

[29] SANTOS, R. A.; MEIRA, G. R.; ANDRADE FILHO, W. M.; OLIVEIRA, M. C. B. M.; MORAIS, V. K. S.; RODRIGUES, S. F. F.; NETO, J. M. Durability and mechanical Properties of concretes with limestone filler with particle packing. **Materiales de Construcción**, v. 74, n. 355, p. e348, 2024.

[30] RODRIGUES, S. F. F.; NETO, J. M. Durabilidad y propiedades mecánicas de los hormigones con filer calizo utilizando empaquetamiento de partículas. **Materiales De Construcción**, v. 74, n. 355, p. e348 2024.

[31] PAGE, M. M.; PAGE, C. L. NGALA, V. T.; ANSTICE, D. J. Ion chromatographic analysis of corrosion inhibitors in cocrete. **Construction and building materials**, v. 16, n. 2, p. 73-81, 2002.

[32] SILVA, F. G. **Estudo de concretos de alto desempenho frete à ação de cloretos.** Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais), Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

[33] KISHIMOTO, I. Experimental study on the corrosion condition of steel bars in cracked reinforced concrete specimen**.** In: **International Symposium on The Ageing Management & Maintenance Of Nuclear Power Plants, Tokyo.** 2010.

[34] CABRAL, A. E. B. **Avaliação da eficiência de sistemas de reparo no combate à iniciação e à propagação da corrosão do aço induzida por cloretos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

[35] SANTOS, L. **Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), Universidade de Brasília. Brasília, 2006.

[36] ANGST, U. M.; ELSENER, B.; LARSEN, C. K.; VENNESLAND, O. Chloride induced reinforcement corrosion: electrochemical monitoring of initiation stage and chloride threshold values. **Corrosion Science**, v. 53, p. 1451-1464, 2011.

[37] KRSTULOVIĆ, P.; KAMENIĆ, N.; POPOVIĆ, K. A new approach in evaluation of filler effect in cement I. Effect on strength and workability of mortar and concrete. **Cement and concrete research**, v. 24, n. 4, p. 721-727, 1994.

[38] CBIC. **PIB da construção fecha o ano com crescimento de 9,7%, a maior alta em 11 anos.** Agência CBIC, 2022. Disponível em: <https://cbic.org.br/pib-da-construcao-fecha-o-ano-comcrescimento-de-97-a-maior-alta-em-11-anos/>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2024.

[39] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. **C876**: Standard test for half cell potentils of uncoated reinforcing steel in concrete. United States, 1991.

[40] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

[41] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

[42] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

[43] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

[44] WEERDT, K.; HAHA, M. B.; SAOUT, G. L.; KJELLSEN, K. O.; JUSTNES, H.; LOTHENBACH, B. Hydration on mechanisms of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash. **Cement and concrete research**, v. 41, n. 3, p. 279-291, 2011.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-49

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ARGILA BENTONÍTICA EM PASTAS DE CIMENTO PORTLAND

QUEIROZ, Jose Henrique Maciel de[1]; MEIRA, Gibson Rocha[2]; SILVA, Daniel Costa da[3]

[1] Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, henriq3.hh@gmail.com, 0000-0002-0343-9102
[2] Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, gibsonmeira@yahoo.com, 0000-0002-2010-5315
[3] Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, daniel.costa.silva@academico.ufpb.br, 0009-0001-4016-0258

RESUMO

O elevado impacto ambiental provocado pela indústria do cimento vem impulsionando o desenvolvimento de pesquisas utilizando adições minerais na composição de materias cimentícios, como forma de reduzir tais impactos. Este estudo avaliou a viabilidade do uso de argila bentonítica como substituição parcial de 10% do cimento Portland em pastas. Foram analisadas propriedades mecânicas, como resistência à compressão e à flexão, e características relacionadas à durabilidade, incluindo absorção de água, pH da solução dos poros e coeficiente de migração de íons cloretos das pastas. Os resultados demonstraram que a substituição pela argila bentonítica, especialmente do tipo sódica, manteve ou melhorou levemente as propriedades mecânicas em comparação à mistura de referência, enquanto os parâmetros relacionados à durabilidade também não foram comprometidos. Houve redução do coeficiente de migração de íons cloretos nas duas misturas contendo argila bentonítica. Além de preservar propriedades técnicas adequadas, o uso de argila bentonítica reduz o consumo de cimento e as emissões de dióxido de carbono, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade. Este trabalho destaca o potencial da argila bentonítica como uma alternativa viável e ambientalmente responsável na construção civil.

Palavras-chave: Bentonita; Cimento Portland; Desempenho Mecânico; Durabilidade.

ABSTRACT

The high environmental impact caused by the cement industry has been motivating the development of research using mineral additions in the composition of cementitious materials, as a way to reduce these impacts. This study evaluated the viability of using bentonite clay as a partial replacement for 10% of Portland cement in pastes. Mechanical properties, such as compressive and flexural strength, and characteristics related to durability, including water absorption, pH of the pore solution and chloride ion migration coefficient of the pastes were analyzed. The results demonstrated that the replacement with bentonite clay, especially of the sodium type, maintained or slightly improved the mechanical properties compared to the reference mixture, while the parameters related to durability were also not compromised. There was a reduction in the chloride ion migration coefficient in both mixtures containing bentonite clay. In addition to preserving adequate technical properties, the use of bentonite clay reduces cement consumption and carbon dioxide emissions, in line with the principles of sustainability. This work highlights the potential of bentonite clay as a viable and environmentally responsible alternative in civil construction.

Keywords: Bentonite; Portland Cement; Mechanical Performance; Durability.

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação com a problemática de degradação ambiental provocada pela ação humana no planeta, a busca de soluções mais alinhadas com os princípios de desenvolvimento sustentável é uma prioridade no campo das pesquisas científicas a nível mundial, sobretudo soluções para os setores que causam impactos ambientais significativos, como a indústria da construção civil.

O cimento, principal aglomerante utilizado na construção civil, causa alto impacto ambiental na sua produção, pois ao realizar a calcinação do calcário durante a produção de clínquer, são liberadas aproximadamente 0,87 toneladas de CO_2 por tonelada de cimento fabricado [1]. Além disso, é estimado que somente a indústria de cimento seja responsável por cerca de 8 % das emissões globais de dióxido de carbono [2].

Além da alta emissão de CO_2, a indústria cimenteira também apresenta grande consumo de energia, especialmente térmica. Nesse aspecto, a intensidade média de energia térmica utilizada mundialmente no ano de 2022 foi de cerca de 3,6 GJ/t de clínquer, valor que não apresentou grande variação em relação aos anos anteriores [3].

Dessa forma, uma das alternativas para a redução dos impactos ambientais relacionados à produção do cimento, é diminuir a utilização desse material. Isto pode ser feito, por exemplo, pela substituição parcial do cimento Portland por materiais ambientalmente menos impactantes. Dentre as adições minerais possíveis de utilização, existe a cinza volante, a sílica ativa, a escória de alto forno, o metacaulim, o resíduo de cerâmica vermelha, a cinza de bagaço de cana-de-açúcar, argilas, entre outras. No caso das argilas, apesar do uso em materiais cimentícios não ser algo novo, geralmente elas precisam ser pré-calcinadas para tal aplicação [4].

Daí surge o interesse em estudar a possibilidade de utilização de argilas não pré-calcinadas como substituição do cimento, mais especificamente a argila bentonítica. Segundo Fernandes *et al*. [5], as argilas possuem amplo campo de aplicação por apresentar vantagens como: serem abundantes, de baixo custo e de uso ambientalmente amigável.

Além de apresentar essas vantagens, a bentonita é um mineral argiloso de origem esmectita que possui alto teor de montmorilonita, ela possui grande superfície específica e um alto teor íons de cálcio e sódio [6]. As propriedades de impermeabilidade, resistência à compressão, plasticidade e baixa compressibilidade das argilas bentoníticas têm atraído o ramo da construção civil [7].

No Brasil, a produção de argila bentonítica é significativa, segundo relatório da United States Geological Survey (USGS) *apud* Fernandes *et al.* [5], o país produziu 200 mil toneladas de bentonita em 2021. Os estados brasileiros que possuem maior reserva do material são: Paraíba (49,8%), São Paulo (33,6%) e Bahia (15,3%) [8]. No estado da Paraíba, estão localizadas as principais jazidas de bentonita em operação no Brasil, especialmente no município de Boa Vista. Outro importante depósito brasileiro de bentonita encontra-se no município de Vitória da Conquista, no estado da Bahia [9].

Quanto à utilização da bentonita, ela é largamente utilizada em muitos setores da indústria, tais como perfuração de poços de petróleo e de captação de água, fundições diversas, pelotização de minério de ferro, indústria química e farmacêutica, na agricultura, entre outros [10].

Alguns estudos já apresentam resultados positivos na substituição do cimento por argila bentonítica em materiais cimentícios, como [10], [6] e [7]. No entanto, ainda há muito o que ser estudado sobre o material. Diante da possibilidade de utilização da argila bentonítica em materiais cimentícios, é importante lembrar que são requisitos para a eficiência do concreto estrutural não apenas a resistência mecânica e o fator econômico, mas também os aspectos relacionados à durabilidade, pois o concreto deve manter as barras de aço protegidas contra a corrosão, desencadeada pela carbonatação e pela penetração de íons cloretos.

Portanto, esse trabalho busca identificar o comportamento, de pastas de cimento Portland, com substituição parcial de 10% de cimento por argila bentonítica, verificando a potencialidade do seu uso em materiais cimentícios.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

Os materiais utilizados para a produção das pastas utilizadas nessa pesquisa foram: Cimento do tipo CP V ARI, argila bentonítica cálcica, argila bentonítica sódica e água de abastecimento público.

As bentonitas são compostas por pequenas lamelas empilhadas, e entre uma lamela e outra, há um espaçamento chamado de distância interlamelar, onde se localiza cátions trocáveis. As bentonitas se classificam de acordo com os seus cátions trocáveis, elas podem ser homocatiônicas quando predomina um tipo de cátion trocável, ou policatiônicas quando não há predominância de um cátion trocável. Estes cátions trocáveis por sua vez, podem ser, cálcio, sódio, magnésio, potássio ou outros. Quando em uma bentonita o cátion trocável predominante é, por exemplo, o cálcio, ela é chamada de bentonita cálcica e quando predomina o sódio, ela é chamada de bentonita sódica [11].

O cimento e os dois tipos de argilas foram caracterizados quanto à sua composição química, por meio da realização de Fluorescência de Raios X (FRX), identificando os elementos químicos presentes e suas proporções, conforme apresentado na Tabela 1:

Tabela 1 - Resultados da Fluorescência de Raios X das argilas e do cimento.

Elementos	Cálcica (%)	Sódica (%)	CP V ARI (%)
SiO_2	46,050	59,648	10,247
Fe_2O_3	20,419	15,338	3,398
Al_2O_3	15,215	10,467	2,044
TiO_2	2,201	1,278	0,276
K_2O	2,200	0,478	1,631
CaO	2,135	2,355	72,752
SO_3	1,414	1,645	5,598
P_2O_5	0,863	0,683	2,018
MnO	0,112	0,047	0,032
V_2O_5	0,087	0,051	-
Cr_2O_3	0,052	0,038	-
Rb_2O	0,041	-	-
SrO	0,033	0,021	0,087
ZnO	-	0,020	0,024
ZrO_2	-	-	0,024
Perda ao fogo	9,168	7,930	1,870

Os finos utilizados (cimento e argila bentonítica) foram submetidos ao ensaio de granulometria a laser. A bentonita sódica apresentou diâmetro médio das partículas de 29,08 µm, com diâmetro a 10 % de 3,67 µm, diâmetro a 50% de 24,99 µm e diâmetro a 90 % de 58,98 µm. A bentonita cálcica apresentou diâmetro médio das partículas de 28,22 µm, com diâmetro a 10 % de 4,47 µm, diâmetro a 50% de 25,34 µm e diâmetro a 90 % de 54,19 µm. O cimento CP V apresentou diâmetro médio das partículas de 6,89 µm, com diâmetro a 10 % de 0,84 µm, diâmetro a 50% de 4,20 µm e diâmetro a 90 % de 17,58 µm. A distribuição granulométrica das partículas desses materiais está representada na Figura 1.

Também foi determinada a superfície específica dos materiais, com base na ABNT NBR 16372 [12]. O cimento apresentou superfície específica de 3105,61 cm²/g. A argila bentonítica cálcica apresentou superfície específica de 1666,40 cm²/g. E a argila bentonítica sódica apresentou superfície específica de 2095,17 cm²/g.

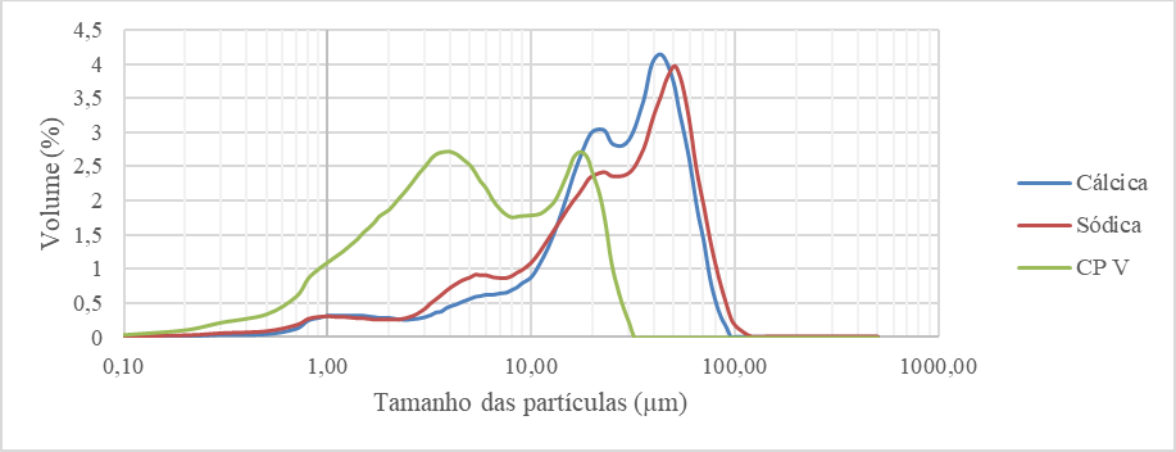


Figura 1 - Distribuição granulométrica das partículas dos materiais obtidas por granulometria a laser.

2.2 Métodos

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas: aquisição dos materiais, caracterização dos materiais e análise experimental. Os procedimentos experimentais são descritos a seguir.

Três misturas de pastas de cimento foram elaboradas, mantendo-se a relação água/sólidos constante em 0,5. A mistura de referência foi composta por cimento CP V ARI e água, enquanto nas misturas denominadas sódica e cálcica, 10% em massa do cimento foi substituído por argila bentonítica, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2 – Traços utilizados na produção das pastas.

Identificação do Traço	Cimento (%)	Bentonita cálcica (%)	Bentonita sódica (%)	Relação água/sólidos
Referência	100	0	0	0,5
Cálcica	90	10	0	0,5
Sódica	90	0	10	0,5

As pastas foram misturadas em argamassadeira eletro-mecânica, conforme o seguinte procedimento: 1) os sólidos foram misturados à seco por 1 minuto em velocidade baixa; 2) a água foi adicionada e misturada por 1 minuto em velocidade baixa; 3) foi realizada uma pausa de 1 minuto na mistura para desagregar o material aderido à cuba com auxílio de uma espátula; 4) em seguida, a pasta foi misturada por mais 2 minutos em velocidade baixa.

No estado fresco, as pastas foram analisadas quanto ao índice de consistência, seguindo o método da ABNT NBR 13276 [13]. Também foi aferido o miniabatimento e o espalhamento das pastas com minicone.

A determinação da absorção de água foi realizada em 3 corpos de prova cilíndricos de 50 x 100mm, com o auxílio da norma ABNT NBR 9778 [14]. Essa determinação foi feita após 28 dias de cura dos corpos de prova.

Os ensaios de compressão axial nas pastas de cimento foram realizados aos 28 dias após a moldagem de cada mistura. Os ensaios foram realizados em 3 corpos de prova prismáticos de 40 x 40mm para cada mistura, seguindo os procedimentos da norma ABNT NBR 13279 [15].

O ensaio de flexão em três pontos conduzido neste estudo foi realizado de acordo com a metodologia especificada na norma ABNT NBR 13279 [15]. O ensaio foi realizado em um equipamento fabricado pela EMIC, modelo DL 200 KN. Para cada mistura, foram testados 3 corpos de prova após 28 dias de cura.

O pH das pastas analisadas foi determinado a partir do método elaborado por Li, Nam e Hartt [16]. O procedimento inicia-se com a preparação das amostras de concreto pulverizado, ou no caso deste estudo, das pastas. A amostra é colocada em uma solução de água deionizada na proporção 1:1 de água e pó, em massa. Em seguida, o pH da solução é monitorado por 3 dias consecutivos até a estabilização. Após os 3 dias, a solução é filtrada e é realizada a titulação de OH^{-} e Ca^{2+}.

Realizada a titulação, a alcalinidade (pH) das amostras foi determinada pela Equação 1:

$$pH = 14 + log([OH^-]_{lhc} - 2[Ca^{2+}]_{lhc}) \quad (1)$$

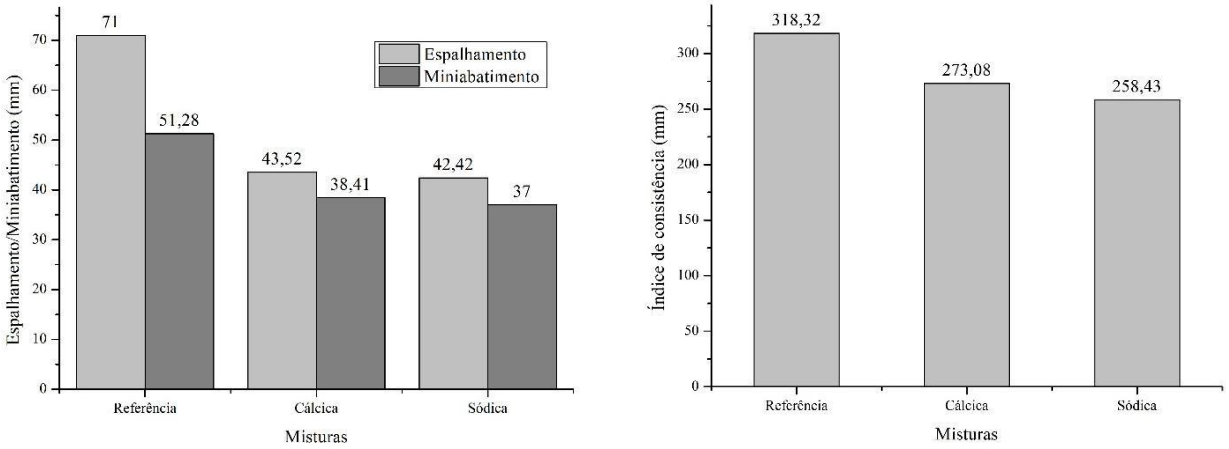
Onde:
$[OH^-]_{lhc}$ = Concentração de OH^- lixiviado na solução;
$[Ca^{2+}]_{lhc}$= Concentração de Ca^{2+} lixiviado na solução;

Por último, foi realizado o ensaio de migração de íons cloretos em regime não estacionário, de acordo com o método normalizado pela NT BUILD 492 [17]. As amostras consistiram em fatias de 50 mm de espessura, retiradas de corpos de prova de 10 x 20 cm, e foram submetidas ao ensaio após 90 dias de cura submersa em água. Para a realização do ensaio a tensão aplicada pela fonte foi de 20 V, em todas as amostras analisadas e a duração do ensaio foi de 24 horas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos sobre as propriedades das pastas no estado fresco são apresentados na Figura 2. O espalhamento e o miniabatimento das pastas no minicone (Figura 2 (a)) demonstram quantitativamente a influência reológica da substituição de 10% cimento por argila bentonítica. A substituição por bentonita cálcica diminuiu a fluidez da pasta, causando uma redução de 38,70 % no espalhamento e 25,09 % no miniabatimento, em relação à pasta de referência. A substituição por bentonita sódica diminuiu ainda mais a fluidez, causando uma redução de 40,25 % no espalhamento e 27,85 % no miniabatimento.

O índice de consistência (Figura 2 (b)) obtido para as pastas apresenta correspondência com os resultados do minicone, onde observa-se maior índice para a pasta de referência, seguido da pasta com bentonita cálcica e da pasta com bentonita sódica, com índices respectivamente menores.



(a) Ensaio com minicone. (b) Índice de consistência.

Figura 2 – Resultados obtidos no estado fresco.

Na Figura 3 pode-se observar os resultados de absorção de água das misturas com seus respectivos desvios padrões.

Pode-se observar, então, que houveram pequenas diferenças entre os valores de absorção de água das misturas, levando-se em conta o desvio padrão das amostras. A mistura com substituição pela argila do tipo cálcica absorveu 2,68% de água a mais que a mistura de referência, enquanto na substituição pelo tipo sódica, a absorção de água foi 3,26% superior à referência.

Esse resultado era esperado, pois dentre as propriedades da argila bentonítica, estão o elevado grau de inchamento em ambiente úmido e alta capacidade de adsorção de água [10]. Essa característica, então, se manteve quando a argila foi incorporada à pasta.

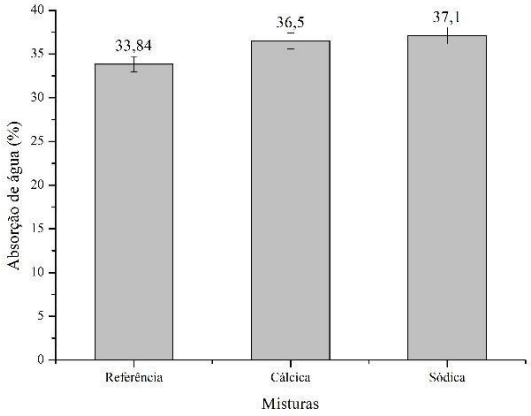
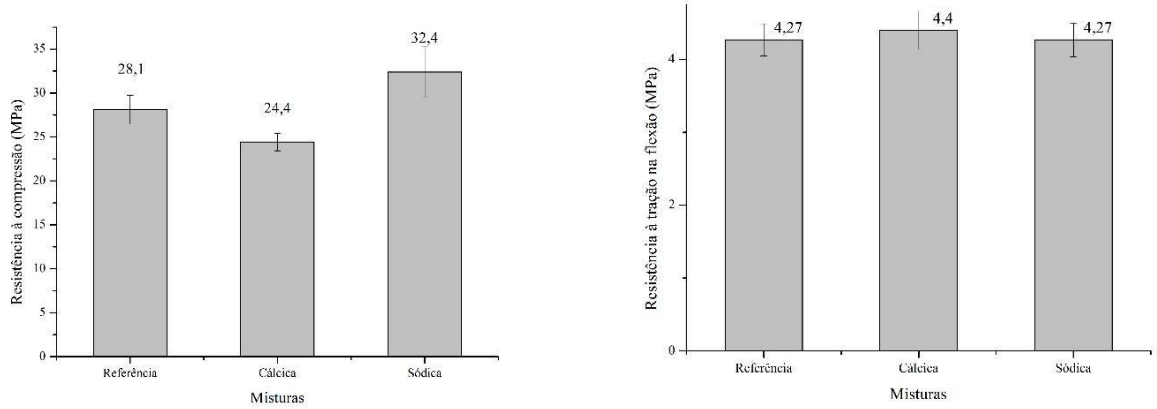


Figura 3 – Absorção de água das misturas estudadas.

Na Figura 4, é apresentada a comparação entre as resistências médias à compressão (a) e à tração na flexão (b) dos corpos de prova ensaiados, acompanhada dos desvios padrões obtidos no ensaio.



(a) Resistência à compressão. (b) Resistência à tração na flexão.

Figura 4 – Resistência à compressão e à tração na flexão das misturas estudadas.

Observa-se, através de Figura 4 (a), um notável o acréscimo de 15,30% na resistência à compressão média nas amostras com argila bentonítica sódica em relação à resistência média das amostras de referência. A nova distribuição granulométrica obtida com a substituição do cimento pela argila do tipo sódica pode ter influenciado nesse resultado, proporcionando melhor desempenho mecânico às pastas. A média da resistência à compressão das amostras com bentonita cálcica, por sua vez, se manteve próxima à resistência à compressão média das amostras de referência.

Analisando a resistência à tração na flexão média das pastas de referência e com bentonita, observa-se baixa variação nos resultados obtidos, conforme pode ser observado graficamente na Figura 4 (b). A substituição do cimento pela argila do tipo cálcica provocou um aumento de 3,74% na resistência à tração na flexão média. No caso da substituição pela argila do tipo sódica, a resistência à tração na flexão média permaneceu igual à da pasta de referência.

Mais uma etapa importante deste estudo, foi a determinação do pH da solução dos poros das pastas elaboradas, esse parâmetro está diretamente relacionado com o comportamento dos materiais cimentícios frente à corrosão de armaduras desencadeada pelo fenômeno da carbonatação. De acordo com Meira [18], contanto que a solução dos poros do concreto, (nesse caso, da pasta de cimento) se mantenha em níveis acima de 11,5, as barras de aço que forem inseridas no meio manterão a estabilidade da película de passivação inalterada, inibindo a corrosão.

Quando se pensa na substituição do cimento por um composto mineral, como é o caso da argila bentonítica, possivelmente pode ocorrer uma redução da alcalinidade, devido ao menor teor de cimento. Porém, os resultados apresentados na Figura 5 permitem afirmar que a substituição de 10% do cimento pela argila bentonítica não leva a reduções significativas no

pH da solução dos poros. A substituição pela argila do tipo sódica resultou em diminuição de 0,07 no pH e a substituição pela argila do tipo cálcica resultou em diminuição de 0,11 no pH das pastas em relação à referência.

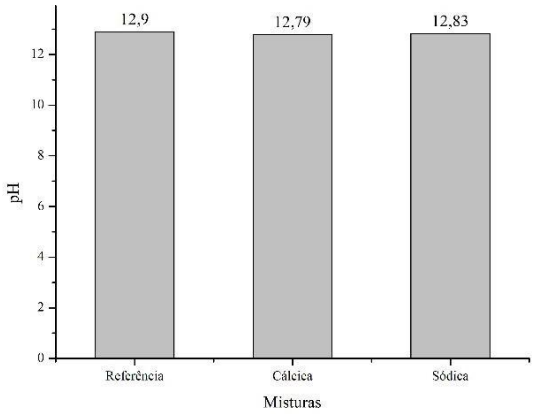


Figura 5 – pH das misturas estudadas.

Esse comportamento possivelmente se deu devido à própria natureza alcalina da argila bentonítica e devido a sua composição química, que contém óxidos de cálcio, magnésio e potássio, elementos que podem ter reagido na mistura formando hidróxidos, causando aumento do pH. Mais análises são necessárias para confirmar esta hipótese.

Analisando agora o coeficiente de migração de cloretos em regime não estacionário (D_{nssm}) das amostras, percebe-se uma redução no seu valor para o caso das amostras contendo argila bentonítica cálcica e sódica, conforme Figura 6. A redução foi de 8,22% para a amostra contendo argila bentonítica cálcica, e de 26,24% para a amostra contendo argila bentonítica sódica, em relação à amostra de referência.

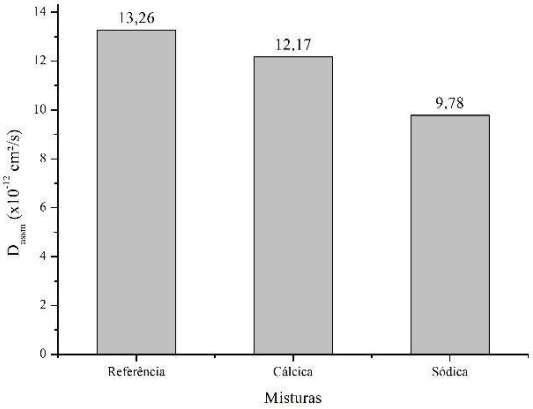


Figura 6 – Coeficientes de migração de cloretos obtidos.

O valor deste coeficiente depende de variáveis como o tipo de cimento, a relação água/cimento utilizada nas misturas, a porosidade das amostras, além das características relacionadas à composição química e mineralógica de adições ou substituições presentes, como é o caso das argilas utilizadas.

Do ponto de vista físico, esses fatores afetam a velocidade de transporte de massa nas amostras. Assim, embora não se tenha maiores informações sobre a porosidade das amostras, o fato das misturas contendo argila do tipo cálcica e sódica terem apresentado melhores resultados no ensaio, pode indicar melhor distribuição das partículas das misturas, gerando poros menores e em menor quantidade, dificultando o transporte de cloretos na matriz.

Do ponto de vista químico, a presença de aluminatos do cimento ou da substituição podem influenciar na fixação de cloretos na matriz cimentícia. Em todas as amostras foi utilizado cimento do tipo CP V ARI, porém uma observação a ser feita é que o teor de Al_2O_3 presente nesse cimento é de 2,04%, enquanto na argila bentonítica cálcica o percentual deste composto é de 15,21 % e na argila sódica é de 10,47 %. Isso indica que a substituição teve efeito positivo na quantidade

de aluminatos nas misturas, o que colaborou para a redução do coeficiente de migração de cloretos para níveis abaixo da mistura de referência.

4. CONCLUSÕES

A substituição parcial do cimento Portland por argila bentonítica mostrou-se promissora em diversos aspectos analisados neste estudo. A análise revelou que, embora as misturas com argila tenham apresentado leve aumento na absorção de água, as propriedades mecânicas, como resistência à compressão e à flexão, foram mantidas ou levemente melhoradas em relação à mistura de referência, especialmente no caso da argila sódica. Esses resultados indicam que a argila bentonítica pode ser integrada a materiais cimentícios sem comprometer suas propriedades estruturais.

Além disso, os testes relacionados à durabilidade, como a determinação da alcalinidade e o coeficiente de migração de cloretos, demonstraram que a utilização da argila bentonítica no teor analisado não causa redução acentuada na alcalinidade e melhora a resistência à penetração de íons cloretos. Esses fatores são fundamentais para a proteção contra a corrosão de armaduras em materiais cimentícios. Os resultados sugerem que a substituição de 10% do cimento por argila pode ser uma solução viável e sustentável, mantendo as características de durabilidade necessárias para aplicações na construção civil.

Por fim, a utilização de argilas bentoníticas em materiais cimentícios apresenta-se como uma alternativa alinhada aos princípios de sustentabilidade, ao reduzir a quantidade de cimento utilizado e, consequentemente, as emissões de dióxido de carbono associadas à sua produção. Estudos adicionais são recomendados para explorar outros fatores, como a porosidade das amostras e o desempenho em estruturas reais, consolidando ainda mais sua viabilidade no setor da construção civil.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ/PB), pelo financiamento da pesquisa, por meio da concessão da bolsa de estudos para cursar o Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental na UFPB.

REFERÊNCIAS

[1] HAILEMARIAM, B. Z. et al. **Sustainable utilization of corn husk ash as a pozzolanic cement substitute for mortar production.** Construction and Building Materials, v. 491, p. 142723, 2025.

[2] ENDALE, S. A. et al. **Rice husk ash in concrete**. Sustainability, v. 15, n. 1, p. 137, 2022.

[3] IEA – International energy agency. **Cement**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/industry/cement> Acesso em: 29 de abril de 2025.

[4] ANDRADE, C. *et al.* **Reduced carbonation, sulfate and chloride ingress due to the substitution of cement by 10% non-precalcined bentonite**. Materials, v. 14, n. 5, p. 1300, 2021.

[5] FERNANDES, E. F. S. *et al.* **Argila bentonita: uma breve revisão das propriedades e aplicações**. Research, Society and Development, v. 12, n. 2, p. e7912239917-e7912239917, 2023.

[6] ASHRAF, M. et al. **Developing a sustainable concrete incorporating bentonite clay and 9ublic fume: Mechanical and durability performance**. Journal of Cleaner Production, v. 337, p. 130315, 2022.

[7] YANG, H. *et al.* **Effects of bentonite on pore structure and permeability of cement mortar.** Construction and Building Materials, v. 224, p. 276-283, 2019.

[8] AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Bentonita. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/9ublicações/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/bentonita_sm_2018. Acesso em: 05 out. 2024.

[9] SILVA, G. F. **Recuperação ambiental das áreas de extração de bentonita na região de Boa Vista/PB**. Holos Environment, v. 20, n. 1, p. 88-99, 2020.

[10] BORAH, D.; NATH, H.; SAIKIA, H.. Modification of bentonite clay & its applications: A review. Reviews in Inorganic Chemistry, v. 42, n. 3, p. 265-282, 2022.

[11] VALENZUELA DÍAZ, F. R.; SANTOS, P. S.; SANTOS, H. L. S. Importância das argilas industriais brasileiras. **Química industrial**, v. 5, n. 42, p. 33-7, 1992.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16372: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine)**. Rio de Janeiro, 2015.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2006.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

[16] LI, L.; NAM, J.; HARTT, W. H. **Ex situ leaching measurement of concrete alkalinity**. Cement and Concrete Research, v. 35, n. 2, p. 277–283, fev. 2005.

[17] NORDTEST. NT BUILD 492: **Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments**. Espoo, 1999.

[18] MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção**. Editora IFPB, 2017.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-56

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

AVALIAÇÃO DAS CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

MORAES, Gabriel Medrado Ramos[1]; ROCHA, Lucimar Pacheco Gomes da[2]; SOUSA, José Getúlio Gomes de[3]; ARAÚJO, Alfredina dos Santos[4]; RODRIGUES, Meiry Glaucia Freire[5]

[1]UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil. E-mail: gmedrado0429@gmail.com
[2]UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil E-mail: lucimar.pacheco@univasf.edu.br, ORCID: 0000-0003-3912-8661
[3]UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil. E-mail: jose.getulio@univasf.edu.br
[4]UFCG, Pombal-PB, Brasil. E-mail: alfredina.santos@professor.ufcg.edu.br,
[5]UFCG, Campina Grande-PB, Brasil. E-mail: meiry.freire@eq.ufcg.edu.br,

RESUMO

Este estudo avalia a substituição parcial de cimento Portland por cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) em argamassa, visando o aproveitamento sustentável deste resíduo agroindustrial que atualmente possui aplicação limitada e impactos ambientais negativos. No presente trabalho foi avaliada a viabilidade do uso da CBCA na construção civil através da caracterização físico-química e medida da resistência a compressão, da argamassa produzida a partir destes materiais. A CBCA, obtida por combustão não controlada em um engenho de açúcar local, foi peneirada a 75 µm e calcinada a 600 °C. Os materiais obtidos foram caracterizados por fluorescência de raios X, difração de raios X, infravermelho com transformada de Fourier, termogravimetria e microscopia eletrônica de varredura, que revelaram elevado teor de sílica e estrutura superficial reativa. Após a caracterização, a cinza foi utilizada na produção de argamassa como substituto parcial do cimento Portland. Sendo assim, corpos de prova foram moldados com substituição de 10% de cimento por cinzas, seguindo a ABNT NBR 7215 e testados quanto à resistência à compressão aos 7 e 28 dias de cura. Os resultados demonstraram que a argamassa produzida atingiu 97,2% da resistência à compressão da amostra de referência (100% cimento), indicando excelente desempenho e confirmando a viabilidade técnica desta alternativa.

Palavras-chave: cinza de bagaço; cimento Portland; sustentabilidade; argamassa

ABSTRACT

This study evaluates the partial replacement of Portland cement with sugarcane bagasse ash (SCBA) in mortar, aiming for the sustainable use of this agro-industrial residue, which currently has limited applications and negative environmental impacts. The feasibility of using SCBA in civil construction was assessed through the physicochemical characterization and compressive strength testing of mortar produced with this material. The SCBA, obtained from uncontrolled combustion in a local sugar mill, was sieved to 75 µm and calcined at 600 °C. The resulting materials were characterized by X-ray fluorescence, X-ray diffraction, Fourier-transform infrared spectroscopy, thermogravimetric analysis, and scanning electron microscopy, which revealed a high silica content and a reactive surface structure. After characterization, the ash was used in mortar production as a partial replacement for Portland cement. Mortar specimens were prepared with 10% cement replacement by ash, following the ABNT NBR 7215 standard, and tested for compressive strength at 7 and 28 days of curing. The results showed that the produced mortar reached 97.2% of the compressive strength of the reference sample (100% cement), indicating excellent performance and confirming the technical feasibility of this alternative.

Keywords: sugarcane bagasse ash; Portland cement; sustainability; mortar

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por novos materiais para construção civil e a exploração intensiva de recursos naturais motivam a busca por alternativas sustentáveis, como o aproveitamento de resíduos agroindustriais. O setor sucroenergético, responsável pela produção de açúcar, etanol e derivados da cana-de-açúcar, gera grande volume de resíduos, destacando-se o bagaço, que corresponde de 25 a 30% do peso da cana processada, totalizando cerca de 180 milhões de toneladas anuais no Brasil [1][2]. A queima industrial desse resíduo para geração energética produz aproximadamente 4 milhões de toneladas de cinzas anualmente [3], frequentemente descartadas inadequadamente devido a custos logísticos e baixo valor comercial, agravando os impactos ambientais.

Entre os subprodutos da queima, as cinzas têm recebido destaque pelo potencial de reaproveitamento na construção civil, principalmente quando submetidas a tratamentos que promovem propriedades pozolânicas relevantes [4]. Com teor de sílica superior a 60%, as cinzas podem substituir parcialmente o cimento Portland, melhorando propriedades mecânicas e durabilidade de argamassas e concretos [5]. Além disso, o uso destes resíduos contribui para a redução da extração de matérias-primas e das emissões de CO_2 associadas à produção do cimento, alinhando-se aos princípios da economia circular. [6]

Este estudo visa avaliar a resistência à compressão de argamassas produzidas de forma sustentável através da incorporação de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), como substituto parcial do cimento Portland. Avalia-se a viabilidade técnica da substituição, investiga-se o impacto do tratamento térmico e da composição química da cinza na qualidade da argamassa obtida.

A relevância socioambiental da pesquisa é significativa, sobretudo em regiões como o Vale do São Francisco, em Juazeiro-BA, que apresentam intensa atividade sucroalcooleira e, consequentemente, elevada produção de resíduos sólidos. Diante disso, a disposição inadequada das cinzas configura um problema ambiental relevante, com potencial para contaminar o solo e os recursos hídricos [7]. Cientificamente, o estudo contribui para o avanço em pesquisas que buscam o uso materiais sustentáveis na construção civil, avaliando a viabilidade técnica da reutilização das cinzas e propondo metodologias para seu tratamento e aplicação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A CBCA utilizada no estudo foi proveniente da queima do bagaço na usina Agrovale, situada em Juazeiro, BA. Para tanto, foram avaliadas variações do material: a cinza em sua forma bruta (CB), peneirada 75 µm (CP) e a peneirada 75 µm e calcinada a 600°C (CPC). A análise prévia via microscopia óptica revelou a presença de impurezas na amostra CB, incluindo grãos de quartzo (presente como areia) e resíduos carbonáceos (fuligem). Estas impurezas foram detectadas por meio de Microscópio Binocular NOVA modelo 106, indicando a necessidade de processamento prévio do material. Sendo assim, com a finalidade de obter um material mais puro e homogêneo, foi realizado o processo de separação por peneiramento, sob vibração mecânica controlada, utilizando malhas de 300, 150 e 75µm. As frações resultantes foram analisadas microscopicamente, indicando que o peneiramento foi eficiente na remoção de contaminantes presentes na fração mais fina, correspondente ao material que passou pela peneira de 75 µm, denominada amostra CP. Além da análise microscópica, a escolha do peneiramento também se fundamenta no fato de que partículas ultrafinas possuem maior área superficial, o que favorece reações pozolânicas, conforme apontado por Pontes, Campos e Dutra [8] e Silva Nunes et al. [9]. Optou-se por não realizar a moagem mecânica tradicional, tendo em vista a heterogeneidade do material e, caso o processo fosse realizado, todas as impurezas presentes seriam igualmente moídas e incorporadas no material, agregando um elevado teor de contaminantes à cinza. Deste modo, a presença de areia como contaminante, em especial, que foi removida durante o peneiramento, comprometeria diretamente o traço da argamassa, já que este é um dos componentes presente no material cimentício, conforme a NBR 7215 [10].

Em seguida, a amostra CP foi submetida a análise termogravimétrica para determinar a temperatura ideal de calcinação. O comportamento térmico foi avaliado através da perda de massa em função da temperatura por análise termogravimétrica (TGA/DTA) em um equipamento DSC-60 Plus, Shimadzu. O ensaio foi conduzido sob atmosfera de nitrogênio (100 $mL.min^{-1}$) e taxa de aquecimento de 10 $ºC.min^{-1}$, partindo da temperatura ambiente até atingir 1000 ºC. A seguir o material

foi submetido então ao tratamento térmico, por meio da calcinação a 600 °C por 4h. Após o tratamento térmico, a cinza calcinada, denominado CPC, foi devidamente armazenada para a moldagem dos corpos de prova e avaliação da resistência à compressão. Todos os materiais foram caracterizados por diferentes técnicas experimentais. A composição química dos materiais foi obtida por meio da fluorescência de raios X (FRX), utilizando um instrumento Shimadzu EDX-7000 e a estrutura cristalina foi determinada por difração de raios X (DRX), em um difratômetro Rigaku, com faixa de varredura de 5° a 90° (2θ), passo angular de 0,02° e varredura de 20°.min^{-1}. Para avaliar a morfologia, os sólidos foram submetidos à microscopia eletrônica de varredura (MEV) em um equipamento TESCAN, modelo VEGA3 XMU. As bandas de absorção foram registradas através da espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) em um espectrofotômetro IRXross, Shimatzu.

Após a caracterização, os corpos de prova foram moldados de acordo com os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 7215 [10], que regulamenta a preparação de argamassas e o ensaio de resistência à compressão. Para a formulação da argamassa, foi utilizado cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI), substituído parcialmente, em massa, por 10% da CBCA peneirada e calcinada (CPC), obtida nos processos anteriores. A seleção da amostra de cinza peneirada e calcinada (CPC) na produção da argamassa, foi fundamentada nos resultados obtidos nas etapas de caracterização, que indicaram seu maior potencial pozolânico em relação às demais formas avaliadas (CB e CP). Por sua vez, a definição do teor de substituição de 10% foi embasada em evidências da literatura, como os estudos Pontes, Campos e Dutra [8] e Paula et al. [11], os quais apontam esse percentual como eficaz para manter o desempenho mecânico da argamassa, ao mesmo tempo em que reduzem significativamente o consumo de cimento. Este percentual facilita a implementação da substituição em escala prática, evitando perdas de desempenho associadas a teores mais elevados e ampliando os benefícios ambientais em comparação a proporções inferiores [12]. Desta forma, foram preparadas duas composições uma como sendo a referência (100% cimento) e outra modificada (90% cimento + 10% CPC), totalizando oito corpos de prova por traço, sendo quatro para ensaio aos 7 dias e quatro aos 28 dias. Após a cura úmida nos intervalos estabelecidos, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial em prensa hidráulica Time Group WAW1000C, classe 1, operando com velocidade constante de carregamento de 0,25 MPa/s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados referentes aos ensaios realizados para verificação da viabilidade de uso das CBCA como material pozolânico e discussões acerca da sua eficiência, na substituição parcial do cimento Portland em argamassas. Sendo assim, foram avaliadas três amostras de CBCA nomeadas CB, CP e CPC, está última foi obtida por tratamento térmico com a finalidade de aumentar a reatividade do material na reação pozolânica.

A cinza bruta (CB) e peneirada (CP) foram submetidas a análise por espectroscopia no infravermelho (FTIR), com o intuito de identificar os grupos funcionais presentes e possíveis alterações após o processo de separação física. A partir da análise dos espectros, Figura 1, é possível observar diferenças significativas entre os materiais. A amostra CB apresentou alta transmitância em toda a faixa analisada, indicando baixa absorção de radiação infravermelha devido à sua heterogeneidade e presença de impurezas [13]. Em contraste, a CP exibiu bandas características em 1100 cm^{-1} (vibração Si-O da sílica) e 750 cm^{-1} (vibração Si-O-Si de redes silicáticas) [13], confirmando sua composição predominantemente inorgânica. A ausência de bandas na região de 4000-1500 cm^{-1}, típica de compostos orgânicos, demonstrou que ocorreu a decomposição da matéria orgânica durante a combustão [14]. Além disso, os resultados indicam que o método de separação foi eficiente na eliminação de interferentes que podem influenciar nas propriedades mecânicas do material cimentício.

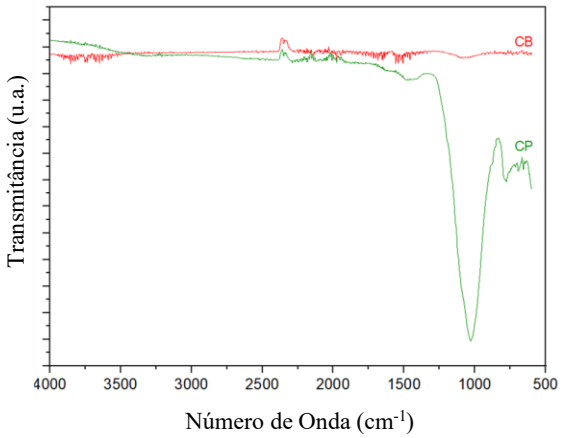


Figura 1 – Espectros de absorção na região do infravermelho (FTIR) para as amostras de cinza bruta (CB) e peneirada (CP).

Para determinação da temperatura ideal de calcinação foi realizada a análise térmica prévia da amostra CP (Figura 2), indicando que a decomposição térmica ocorre em três estágios distintos. A análise termogravimétrica aponta que até 200°C ocorre uma leve perda de massa (1-2%) por eliminação de umidade residual. A diminuição de massa mais expressiva (5-8%), ocorreu entre 200-600°C e é atribuída à decomposição de matéria orgânica e compostos carbonáceos [15]. Em temperaturas acima de 600°C, a perda gradual (<2%) sugere decomposição de carbonatos e transformações estruturais. A separação por peneiramento resultou na obtenção de partículas mais finas e homogêneas, favorecendo uma maior exposição superficial. Esta característica tende a facilitar a liberação de compostos voláteis e a degradação térmica de materiais orgânicos retidos durante o aquecimento [16] [17]. A análise térmica diferencial, também apresentada na Figura 2, confirmou os eventos observados na TGA, com picos máximos entre 300 °C e 500 °C, atribuídos à degradação térmica de compostos orgânicos e materiais carbonáceos presentes nas cinzas [18] [19]. A partir dos dados de análise térmica e do trabalho realizado por Santos et al. [20], foram definidas as condições de calcinação (600 °C, 4 h) para a amostra peneirada, com o objetivo de aumentar a fase amorfa que favorece a reação pozolânica e contribui para o melhor desempenho da argamassa produzida.

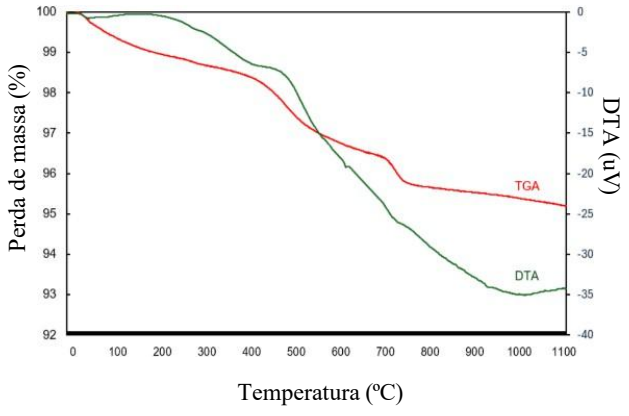


Figura 2 – Representação da perda de massa em função da temperatura e análise térmica diferencial para a amostra de cinza peneirada (CP).

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da análise por fluorescência de raios X, realizada com o objetivo de determinar a composição elementar das amostras de CBCA. A elevada concentração de silício nas amostras, acima de 60%, é compatível com os resultados obtidos por Silva Nunes et al. [9] que apontaram teores superiores a 65% na CBCA, sugerindo potencial pozolânico inicial [19]. No entanto, destaca-se que a reatividade depende da fração amorfa da sílica,

e não do teor total, já que a forma cristalina apresenta baixa atividade [20]. Observou-se uma leve redução no teor de silício após o peneiramento (CP), relacionada à remoção de partículas maiores de quartzo, oriundas da contaminação por areia durante a queima do bagaço. Por outro lado, a calcinação a 600 °C (CPC) não alterou significativamente sua concentração, o que corrobora com a baixa perda ao fogo (~3%) observada durante o tratamento térmico [21] . Os elementos potássio e cálcio foram os mais abundantes após o silício, especialmente após peneiramento e calcinação. Estes elementos são comuns em cinzas utilizadas como adição cimentícia [22]. Em concentrações menores estão presentes o ferro, alumínio e enxofre, cuja origem pode estar associada tanto a contaminantes do próprio bagaço e do processo de queima quanto à absorção natural pela planta a partir do solo, durante o seu crescimento [23]. Estes elementos podem influenciar nas propriedades mecânicas e durabilidade, mas em baixas concentrações indicam efeitos limitados sobre o desempenho da cinza [24].

Tabela 1- Composição química em percentual das amostras de cinza bruta (CB), cinza peneirada (CP) e cinza peneirada calcinada (CPC).

Elemento	Símbolo	CB (%)	CP (%)	CPC (%)
Silício	Si	70.506	60.368	60.459
Potássio	K	10.024	12.788	12.170
Cálcio	Ca	7.963	11.082	11.911
Ferro	Fe	4.435	6.288	6.216
Alumínio	Al	3.453	4.582	4.689
Enxofre	S	1.438	1.883	1.339

A identificação das fases cristalinas presentes nos materiais pozolânicos é realizada por meio da difração de raios X, conforme apresentado na Figura 3. Os difratogramas revelaram a presença marcante de quartzo (SiO_2) em todas as amostras analisadas, com picos de alta intensidade centrados em aproximadamente 20° e 26,8° (2θ), padrão também observado por Pontes, Campos e Dutra [8], e Garózi da Silva, Bortoleto e Almeida [12]. Os picos mais intensos permanecem mesmo após os processos de peneiramento e calcinação. A fase cristalina é caracterizada por picos bem definidos no difratograma, enquanto a fase amorfa se manifesta como uma região de baixa intensidade e aspecto mais difuso [12]. Esta distinção é perceptível ao observar a Figura 3, onde evidenciam-se picos de elevada intensidade indicativos da presença de fases cristalinas na amostra CB. Além disso, começam a se destacar desvios na linha de base, observados nas amostras CP e CPC, que sugerem a presença de material amorfo. Entre as amostras CP e CPC, a principal diferença foi um leve aumento da fase amorfa na CPC, indicando que a calcinação a 600 °C contribuiu para essa transformação, conforme os resultados de Ribeiro e Morelli [25].

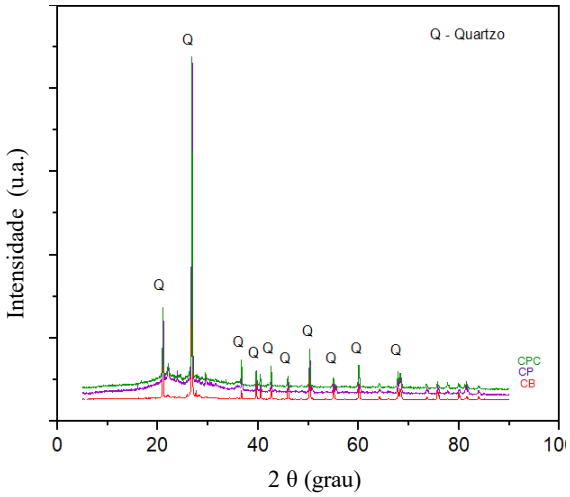


Figura 3 – Difratogramas de raios X das amostras de cinza bruta (CB), cinza peneirada (CP) e cinza peneirada calcinada (CPC).

Na Figura 4 são apresentadas as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura, que permitem visualizar a morfologia e a estrutura das partículas das cinzas em condições distintas. As micrografias com aumento de 5.020 vezes (5,02 kx) e escala de 5 µm revelaram variações morfológicas relevantes nas amostras. A cinza bruta (CB) apresentou partículas irregulares e altamente porosas, o que pode limitar sua reatividade ao dificultar a formação de produtos hidratados [26]. Por outro lado, a amostra peneirada (CP) indicou a presença de partículas mais finas e homogêneas, aumentando a área superficial e favorecendo a dispersão na matriz, o que potencializa a atividade pozolânica [27]. Já a cinza calcinada (CPC) exibiu partículas fragmentadas e porosas, indicando que o tratamento térmico intensifica a presença de fases amorfas reativas, ampliando sua capacidade de interação com o cimento [2]. Por fim, o cimento Portland (D) apresentou partículas angulares, que favorecem tanto a hidratação quanto o desempenho mecânico do compósito [28]. O perfil morfológico dos materiais corrobora com os resultados obtidos por difração de raios X (Figura 3), no qual observou-se também a presença mais evidente da fase amorfa na cinza submetida ao tratamento térmico.

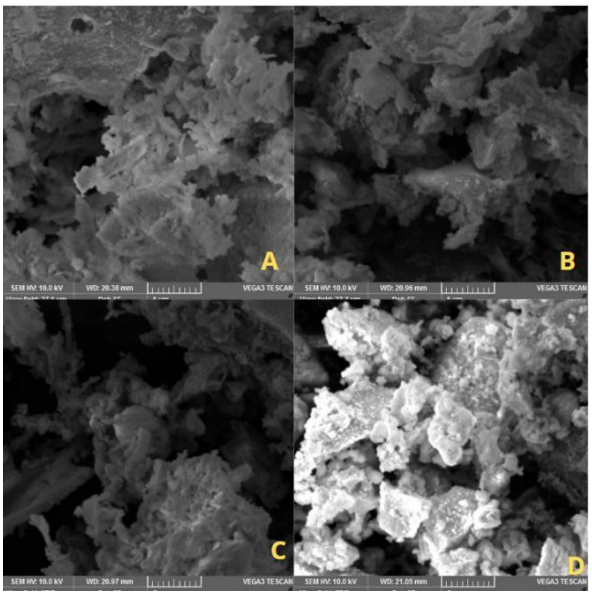


Figura 4 – Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura, com barra de escala de 5 µm, referentes às amostras (A) CB, (B) CP, (C) CPC e (D) cimento Portland.

Para avaliar a resistência à compressão da argamassa produzida com substituição parcial do cimento Portland por cinza calcinada, foi realizado o ensaio conforme a ABNT NBR 7215 [10]. A Figura 5 foi elaborada com os dados obtidos para a argamassa de referência (100% cimento Portland) e a amostra contendo cinza/cimento (10%-90%), respectivamente, com tempo de cura variável de 7 a 28 dias.

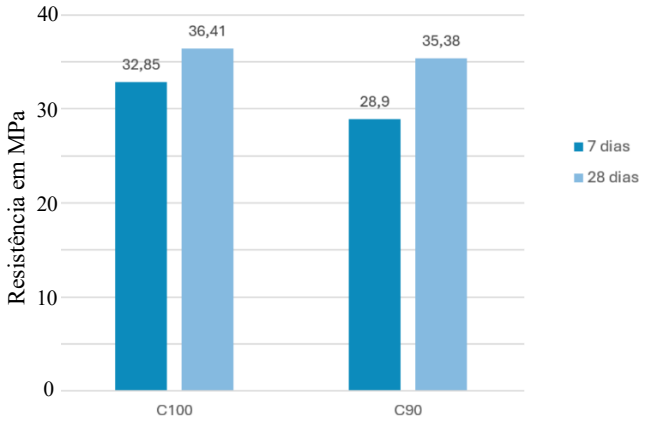


Figura 5 – Dados da resistência à compressão (Mpa) dos corpos de prova que utilizaram a CPC(C90) e a amostra de referência contendo 100% de cimento Portland (C100).

Os resultados indicaram que a substituição parcial de 10% do cimento Portland por CPC demonstrou resultados satisfatórios em termos de desempenho mecânico. Aos 7 dias de cura, a argamassa de referência (C100) apresentou resistência à compressão de 32,85 MPa, enquanto a formulação com CPC (C90) atingiu 28,90 MPa, o que representa uma redução inicial de 8,3%. Essa diferença pode ser atribuída à menor contribuição da reação pozolânica no estágio inicial, devido à natureza progressiva desse mecanismo, conforme apontado por Pontes et al. [9] e Silva Nunes et al. [10]. No entanto, aos 28 dias de cura, essa diferença se atenua significativamente: o C100 obteve 36,41 MPa e o C90 alcançou 35,38 MPa. Esse comportamento evidencia a evolução da atividade pozolânica da CPC, cuja presença de sílica amorfa reativa, como evidenciado nas Figuras 3 e 4, favorece o consumo de hidróxido de cálcio e contribui significativamente para o ganho de resistência mecânica ao longo do tempo, como discutido por Paula et al. [6] e Garózi da Silva, Bortoleto e Almeida [12]

4. CONCLUSÕES

O peneiramento e a calcinação a 600 ºC foram etapas determinantes na purificação e ativação da cinza. A separação física removeu impurezas e uniformizou o material proporcionando maior exposição superficial, enquanto a calcinação promoveu a conversão parcial da sílica cristalina em amorfa, que é a fase mais reativa da reação pozolânica na argamassa. Sendo assim, os resultados demonstram que o uso da cinza bruta é insuficiente para garantir a obtenção de um material funcional e de qualidade adequada.

Ademais, a argamassa com 10% de substituição de cimento CPV ARI por cinza peneirada e calcinada (CPC) manteve a resistência à compressão com valores próximos ao da referência, permitindo a substituição parcial do cimento sem comprometer o desempenho mecânico do compósito. A pequena diferença na resistência observada para o tempo de cura de 28 dias entre as formulações, indica que a cinza calcinada desenvolveu sua reatividade ao longo do tempo, compensando quase integralmente a redução no teor de cimento.

A elevada concentração de silício nas cinzas (> 60%), associada à presença de sílica amorfa após o tratamento térmico, pode ter contribuído para o bom desempenho observado na argamassa formulada com substituição parcial do cimento por cinza. Desta forma, o comportamento semelhante da mistura C90 em relação à argamassa de referência C100, aliado aos ganhos ambientais associados ao aproveitamento de um resíduo agroindustrial de baixo valor comercial, evidencia o potencial do material beneficiado para aplicações sustentáveis na construção civil.

Para trabalhos futuros pretende-se realizar o ensaio de medida da atividade pozolânica conforme a ABNT NBR 5751. Embora os resultados físico-químicos e mecânicos indiquem potencial reatividade, esse ensaio é essencial para validar tecnicamente a cinza como material suplementar ao cimento. Será avaliada também a aplicação prática da argamassa como reboco e a viabilidade econômica do beneficiamento, além da durabilidade e desempenho estrutural do material cimentício a longo prazo, com foco em possíveis problemas decorrentes da substituição parcial do cimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida. Reconhecem ainda o apoio das instituições parceiras como a UFCG e a Pós-Graduação em Ciência dos Materiais da UNIVASF, pelo acesso a infraestrutura laboratorial e suporte técnico.

REFERÊNCIAS

[1] AGROCERES MULTIMIX. Por Dentro Do Cocho: Bagaço De Cana Na Alimentação De Bovinos De Corte, 2021. Disponível em: <https://agroceresmultimix.com.br/blog/por-dentro-do-cocho-bagaco-de-cana-na-alimentacao-de-bovinos-de-corte/>. Acesso em: 24 jan. 2025.

[2] ULLAH, M. F.; TANG, H.; ULLAH, A. et al. **Desempenho Mecânico E Ambiental Da Cinza De Bagaço De Cana-De-Açúcar De Khyber Pakhtunkhwa Em Concreto Sustentável**. *Scientific Reports*, v. 15, p. 24571, 2025.

[3] HIGHWAYS TODAY. Brazil Explores Sugarcane Waste As Innovative Asphalt Additive, 2025. Disponível em: https://highways.today/2025/06/04/brazil-sugarcane-waste-asphalt/. Acesso em: 18 jan. 2025.

[4] LINHARES, B. D. F.; LEMOS, M. N.; CORDEIRO, G. C. **Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar De Elevada Reatividade Produzida Via Fracionamento Densimétrico E Moagem Ultrafina**. *Encontro Nacional De Aproveitamento De Resíduos Na Construção*, v. 7, p. 111–118, 2023.

[5] PAULA, M. O. de; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N. S.; SOUZA, C. F. **Potencial Da Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar Como Material De Substituição Parcial De Cimento Portland**. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 327–333, 2009.

[6] MANTOVANI, L. P. et al. **Biomassa E Energia**. *Revista De Agronomia Brasileira*, v. 6, 2022.

[7] OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA. Utilização Da Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar Como Agregado Miúdo Em Concreto, 2023. Disponível em: <https://observatoriolatinoamericano.com/2023/11/27/utilizacao-da-cinza-do-bagaco-da-cana-de-acucar-como-agregado-miudo-em-concreto/>. Acesso em: 27 jul. 2025.

[8] PONTES, I. C.; CAMPOS, L. F. A.; DUTRA, R. P. S. **Efeitos Da Adição De Cinza De Bagaço De Cana-De-Açúcar Nas Propriedades De Argamassas Cimentícias**. *Cerâmica Industrial*, v. 27, n. 1, p. 1–8, 2022.

[9] SILVA NUNES, I. H.; VANDERLEI, R.; SECCHI, M.; ABE, M. A. P. **Estudo Das Características Físicas E Químicas Da Cinza Do Bagaço De Cana-De-Açúcar Para Uso Na Construção**. *Revista Tecnológica*, v. 17, p. 39–48, 2008.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação Da Resistência À Compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

[11] PAULA, M. O. de; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. **Avaliação da atividadepozolânica da cinza do bagaço de cana de açúcar.** Revista Engenharia na Agricultura – REVENG, Viçosa, v. 17, n. 1, 2009.

[12] GAROZI DA SILVA, R.; BORTOLETTO, M.; ALMEIDA, J. G. de. **Sílica ativa e cinza do bagaço de cana-de-açúcar: resíduos que podem suplementar ou substituir o cimento Portland**. Revista Científica ANAP Brasil, v. 10, n. 21, 2017.

[13] BOZA, A. F.; KUPFER, V. L.; OLIVEIRA, A. R.; RADOVANOVIC, E.; RINALDI, A. W.; MENEGUIN, J. G.; DOMINGUES, N. L. C.; MOISÉS, M. P.; FAVARO, S. L. S. **Synthesis of α-aminophosphonates using a mesoporous silica catalyst produced from sugarcane bagasse ash.** RSC Advances, v. 6, p. 23981–23986, 2016.

[14] SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 7. ed. Nova York: Wiley, 2005.

[15] SILVA, F. A.; ROMDHANE, F. B.; CHAKIR, A.; BESSON, M. **Thermal degradation of poly(vinyl chloride): Kinetic analysis of thermogravimetric. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 111, n. 1, p. 581–587, 2013.

[16] HOPPE FILHO, J.; GOBBI, A.; PEREIRA, E.; TANAKA, R.; MEDEIROS, M. H. F. **Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte II): Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (IAP), difração de raios X (DRX) e termogravimetria (TG/DTG).** Matéria (Rio de Janeiro), v. 22, n. 3, p. e11753, 2017.

[17] FERNANDES FILHO, P. **Utilização da cinza residual do bagaço de cana de açúcar na produção de materiais cimentícios alcalinamente ativados.** 2012. 218 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2012.

[18] WENHAUSEN, A. P.; RODRIGUES, G. V.; MARCHETO, O. **Análises térmicas**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2010.

[19] CRUZ, M. A. da; CASANOVA, R. F.; BOSCARDIN, D.; ZANCHET, A. **Análise da viabilidade do uso de resíduos de cana de açúcar para produção de aglomerantes sustentáveis.** Revista Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, n. 4, 2021.

[20] SANTOS, T. A.; ARGOLO, R. A.; ANDRADE, H. M. C.; RIBEIRO, D. V**. Influência da temperatura de calcinação na pozolanicidade da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA).** 59° CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2017, Bento Gonçalves. Trabalhos técnicos. Bento Gonçalves: IBRACON, 2017.

[21] C2LAB. Ensaio de Perda ao Fogo (LOI): tudo sobre a técnica, 2023. Disponível em: < https://c2lab.com.br/ensaio-de-perda-ao-fogo-loi-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

[22] BERENGUER, D. et al. **Durability of Concrete Structures with Sugar Cane Bagasse Ash. Advances** in Materials Science and Engineering, v. 2020, p. 1–10, 2020.

[23] CORDEIRO, G. C.; LINHARES, B. D. F.; LEMOS, M. N. et al. **Production of a highly pozzolanic sugarcane bagasse ash via densimetric fractionation and ultrafine grinding**. Acta Scientiarum. Construction, v. 44, e53345, 2022.

[24] OLIVEIRA, Darlene Lopes do Amaral. **Caracterização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar e aplicação no solo.** 2015. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

[25] RIBEIRO, Daniel Véras; MORELLI, Márcio Raymundo. **Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of Brazilian sugar cane bagasse ash (SCBA)**. Materials Research, São Carlos, SP, v. 17, n. 4, p. 974–981, 2014.

[26] GRAU, Francisco; CHOO, Hyunwook; HU, Jong Wan; JUNG, Jongwon. **Engineering behavior and characteristics of wood ash and sugarcane bagasse ash.** Materials, Basel, v. 8, n. 10, p. 6962–6977, 2015.

[27] MOGHADDAM, Farzad et al. **The effect of fly ash fineness on heat of hydration, microstructure, flow and compressive strength of blended cement pastes**. Cement and Concrete Composites, 2018.

[28] SANSOM, Júlia Aparecida; LIMA, Felipe de Aquino; CHAGAS, Paulo Augusto Marques; BÉTTEGA, Vádila Giovana Guerra. **Avaliação da viabilidade de incorporação de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar em nanofibras poliméricas para filtração de ar.** Cadernos Técnicos de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 3, n. 3, p. 141–150, 2023.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-44

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade.

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO ADITIVO MIRA SET 595 NAS PROPRIEDADES DE UM CONCRETO CONVENCIONAL

ALVES, Kárita Christina Soares Kanaiama[1]; SILVA, Kalliu Soares da[2]; MOURÃO, Angelo Mateus Pereira[3]; VIANA, Nicollas Lemos[4]; MENDES, Maycon Brendon Rabelo[5];

[1]Instituto Federal do Tocantins, Gurupi – TO, Brasil. karita.alves@ifto.edu.br, 0000-0002-4309-3812
[2]Instituto Federal do Tocantins, Gurupi – TO, Brasil. kalliu.silva@estudante.ifto.edu.br, 0009-0004-3152-0559
[3]Instituto Federal do Tocantins, Gurupi – TO, Brasil. angelo.mourao@estudante.ifto.edu.br, 0009-0001-0970-3218
[4]Instituto Federal do Tocantins, Gurupi – TO, Brasil. nicollas.viana@estudante.ifto.edu.br, 0009-0000-5559-8984
[5]Instituto Federal do Tocantins, Gurupi – TO, Brasil. maycon.mendes@estudante.ifto.edu.br, 0009-0008-9381-6215

RESUMO

O uso de aditivos no concreto tem se tornado uma prática essencial para atender às crescentes exigências de desempenho, sustentabilidade e racionalização na construção civil. Entre os aditivos mais utilizados, destacam-se os superplastificantes, capazes de melhorar a trabalhabilidade do concreto sem aumento no teor de água. Este estudo justifica-se pela necessidade de desenvolver concretos mais eficientes e econômicos, por meio da aplicação de aditivos como o Mira Set 595 (GCP, 2024) [1], reconhecido por seu alto poder de dispersão e manutenção de abatimento em ambientes de temperatura elevada. O objetivo geral foi avaliar os efeitos da incorporação desse aditivo em um concreto convencional (fck de 25 MPa, abatimento de 100 mm ± 10mm), com foco na consistência e resistência à compressão. Os objetivos específicos incluíram a análise do comportamento reológico, a verificação da melhoria na fluidez e a identificação das vantagens técnicas e econômicas proporcionadas. A metodologia baseou-se em ensaios normatizados conforme a ABNT, comparando traços com diferentes proporções do aditivo. Os resultados indicaram que o Mira Set 595 melhora significativamente a fluidez e permite a redução do consumo de água e cimento, mantendo ou elevando os valores de resistência, o que contribui para a redução de custos e prazos de execução. Conclui-se que a utilização do aditivo constitui uma estratégia promissora para o desenvolvimento de concretos mais eficientes, econômicos e sustentáveis.

Palavras-chave: Concreto; Sustentabilidade; Fluidez; Economia.

ABSTRACT

The use of additives in concrete has become an essential practice to meet the growing demands for performance, sustainability, and rationalization in civil construction. Among the most widely used additives, superplasticizers stand out, capable of improving the workability of concrete without increasing water content. This study is justified by the need to develop more efficient and economical concretes, through the application of additives such as Mira Set 595 (GCP, 2024) [1], recognized for its high dispersion power and maintenance of slump in high temperature environments. The general objective was to evaluate the effects of incorporating this additive into conventional concrete (fck of 25 MPa, slump of 100 mm ± 10mm), focusing on consistency and compressive strength. The specific objectives included the analysis of rheological behavior, verification of the improvement in fluidity, and identification of the technical and economic advantages provided. The methodology was based on standardized tests according to ABNT, comparing mixes with different proportions of additive. The results indicated that Mira Set 595 significantly improves fluidity and allows for a reduction in water and cement consumption, while maintaining or increasing strength values, which contributes to reducing costs and execution times. It is concluded that the use of the additive constitutes a promising strategy for the development of more efficient, economical and sustainable concretes.

Keywords: Concrete; Sustainability; Fluidity; Economy.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais empregados na indústria da construção, e, devido às exigências de eficiência e sustentabilidade, necessita de inovações contínuas, que muitas vezes envolvem o uso de materiais como os aditivos e adições minerais. O uso de aditivos modificadores das propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto no endurecido, deve ser avaliado por meio de pesquisas, procurando-se avaliar as propriedades modificadas, elencando as vantagens técnicas e econômicas que eles podem proporcionar.

O Mira Set 595 [1] é um aditivo polifuncional, classificado como redutor de água tipo 1 e retardador de pega RA-R, conforme os critérios da ABNT NBR 11768-1:2019 [2]. Foi desenvolvido para aplicação em regiões de clima quente, apresentando alto poder de dispersão e boa manutenção do abatimento ao longo do tempo. Seu uso proporciona o aumento da fluidez do concreto, favorecendo a sua aplicação e podendo resultar na diminuição de custos e nos prazos de construção.

Diante disso, torna-se essencial compreender como determinados aditivos podem influenciar tanto o estado fresco quanto o estado endurecido do concreto. Estudos apontam que aditivos superplastificantes são eficazes na melhoria da trabalhabilidade e no ganho de resistência mecânica, especialmente sob temperaturas elevadas, em que há maior perda de abatimento e aceleração do tempo de pega, comprometendo o desempenho da mistura [1].

Considerando o contexto da construção civil e as potencialidades de uso dos aditivos para concreto, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do uso do Mira Set 595 [1] nas propriedades de um concreto convencional, de 25 MPa e 100 mm (± 10mm) de abatimento, concentrando-se na avaliação da consistência e da resistência à compressão. Para tanto, foram avaliadas as mudanças nas propriedades do concreto para diferentes porcentagens de uso do aditivo, de modo a observar como a adição do aditivo pode favorecer a redução do consumo de cimento, sem prejuízo de consistência e de resistência mecânica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção estão apresentados os materiais, equipamentos, normas e procedimentos seguidos para o atendimento dos objetivos deste trabalho.

2.1. Materiais

Para elaboração dos concretos analisados, foi utilizado um cimento convencional CP II F 32 [3], amplamente utilizado em obras de construção civil e comumente encontrado na região. Como agregado miúdo foi utilizada a areia lavada extraída do rio Santa Teresa. Já o agregado graúdo usado foi um britado com dimensão máxima característica (DMC) de 9,5 mm, produzida na Pedreira Gurupi LTDA. Foi observado que este possui grãos com tamanho que variam entre 4,8 mm e 9,5 mm, conforme especificado pela ABNT NBR 7211:2019 [4]. Ambos agregados são provenientes da cidade do Peixe-TO. As características destes materiais estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades dos materiais.

Propriedades	Areia	Cimento	Agregado graúdo
Densidade (kg/m³)	2692	3100	2632
Módulo de finura (mm)	2,51	-	-
Massa unitária (kg/m³)	-	-	1382
DMC (mm)	-	-	9,5
Absorção de água (%)		-	0,2557

i. Dosagem dos concretos

Considerando as características dos materiais apresentados na Tabela 1, foi utilizado o método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) [5], buscando obter a melhor dosagem. Foi definido um concreto de uso convencional com fck de 25 MPa, aos 28 dias, e abatimento de 100 mm ± 10mm, considerando a condição de preparo A, com um desvio padrão igual a 4, para o cálculo da resistência de dosagem fcj.

Assim, o traço unitário dosado foi 1:1,962:1,766:0,5, sendo as proporções de cimento, areia, agregado graúdo e água, respectivamente. Para avaliar o efeito da adição do aditivo, bem como a redução do cimento e da água, foram definidos seis traços, conforme mostrado na Tabela 2. A porcentagem de aditivo foi calculada em relação a massa de cimento. Considerando se a necessidade de se realizar os ensaios de determinação de consistência e a moldagem de corpos de prova para resistência à compressão, os concretos foram proporcionados para preparo com 10 kg de cimento.

Tabela 2 - Dosagem dos traços.

Nº do traço	Dosagem	% de aditivo	Consumo de cimento (kg/m³)	Consumo de água (l/m³)
1	1: 1,962: 1,766: 0,5	0	450	225
2	1: 1,962: 1,766: 0,45	0,5	450	202,5
3	1: 1,962: 1,766: 0,45	1	450	202,5
4	1: 2,18: 1,962: 0,5	0,5	405	202,5
5	1: 2,18: 1,962: 0,5	1	405	202,5
6	1: 2,452: 2,21: 0,5	0,5	360	180

A formulação dos seis traços descritos na Tabela 2 teve como objetivo analisar os efeitos da adição do aditivo Mira Set 595 [1], bem como das variações no teor de água e cimento, nas propriedades do concreto. O Traço 1 foi utilizado como referência, sem aditivo, representando um concreto convencional. Os Traços 2 e 3 mantiveram a quantidade de cimento do traço de referência, com adição de 0,5% e 1% de aditivo, respectivamente, e com redução da a/c para 0,45. Essa variação permitiu verificar a influência direta do Mira Set 595 [1] sobre a trabalhabilidade e a resistência do concreto, com a redução da a/c. Os Traços 4 e 5, por sua vez, mantiveram as proporções de água e aditivo dos traços anteriores (2 e 3), mas com uma redução de 10% no consumo de cimento, possibilitando avaliar se o aditivo poderia compensar a perda de ligante em termos de desempenho mecânico. Por fim, o Traço 6 representou a condição mais econômica, com 20% de redução no cimento, mantendo a relação a/c de 0,5. Assim, os traços propostos permitiram avaliar os efeitos combinados da variação dos componentes sobre o comportamento do concreto no estado fresco e endurecido.

ii. Preparo dos concretos

Após a pesagem dos materiais necessários, a betoneira foi preparada com um pouco de água e cimento, para que não houvesse perdas de nata de cimento durante o preparo dos concretos. A ordem de entrada dos materiais na betoneira foi a seguinte: inicialmente a brita e parte da água, depois areia, finalmente o cimento e o restante da água. A ordem e o tempo de mistura seguiram as recomendações de Furnas Centrais Elétricas S.A. [6]. Para os concretos com aditivo, que é o caso dos traços de 2 a 6, ele foi diluído na água inicial dos traços, sendo misturado aos materiais desde o início do preparo.

iii. Avaliação da consistência

Após cinco minutos de mistura, realizou-se o ensaio de abatimento (*slump test*) conforme os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 16889:2020 [7], que regulamenta a determinação da consistência do concreto fresco por meio do método do tronco de cone. O ensaio consiste no preenchimento de um molde metálico em forma de tronco de cone com a mistura de concreto, em três camadas sucessivas, sendo cada camada adensada manualmente com 25 golpes de uma haste metálica. Após o preenchimento e nivelamento da superfície, o molde é retirado verticalmente, e então mede-se a diferença entre a altura original do molde e a altura final do concreto abatido. Esse valor, chamado de abatimento, indica a consistência da mistura. Segundo a norma, concretos classificados como plásticos devem apresentar valores de abatimento entre 40 mm e 160 mm, intervalo no qual se enquadram os traços analisados neste estudo.

A Figura 1 apresenta a determinação da consistência em dois dos traços avaliados, sendo (a) o traço 1, sem aditivo, e (b) o traço 2, com redução da relação a/c e adição de aditivo.



a



b

Figura 1 – Determinação da consistência dos traços de concreto: (a) Traço 1 – sem aditivo; (b) Traço 2– com 0,5% de aditivo.

iv. Moldagem dos corpos de prova e cura

Foram moldados 6 corpos de prova para cada traço, sendo um total de 36 corpos de prova. Depois de 48 horas todos os corpos de prova foram retirados dos moldes, pesados, identificados, e colocados no tanque de cura, como orientado pela norma ABNT NBR 5738:2016 [8].

v. Avaliação da resistência à compressão

Os corpos de prova foram organizados em ordem crescente de massa e, foram rompidos na prensa hidráulica manual com painel digital, nas idades de 7, 14 e 28 dias, como pode ser visto na Figura 2. Foram seguidas as orientações da ABNT NBR 5739:2018 [9].



Figura 2 - Ensaio de compressão em andamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os resultados de consistência, avaliada por meio do ensaio de abatimento (*slump test*), e os valores de resistência à compressão (fck) obtidos aos 7, 14 e 28 dias para os seis diferentes traços de concreto, cujas composições estão descritas na Tabela 2. A Figura 3 apresenta o gráfico com os valores de abatimento obtidos por traço, enquanto a Figura 4 exibe as resistências máximas observadas em cada traço, por idade.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de consistência e de resistência à compressão.

Nº do traço	Abatimento (mm)	Fck 7 dias (MPa)	Fck 14 dias (MPa)	Fck 28 dias (MPa)
1	90	21,58	21,78	25,73
2	90	32,78	33,91	37,43
3	160	32,54	34,84	36,25
4	100	30,46	30,51	35,26

5	105	32,04	35,81	38,26
6	40	32,06	32,69	37,07

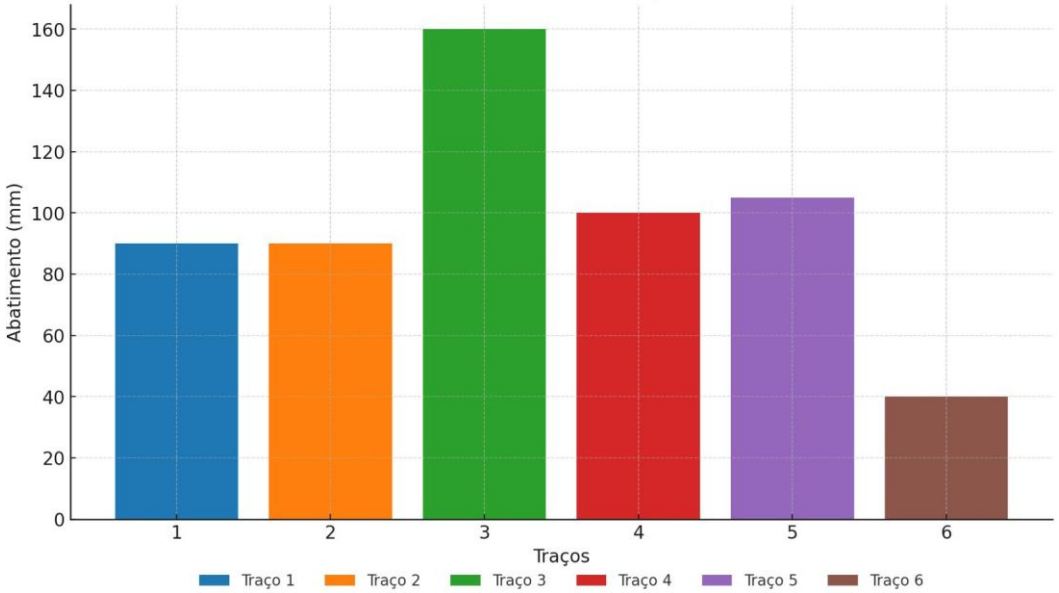


Figura 3 – Valores de abatimento por traço.

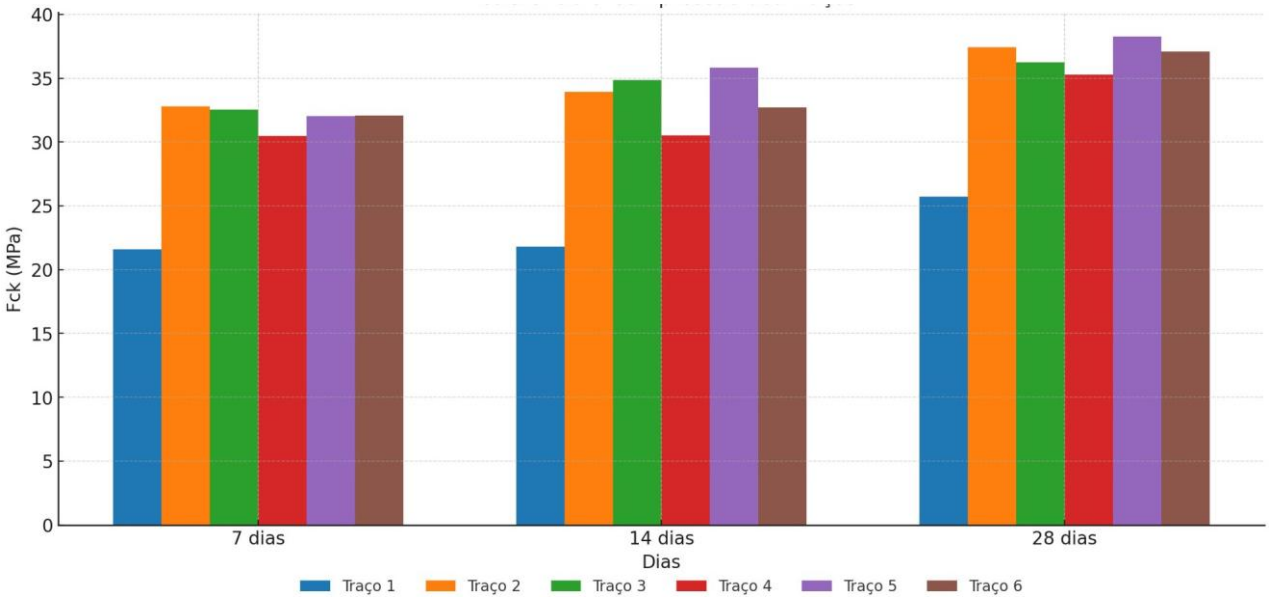


Figura 4 - Resistências dos concretos nas diferentes datas de ruptura.

A adição do aditivo nos traços 2 a 5 permitiu a manutenção ou até o aumento da consistência, mesmo com menor a/c ou menor consumo de cimento. Comparado ao traço de referência (abatimento de 90 mm), os traços com 0,5% de aditivo (2 e 4) mantiveram ou aumentaram ligeiramente o abatimento (90 e 100 mm, respectivamente). Os traços com 1% de aditivo (3 e 5) apresentaram aumentos mais significativos (160 e 105 mm), indicando melhora na trabalhabilidade.

O Traço 6, apesar de mais econômico, apresentou o menor abatimento (40 mm), sugerindo que é mais adequado para situações que toleram concretos secos, como pré-moldados ou pavimentações com vibração intensa.

3.1. Análise da resistência à compressão

Todos os traços com aditivo apresentaram resistências à compressão superiores às do traço de referência, em todas as idades avaliadas. O Traço 1 atingiu 25,73 MPa aos 28 dias, enquanto os demais traços atingiram entre 35,26 MPa e 38,26 MPa.

- O Traço 2, com redução da a/c e 0,5% de aditivo, apresentou ganho expressivo em resistência, alcançando 37,43 MPa aos 28 dias.
- O Traço 3, com 1% de aditivo, obteve 36,25 MPa, atingido maior resistência e fluidez acentuada.
- O Traço 4 (405 kg/m³ de cimento e 0,5% de aditivo) alcançou 35,26 MPa, superando o mínimo exigido, mesmo com menor Cc.
- O Traço 5, com 1% de aditivo, atingiu o maior valor entre todos (38,26 MPa), evidenciando o efeito positivo da dispersão promovida pelo aditivo.
- O Traço 6, com 20% de economia de cimento e água, ainda assim apresentou 37,07 MPa aos 28 dias, demonstrando a viabilidade de concretos econômicos com bom desempenho mecânico.

3.2. Considerações sobre custo-benefício

A análise dos dados demonstra que o uso do aditivo Mira Set 595 [1] possibilitou a produção de concretos com redução de até 20% no consumo de cimento, sem prejuízo à resistência mecânica. Em todas as situações, o aditivo contribuiu para o aumento da resistência, mesmo com variações de consistência e economia de materiais.

Os traços com maior teor de aditivo (1%) apresentaram melhores resultados de abatimento, favorecendo a trabalhabilidade, mas os ganhos em resistência não foram significativamente superiores aos obtidos com 0,5%. Isso levanta a questão sobre o custo-benefício do aumento na dosagem do aditivo, que deve considerar o desempenho exigido para a aplicação final, a fluidez desejada e a economia de cimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidencia o potencial técnico e econômico do uso do aditivo superplastificante Mira Set 595 [1], promovendo concretos com melhor desempenho no estado fresco e endurecido. A eficiência da dispersão das partículas de cimento resultou em matrizes mais densas, com menor porosidade e maiores resistências.

A dosagem de 0,5% já se mostrou eficiente para otimizar tanto a trabalhabilidade quanto a resistência. O aumento para 1% pode ser interessante em situações que exigem maior fluidez, mas seu uso deve ser avaliado conforme o contexto técnico e econômico.

A pesquisa realizada permitiu analisar o impacto do aditivo Mira Set 595 [1] nas propriedades mecânicas do concreto, com base em procedimentos seguindo orientações das normas técnicas da ABNT. Os resultados obtidos sugerem a eficácia do aditivo na melhoria da trabalhabilidade e da resistência à compressão, mesmo em traços mais econômicos.

A adição do Mira Set 595 proporcionou ganhos significativos na fluidez do concreto, permitindo a redução da relação água/cimento sem comprometer o desempenho mecânico, além de contribuir para a racionalização do uso de materiais. Esses fatores indicam maior eficiência operacional, melhoria na qualidade do concreto produzido e possibilidade de redução de custos em diferentes contextos construtivos.

Diante dos resultados apresentados, a utilização do Mira Set 595 mostra-se promissora especialmente para obras executadas em regiões de clima quente, onde a perda rápida de abatimento pode comprometer a aplicação e a qualidade final do concreto.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação da pesquisa com diferentes tipos de cimento, relações água/cimento variadas, outros tipos de agregados e em condições de temperatura diferenciadas. Também se indica a investigação do comportamento do concreto aditivado sob ações ambientais agressivas e da sua durabilidade a longo prazo, além da análise do uso combinado com aditivos complementares. Essas abordagens podem aprofundar a compreensão do desempenho do Mira Set 595 [1], contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis e eficientes na engenharia de materiais.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem, à empresa Concretins Concreto Usinado pelo apoio técnico e pela colaboração indispensável durante a execução do projeto, cuja parceria contribuiu para o sucesso das atividades experimentais. Também, ao Laboratório de Construção Civil do IFTO, *campus* Gurupi, pelo suporte e pela realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

[1] GCP APPLIED TECHNOLOGIES. MIRA® SET 595 – Redutor de água e retardador de pega. Disponível em: <https://gcpat.com.br/pt-br/solutions/products/mira-mid-range-water-reducers/mira-set-595>. Acesso em: 11 set. 2024.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768-1: Aditivos químicos para concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/faculdade-catolica-paulista/estruturas-de-aco-e-madeira/abnt-nbr-11768-2019-1-aditivos-quimicos-para-concreto/74318955>. Acesso em: 16 dez. 2024.

[3] CIMENTO.ORG. CP II-F 32 – Cimento Portland Composto com Fíler. Disponível em: <https://cimento.org/cp-ii-f-32-cimento-portland-composto-com-filer/>. Acesso em: 27 set. 2024.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-de-santa-catarina/materiais/abnt-nbr-7211-agregados-para-concreto-especificacao/23424343>. Acesso em: 16 dez. 2024.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. Método de Dosagem do Concreto – ABCPonLINE, 22 de julho de 2020. São Paulo: ABCP, 2020. Disponível em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2020/07/Metodo_Dosagem_Concreto_ABCPonLINE_22.07.2020.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.

[6] FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. Manual de construção civil: concreto. [S.l.]: FURNAS, [s.d.].

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/724922470/NBR-16889-2020-Concreto-Determinacao-da-consistencia-pelo-abatimento-do-tronco-de-cone>. Acesso em: 11 dez. 2024.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. Disponível em: <http://www2.uesb.br/biblioteca/wp-content/uploads/2022/03/NBR-5738-CONCRETO-PROCEDIMENTO-PARA-MODELAGEM-E-CURA.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2024.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/641717293/NBR-5739-2018-Concreto-Ensaio-de-compressao-de-corpos-de-prova-cilindricos>. Acesso em: 16 dez. 2024.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-52

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

BIM E GESTÃO DE RESÍDUOS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE 2010 A 2024

SILVA, Guilherme Fauth da[1]; DAMINELI, Bruno Luís[2]

[1] Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, arq.guilhermefauth@gmail.com, 0000-0003-2072-6522
[2] Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, bruno.daminelli@usp.br, 0000-0001-7758-4129

RESUMO

O Building Information Modeling (BIM) aprimora tecnologias e processos em todas as fases do ciclo de vida da construção, promovendo uma gestão de resíduos mais eficiente. No entanto, a maioria das publicações sobre o tema é fragmentada, tratando de casos específicos ou aplicações isoladas do BIM na gestão de resíduos. Diante disso, torna-se essencial uma análise mais abrangente, que inclua discussões quantitativas e qualitativas para mapear esse campo do conhecimento de forma estruturada. Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica para identificar as principais tendências, autores, instituições, periódicos e palavras-chave relacionadas ao tema. Os resultados indicam uma crescente integração do BIM com novas tecnologias digitais e a predominância de publicações oriundas da China e do Reino Unido, evidenciando o protagonismo desses países no avanço científico da área. Assim, este estudo não apenas contribui para a compreensão do impacto do BIM na gestão de resíduos, mas também aponta oportunidades para aprofundar pesquisas sobre a integração de tecnologias emergentes e superar barreiras à implementação do BIM em diferentes contextos.

Palavras-chave: BIM; gestão; resíduos; bibliometria.

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) enhances technologies and processes across all phases of the construction life cycle, promoting more efficient waste management. However, most publications on the topic are fragmented, addressing specific cases or isolated applications of BIM in waste management. In light of this, a more comprehensive analysis becomes essential, one that includes both quantitative and qualitative discussions to systematically map this field of knowledge. In this context, the aim of this research is to conduct a bibliometric analysis to identify the main trends, authors, institutions, journals, and keywords related to the topic. The results indicate a growing integration of BIM with new digital technologies and a predominance of publications originating from China and the United Kingdom, highlighting the leading role of these countries in the scientific advancement of the field. Thus, this study not only contributes to the understanding of BIM's impact on waste management but also points to opportunities for further research on the integration of emerging technologies and overcoming barriers to BIM implementation in different contexts.

Keywords: BIM; management; waste; bibliometrics.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a crescente preocupação com a sustentabilidade na construção civil tem impulsionado estudos sobre estratégias para a redução de resíduos e a otimização do uso de materiais. Nesse contexto, o Building Information Modeling (BIM) tem sido amplamente explorado como uma ferramenta que permite a simulação do projeto de edifícios antes da construção. Essa abordagem possibilita que os projetistas considerem o volume de materiais já na fase de planejamento, promovendo um uso mais eficiente dos recursos. O BIM integra informações de diversas disciplinas em um modelo digital, permitindo a extração detalhada de dados sobre materiais e suas quantidades. Com essa implementação, os envolvidos no projeto podem otimizar tecnologias e processos em todas as etapas do ciclo de vida, favorecendo uma gestão mais eficiente dos resíduos [1].

Embora esta pesquisa tenha identificado um aumento considerável no número de publicações a partir do ano de 2020, pesquisas publicadas após esse período, como a de Han, Kalantari e Rajabifard [2], evidenciam a escassez de investigações sobre a integração de BIM na gestão de resíduos, especialmente nas fases finais do ciclo de vida. Isso sugere que ainda existem lacunas a serem identificadas, tornando essencial uma compreensão mais abrangente desse campo, que inclua análises quantitativas e qualitativas para mapear sua evolução e identificar oportunidades de pesquisa. Assim, este estudo busca oferecer uma visão abrangente da produção científica sobre o tema. Além de sintetizar o conhecimento existente, a pesquisa fornece subsídios para orientar futuras investigações, impulsionando avanços teóricos e práticos na busca por uma construção civil mais sustentável.

Com essa base, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise bibliométrica para identificar as principais tendências, autores, instituições, periódicos e palavras-chave relacionadas à integração do BIM com a gestão de resíduos na construção civil. Espera-se que os resultados contribuam para uma compreensão mais aprofundada do desenvolvimento desse campo científico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Ao inserir as palavras-chave “BIM”, “waste” e “management” na base de dados Web of Science (WoS), foram retornados 372 documentos. Embora o estudo de Zhou [3] demonstre registros sobre o tema a partir de 1998, a plataforma WoS permite a aplicação de filtros para pesquisas digitalizadas a partir de 2010. Isso definiu o limite inicial do período analisado (2010), enquanto o ano final (2024), foi definido com base no critério de consideração do último ano completo antes do desenvolvimento desta pesquisa. Inicialmente, os 372 documentos foram analisados por meio dos filtros por ano, nativos da base de dados. Em cada ano, os artigos passaram por leitura prévia dos títulos e resumos, buscando identificar o surgimento de novos temas e tecnologias ao longo dos anos. Visto que a WoS não publica trabalhos de outra natureza, teses e dissertações não foram analisadas, uma vez que dificultariam a união e exportação de dados para o software de análise.

Após, a amostra foi exportada no formato .txt para ser analisada no VOSviewer, um software especializado na análise e visualização de dados bibliométricos. O VOSviewer permite mapear redes de coautoria, coocorrência de palavras-chave, citações, acoplamento bibliográfico e relações entre instituições e países. Além dos mapas visuais gerados pelo software, também foi possível exportar tabelas para o Excel, onde a ferramenta “classificar e filtrar” foi utilizada para organizar os dados do maior para o menor valor, permitindo a identificação dos países, autores, instituições e documentos mais relevantes no campo de estudo.

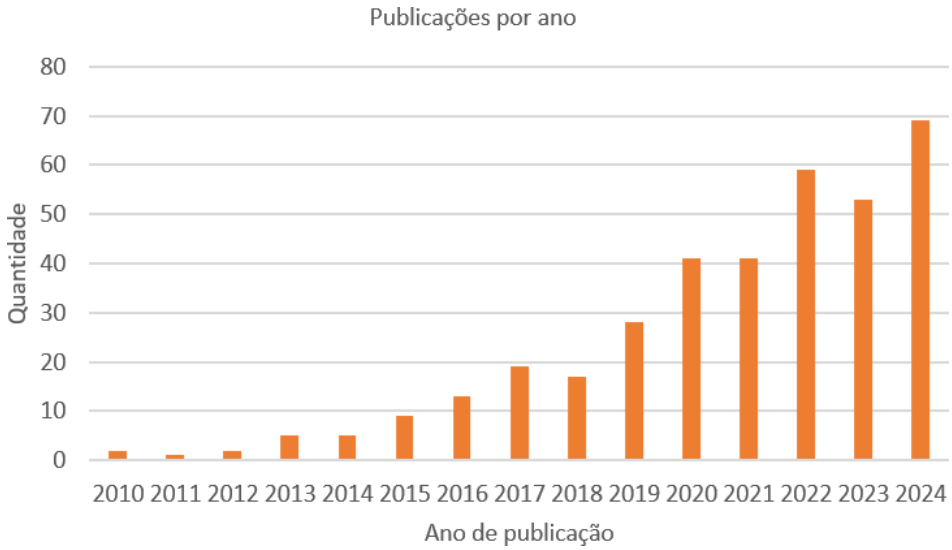
A identificação dos países com maior número de publicações foi realizada configurando o tipo de análise para “coautoria” e a unidade para “países”. Para a identificação dos autores e coautores mais relevantes, a análise foi configurada para “coautoria” com a unidade “autores”. A investigação sobre as principais instituições foi conduzida alterando a unidade da análise para “organizações”. Para identificar os periódicos mais citados, o tipo de análise foi ajustado para “citações”, com a unidade “fontes”. Utilizando o mesmo tipo de análise e alterando a unidade para “documentos”, foi possível obter os artigos mais citados. Por fim, a análise de coocorrência de palavras-chave foi realizada configurando o tipo de análise para “coocorrências” e a unidade para “todas as palavras-chave”.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise histórica: revelando eixos tecnológicos

A trajetória das pesquisas envolvendo BIM e gestão de resíduos demonstra uma evolução significativa desde 2010, quando os primeiros estudos associaram a tecnologia ao conceito de produção enxuta [4] [5]. Inicialmente, o foco estava na melhoria do fluxo de trabalho durante a execução das obras e na promoção da colaboração entre equipes, com destaque para sistemas como o KanBIM, que buscavam reduzir desperdícios e facilitar o planejamento [4]. Ao longo da década, os estudos passaram a abordar diferentes fases do ciclo de vida das edificações, incluindo a operação em 2012 [6], demolição em 2013 [7] e retrofit em 2014 [8], além de incorporar temas como sustentabilidade, automação e gestão de resíduos. A ampliação do escopo temático refletiu-se no aumento gradual do número de publicações, conforme figura 1.

Figura 1 – Número de publicações por ano.



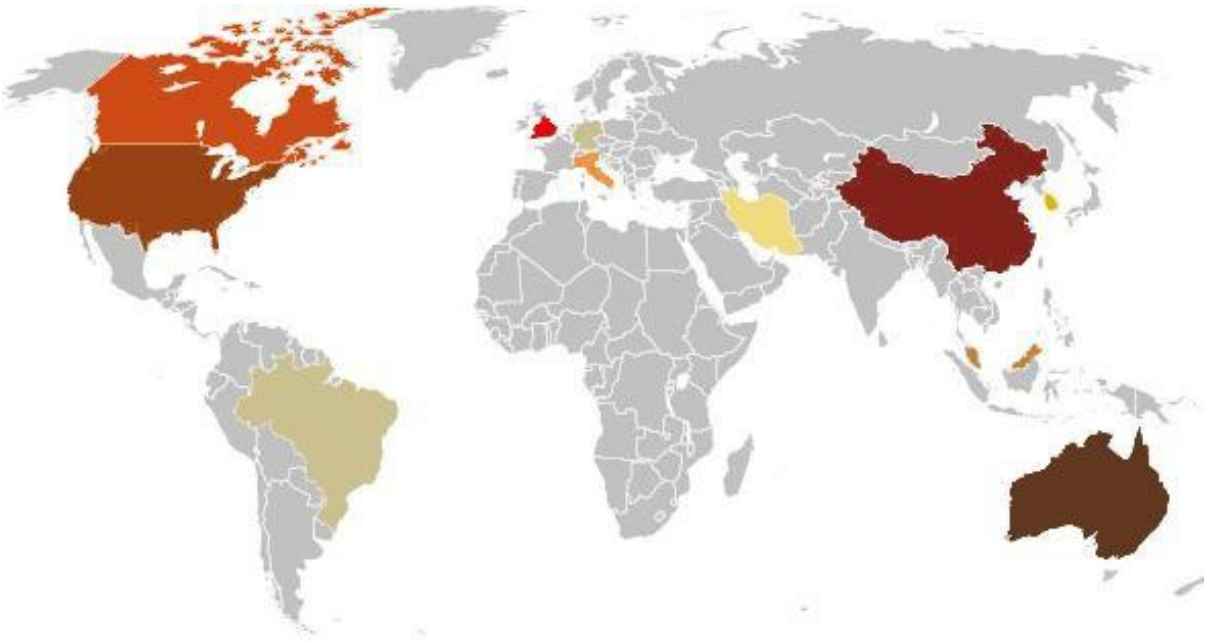
A partir de meados da década de 2010, observa-se um avanço ainda mais expressivo nas pesquisas, com o surgimento de abordagens que integram o BIM a tecnologias emergentes. Destacam-se propostas que combinam BIM com Big Data para prever e mitigar o desperdício na fase de projeto [9], além do uso da Internet das Coisas e computação em nuvem para otimizar a logística de sistemas construtivos pré-fabricados [10]. Entre o fim da década de 2010 e início da década de 2020, o número de publicações aumentou significativamente, sinalizando a consolidação da área e o aprofundamento das investigações em novas frentes, como a automatização da estimativa de resíduos [11], a integração com Sistemas de Informação Geográfica (GIS) [12], a incorporação da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) [13] e do Custo de Ciclo de Vida (CCV) [14]. O surgimento dessas abordagens evidencia a centralidade das tecnologias emergentes nas pesquisas atuais, reforçando o papel do BIM como núcleo articulador de inovações voltadas à sustentabilidade, automação e eficiência na construção. A figura 2 elucida uma linha do tempo indicando o surgimento de eixos temáticos e tecnológicos ao longo dos anos.



Figura 2 – Linha do tempo com a identificação de eixos temáticos e tecnológicos.

3.2. Países líderes em publicações

A análise dos países líderes em publicações pode evidenciar a posição disciplinar, a cooperação internacional e a troca de conhecimento em tópicos de pesquisa [3]. A Figura 3 mostra os 11 países com o maior número de publicações. Apenas os países com pelo menos 10 publicações aparecem na figura.



Cor	País	Documentos	Citações	Cor	País	Documentos	Citações
	China	105	2650		Malásia	15	161
	Inglaterra	57	2400		Coreia do Sul	13	591
	Austrália	47	1254		Irã	11	220
	USA	43	1578		Alemanha	10	280
	Canadá	21	599		Brasil	10	96
	Itália	19	320		Outros	< 10	-

Figura 3 – Países líderes em publicações.

Conforme indicado na figura 3, a China apresenta um número de publicações significativamente superior (105), até mesmo quando comparada com a segunda colocação (Inglaterra), que possui 57 documentos. Embora haja essa diferença, as quantidades de citações entre ambos os países estão bastante próximas. Ligeiramente abaixo, a Austrália aparece com 47 documentos, seguida pelos Estados Unidos da América (EUA), Canadá e Itália, com 43, 21 e 19 publicações, respectivamente. A Malásia apresentou 15 artigos, logo abaixo, a Coreia do Sul encontra-se com 13, enquanto o Irã possui 11 documentos. Finalmente, a Alemanha e o Brasil ocupam as últimas posições, com 10 publicações cada. Embora o Brasil apresente a mesma quantidade de documentos que a Alemanha, sua quantidade de citações é significativamente mais baixa.

3.3. Principais autores

Nesse campo de pesquisa, um total de 1.066 autores contribuíram para o estudo. A tabela 1 apresenta os 10 pesquisadores mais ativos que, juntos, publicaram 61 artigos ao longo do período analisado. No topo da lista, Oyedele, L. O. destacou-se com 7 publicações, acumulando um total de 781 citações. Logo atrás, Li, Z. também registrou 7 publicações, porém com um número de citações relativamente mais baixo (161). A maioria dos demais autores possui 6 documentos, exceto Owolabi, H. A. e Leite, F, que publicaram 5 artigos cada. Vale ressaltar que o número de citações nem sempre está diretamente relacionado à quantidade de artigos publicados, visto que o penúltimo colocado, mesmo com apenas 5 publicações, alcançou um maior número de citações (641) em comparação com o segundo colocado.

Tabela 1 – Autores mais ativos no campo de pesquisa

Autor	Afiliação	Documentos	Citações
Oyedele, L. O.	University of the West of England	7	781
Li, Z.	Dalian University of Technology	7	161

Akinade, O. O.	University of the West of England	6	743
Bilal, M.	University of the West of England	6	728
Ajayi, S. O.	Leeds Beckett University	6	650
Alaka, H. A.	Birmingham City University	6	650
Wang, J.	Deakin University	6	196
Li, H.	Hong Kong Polytechnic University	6	150
Owolabi, H. A.	University of the West of England	5	641
Leite, F.	University of Texas at Austin	5	222

No geral, os dados revelam uma forte colaboração entre diferentes autores, particularmente entre Oyedele, Akinade, Bilal, Ajayi e Alaka, todos vinculados a universidades do Reino Unido. A University of the West of England, em particular, parece ser um ponto central dessa rede de colaboração, com três dos autores vinculados (Oyedele, Akinade e Bilal). Isso pode indicar um ambiente acadêmico altamente colaborativo, focado em temas relacionados à inovação digital, sustentabilidade e gestão de resíduos de construção. Além disso, a inclusão de outros pesquisadores de diferentes universidades, como Li, Z e Wang, J, sugere uma colaboração internacional que fortalece a troca de conhecimento e a diversificação de perspectivas no campo da pesquisa.

3.4. Principais instituições

As instituições de pesquisa desempenham um papel fundamental como centros físicos em áreas de pesquisa relevantes. Compreender a distribuição dessas instituições proporciona uma visão mais clara sobre os principais contribuintes para o avanço científico [2]. A análise apontou 479 instituições atuantes no campo científico. A tabela 2 organiza as 10 principais universidades que, juntas, totalizam 19,86% das publicações.

Tabela 2 – Instituições mais representativas no campo de pesquisa.

País	Instituição	Documentos	Citações
China	The Hong Kong Polytechnic University	13	706
China	The University of Hong Kong	12	350
China	Shenzhen University	8	293
Reino Unido	Northumbria University	7	300
China	City University of Hong Kong	7	293
Austrália	Royal Melbourne Institute of Technology	6	194
Austrália	University of New South Wales	6	138
Inglaterra	University of the West of England	5	503
Canadá	University of Alberta	5	365
EUA	University of Texas at Austin	5	222

Ao analisar os resultados das principais instituições, observa-se que as universidades chinesas dominam a lista, com destaque para a Hong Kong Polytechnic University, que lidera tanto em número de documentos (13) quanto em citações (706). A The University of Hong Kong segue de perto, com 12 documentos e 350 citações, indicando uma forte presença acadêmica no cenário global. Além disso, a Shenzhen University também figura entre as principais, evidenciando a crescente importância das instituições chinesas na produção acadêmica. Do Reino Unido, a Northumbria University se destaca com 7 documentos e 300 citações, mostrando um bom desempenho, embora em uma posição inferior quando comparada às universidades chinesas. Instituições de outros países, como a Royal Melbourne Institute of Technology (Austrália) e a University of Texas at Austin (EUA), também apresentam números consideráveis de documentos, mas com menor quantidade de citações, o que sugere uma produção acadêmica relevante, mas com menos impacto imediato. A University of the West of England, embora tenha apenas 5 publicações, apresenta um número expressivo de citações (503), sugerindo que seus trabalhos têm boa repercussão dentro da comunidade científica.

3.5. Análise de citações

Das 159 revistas, 25 atenderam ao requisito de no mínimo 3 documentos. A Figura 4 é organizada em 5 clusters (grupos de elementos que apresentam alta conexão entre si, indicando padrões de colaboração). O cluster verde é centralizado pela revista Sustainability, que possui 38 documentos e 707 citações. O cluster vermelho apresenta a revista Automation

in Construction em seu núcleo, com 21 publicações e 1.470 citações. O Journal of Building Engineering representa o centro do cluster azul, com 12 artigos e 355 citações. O cluster roxo contém o periódico Resources, Conservation and Recycling no centro, com 10 documentos e 810 citações. Por fim, o cluster amarelo é centralizado pelo Journal of Information Technology in Construction, que possui 5 publicações e 115 citações.

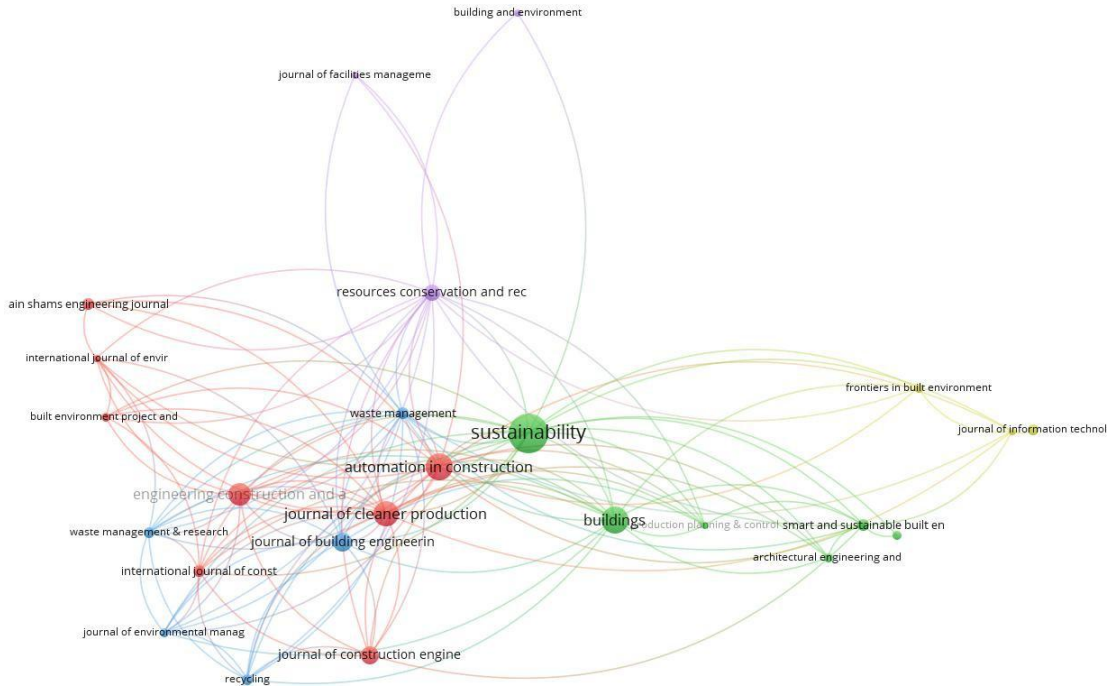


Figura 4 – Revistas mais citadas.

A tabela 3 resume os 10 principais documentos sobre BIM e gestão de resíduos. Os 372 documentos analisados somam 8.607 citações, enquanto os 10 principais somam 2.159, representando 25,08% do total. Entre eles, o maior número de citações foi alcançado por Arayici et al. [5], que buscaram apresentar uma avaliação abrangente e sistêmica das principais tecnologias BIM, destacando seu papel na adoção e implementação do BIM e demonstrando como a eficiência foi aprimorada para uma prática arquitetônica mais enxuta.

Tabela 3 – Documentos mais citados.

Título	Autores	Revista	Citações
Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice	Arayici, et al. [5]	Automation in Construction	315
Building information modelling for off-site construction: Review and future directions	Yin, et al. [15]	Automation in Construction	264
A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning	Cheng e Ma [7]	Waste Management	241
A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability	Chong, Lee e Wang [16]	Journal of Cleaner Production	238
Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018	Jin, Yuan e Chen [17]	Resources Conservation and Recycling	235
Schedule risks in prefabrication housing production in Hong Kong: a social network analysis	Li, et al. [18]	Journal of Cleaner Production	202
Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction	Sacks, Radosavljevic e Barak [4]	Automation in Construction	180

Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS)	Akinade et al. [19]	Resources Conservation and Recycling	167
Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements	Ajayi et al. [20]	Resources Conservation and Recycling	160
Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modelling	Alwan, Jones e Honlgate [21]	Journal of Cleaner Production	157

Os artigos na segunda, quarta e quinta colocação são revisões de literatura. Yin et al. [15] exploram o estado da arte em BIM para construção fora do local por meio de um método de revisão bibliométrica-qualitativa. Chong, Lee e Wang [16] adotaram uma revisão mista sistemática para analisar duas fontes principais de literatura: padrões e diretrizes de BIM, e publicações acadêmicas revisadas por pares. Já Jin, Yuan e Chen [17] adotaram uma abordagem de mapeamento científico para avaliar a pesquisa sobre gerenciamento de resíduos de construção no período de 2009 a 2018, por meio de pesquisa bibliométrica, análise cienciométrica e discussão qualitativa.

No geral, todos os artigos compartilham um foco na otimização dos processos construtivos e na redução de desperdícios, com ênfase na eficiência produtiva e na sustentabilidade. Alguns exploram a pré-fabricação e a modularização como estratégias para mitigar riscos e aprimorar o planejamento. Além disso, há uma preocupação comum com a identificação de barreiras e requisitos para a adoção de abordagens mais eficientes, bem como com a necessidade de inovação tecnológica e automação para melhorar a gestão de recursos e minimizar os impactos ambientais. A integração entre diferentes etapas do processo construtivo e a adaptação dos modelos organizacionais também são aspectos recorrentes nas discussões apresentadas.

3.6. Coocorrência de palavras-chave

O VOSviewer identificou 1.425 palavras-chave, das quais apenas 66 atenderam ao requisito de no mínimo 10 coocorrências. A Figura 5 ilustra a rede de coocorrências das principais palavras-chave citadas nos 372 artigos analisados.

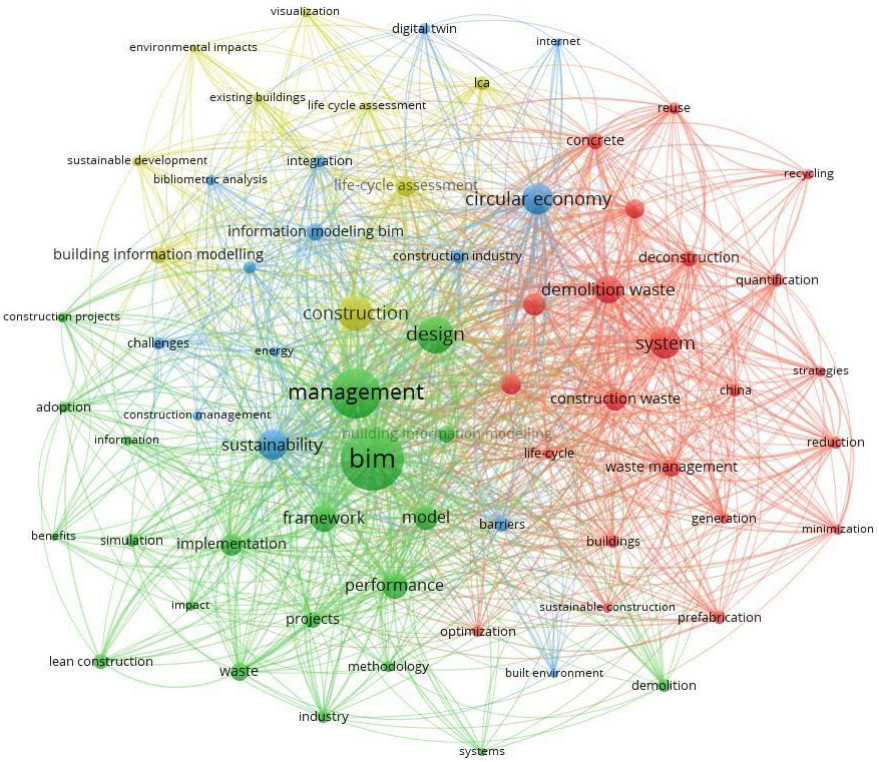


Figura 5 – Coocorrência de palavras-chave

Os clusters verde e vermelho concentram-se, respectivamente, na adoção do BIM e na gestão de resíduos na construção civil. O primeiro enfatiza a implementação do BIM em diferentes etapas do ciclo de vida da construção, destacando benefícios como otimização de processos, redução de desperdícios e melhoria no desempenho por meio de simulações e frameworks alinhados à construção enxuta. Já o cluster vermelho aborda práticas sustentáveis na gestão de resíduos, com foco na quantificação, redução e reutilização de materiais, além do papel da desconstrução e da pré-fabricação — especialmente em estruturas de concreto — como estratégias de minimização de impactos ambientais.

Os clusters azul e amarelo ampliam a discussão ao tratar da digitalização e da sustentabilidade no setor. O azul destaca a integração de tecnologias como gêmeos digitais e IoT com o BIM, reforçando sua relevância na transição para uma economia circular e na gestão eficiente de recursos. Já o cluster amarelo foca na ACV e no desenvolvimento sustentável, apontando a modelagem de edifícios existentes como estratégia-chave para decisões mais embasadas quanto aos impactos ambientais.

4. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica para desenvolver discussões quantitativas e qualitativas sobre BIM e gestão de resíduos. A análise evidenciou a contribuição do BIM para a otimização dos processos construtivos e a promoção de práticas sustentáveis. A predominância de publicações de instituições chinesas reflete o crescente interesse e domínio do país sobre o tema, enquanto a presença significativa de autores do Reino Unido demonstra o aumento da notoriedade do país no campo científico. Além disso, a identificação de clusters de pesquisa inter-relacionados sugere que a integração do BIM com tecnologias emergentes, como gêmeos digitais e ACV, constitui um campo promissor para futuras investigações. Dessa forma, avanços nas pesquisas sobre o uso do BIM na gestão de resíduos podem consolidar práticas mais eficazes e contribuir para uma construção civil ambientalmente responsável.

No geral, a pesquisa contribui para o avanço do campo científico por meio de uma síntese abrangente das principais tendências na interseção entre o BIM e a gestão de resíduos na construção civil. A análise bibliométrica possibilitou a identificação dos principais tópicos de pesquisa, as instituições e os autores mais influentes, além de destacar os periódicos e documentos mais citados. Esse panorama fortalece a compreensão atual do impacto do BIM nas práticas sustentáveis de construção e abre novas oportunidades para o aprofundamento de estudos sobre a integração de tecnologias emergentes e a superação das barreiras à implementação do BIM em diferentes contextos. Assim, a pesquisa oferece insights para tomadores de decisão, orientando futuras investigações e práticas voltadas à melhoria da eficiência e sustentabilidade no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

[1] KABIRIFAR, K.; MOJTAHEDI, M.; WANG, C.; TAM, V. Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. **Journal of Cleaner Production.** v. 263, p. 1 – 16, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121265.

[2] HAN, D.; KALANTARI, M.; RAJABIFARD, A. Building Information Modeling (BIM) for construction and demolition waste management in Australia: a research agenda. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 23, p. 1–16, 2021. https://doi.org/10.3390/su132312983

[3] ZHOU, L. A bibliometric review of zero waste in the built environment using VOSviewer: evolution, hotspots, and prospects**. Frontiers in Environmental Science**, v. 11, p. 1 – 15, 2024. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1326458

[4] SACKS, R; RADOSAVLJEVIC, M; BARAK, R. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. **Automation in Construction**, v. 19, n. 5, p. 641 – 655, 2010. DOI 10.1016/j.autcon.2010.02.010

[5] ARAYICI, Y.; COATES, P.; KOSKELA, L.; KAGIOGLOU, M.; USHER, C.; O'REILLY, K. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. In: **International Conference on Sustainable Urbanization (ICSU),** 1, p. 82 – 91, 2010. Disponível em: https://www-webofscience-com.ez67.periodicos.capes.gov.br/wos/woscc/full-record/WOS:000313637300015

[6] LIAO, C.; TAN, D.; LI, Y. Research on the Application of BIM in the Operation Stage of Green Building. **Applied Mechanics and Materials**, v. 174, n. 177, p. 2111 – 2114, 2012. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.174-177.2111

[7] CHEG, J. C. P.; MA, L. Y. H.; A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste Management**, v. 33, n. 6, p. 1539 – 1551, 2013. DOI 10.1016/j.wasman.2013.01.001

[8] LI, M.; YANG, J. Critical factors for waste management in office building retrofit projects in Australia. **Resources Conservation and Recycling**, v. 93, p. 85 – 98, 2014. DOI 10.1016/j.resconrec.2014.10.007

[9] BILAL, M.; OYEDELE, L. O.; AKINADE, O. O.; AJAYI, S. O.; ALAKA, H. A.; OWOLABI, H. A.; QADIR, J.; PASHA, M.; BELLO, S. A. Big data architecture for construction waste analytics (CWA): A conceptual framework. **Journal of Building Engineering**, v. 6, p. 144 – 156, 2016. DOI 10.1016/j.jobe.2016.03.002

[10] ZHONG, R. Y.; PENG, Y.; FANG, J.; XU, G.; XUE, F.; ZOU, W.; HUANG, G. Q. Towards Physical Internet-enabled Prefabricated Housing Construction in Hong Kong. **IFAC – Papers Online**, v. 48, n. 3, p. 1079 – 1086, 2015. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.227

[11] BAKCHAN, A.; GUERRA, B. C.; FAUST, K. M.; LEITE, F. BIM-Based Estimation of Wood Waste Stream: The Case of an Institutional Building Project. In: **ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering (i3CE)**, Georgia, p. 185 – 192, 2019. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784482421.024

[12] BARBATO, D.; PRISTERI, G.; DE MARCHI, M. GIS-BIM Interoperability for Regeneration of Transurban Areas. In: **International Conference on Urban and Regional Development and Spatial Planning in the Information Society (REAL CORP),** 23, Vienna, p. 243 – 250, 2018. Disponível em: https://www.research.unipd.it/handle/11577/3281205

[13] MARRERO, M.; WOJTASIEWICZ, M.; MARTINEZ-ROCAMORA, A.; SOLIS-GUZMAN, J.; ALBA-RODRIGUEZ, M. D. BIM-LCA Integration for the Environmental Impact Assessment of the Urbanization Process. **Sustainability**, v. 12, n. 10, p. 1 – 24, 2020. https://doi.org/10.3390/su12104196

[14] ZOGHI, M.; KIM, S. Dynamic Modeling for Life Cycle Cost Analysis of BIM-Based Construction Waste Management. **Sustainability**, v. 12, n. 6, p. 1 – 21, 2020. DOI 10.3390/su12062483

[15] YIN, X.; LIU, H.; CHEN, Y.; AL-HUSSEIN, M. Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. **Automation in Construction**, v. 101, p. 72 – 91, 2019. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.010

[16] CHONG, H. Y.; LEE, C. Y.; WANG, X. A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 4114 – 4126, 2017. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.222

[17] JIN, R.; YUAN, H.; CHEN, Q. Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018. **Resources Conservation and Recycling**, v. 140, p. 175 – 188, 2019. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.029

[18] LI, C. Z.; HONG, J.; XUE, F.; SHEN, G. Q.; XU, X.; MOK, M. K. Schedule risks in prefabrication housing production in Hong Kong: a social network analysis. **Journal of Cleaner Production,** v. 134, p. 482 – 494, 2016. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.123

[19] AKINADE, O. O.; OYEDELE, L. O.; BILAL, M.; AJAYI, S. O.; OWOLABI, H. A.; ALAKA, H. A.; BELLO, S. A.Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS). **Resources Conservation and Recycling**, v. 105, p. 167 – 176, 2015. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.018

[20] AJAYI, S. O.; OYEDELE, L. O.; BILAL, M.; AKINADE, O. O.; ALAKA, H. A.; OWOLABI, H. A.; KADIRI, K. O. Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements. **Resources Conservation and Recycling**, v. 102, p. 101 – 112, 2015. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.06.001

[21] ALWAN, Z.; JONES, P.; HOLGATE, P. Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modelling. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 349 – 358, 2017. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.085

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-40

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE BURITI (MAURITIA FLEXUOSA) PARA UTILIZAÇÃO COMO ADITIVO EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

RUBIM, Sthefany Carolina Amaral[1]; PAIVA, Antônio Ernandes Macedo[2]; NUNES, Kleilson Raimundo Chagas[3]; OLIVEIRA, Douglas Gabriel Santana[4]; DE ANDRADE, Geovane Lima[5]

[1] Instituto Federal do Maranhão, Maranhão, Brasil, acad.rubim@gmail.com, 0009-0005-9461-9529
[2] Instituto Federal do Maranhão, Maranhão, Brasil, ernandes@ifma.edu.br, 0000-0003-0810-5352
[3] Instituto Federal do Maranhão, Maranhão, Brasil, kleilsonray@gmail.com
[4] Instituto Federal do Maranhão, Maranhão, Brasil, dg_so@hotmail.com
[5] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rio Grande do Norte, Brasil, geovane.andrade@alunos.ufersa.edu.br

RESUMO

Na construção civil, a argamassa possui diversas aplicações, sendo utilizada do início ao fim da obra. Devido a essa forte utilização, pesquisadores buscam encontrar novos materiais que se agreguem ao conceito ecológico e sustentável. No presente trabalho, foi investigada a compatibilidade da fibra extraída do pecíolo do buriti (Mauritia flexuosa), oriunda do estado do Maranhão, com a matriz cimentícia para o desenvolvimento de argamassa de revestimento a partir da caracterização da fibra por meio dos ensaios de granulometria, microscopia eletrônica de varredura (MEV), absorção de água e teor de umidade. A curva granulométrica esquadrou-se dentro da zona utilizável recomendada, porém o módulo de finura de 0,031707, muito baixo, a desclassificou como agregado convencional, podendo ser usada apenas como aditivo. O MEV comprovou a rugosidade da fibra, sua porosidade pode causar baixa interação da fibra com a massa cimentícia. As partículas apresentaram índice médio de absorção de água elevado, 143,67%, comportamento já esperado uma vez que as fibras têm caráter hidrofílico. O teor de umidade médio das partículas foi de 4,14%, considerado baixo e adequado para uso em matriz cimentícia. Levando em consideração os resultados obtidos, a fibra de buriti possui potencial para ser aplicada como aditivo à argamassa de revestimento.

Palavras-chave: fibra de buriti; argamassa de revestimento; fibra vegetal; sustentabilidade.

ABSTRACT

In civil construction, mortar has several applications and is used from the beginning to the end of the project. Due to this heavy use, researchers seek to find new materials that add to the ecological and sustainable concept. In this study, the compatibility of fiber extracted from the petiole of the buriti palm (Mauritia flexuosa), native to the state of Maranhão, with the cementitious matrix for the development of coating mortar was investigated based on the characterization of the fiber through granulometry, scanning electron microscopy (SEM), water absorption, and moisture content tests. The particle size distribution curve fell within the recommended usable range, but the fineness modulus of 0.031707, which is very low, disqualified it as a conventional aggregate, allowing it to be used only as an additive. SEM confirmed the roughness of the fiber, whose porosity can cause low interaction between the fiber and the cementitious mass. The particles had a high average water absorption index of 143.67%, which was expected since the fibers are hydrophilic. The average moisture content of the particles was 4.14%, considered low and suitable for use in cementitious matrices. Taking into account the results obtained, buriti fiber has the potential to be applied as an additive to coating mortar.

Keywords: buriti fiber; coating mortar; vegetable fiber; sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A fibra é um somatório de estruturas bem específicas que possuem elevada resistência à tração, ótima interação entre os constituintes, proteção contra ataques externos, além de geometrias específicas que maximizam as propriedades do vegetal [1].

O Brasil é grande produtor de fibras vegetais, assumindo uma posição única entre países sul-americanos, tendo uma área de aproximadamente 8,5 milhões de km², privilegiado geograficamente por possuir condições climáticas excepcionais e solo fértil para o cultivo de uma variedade de espécies de plantas [2].

A utilização de fibras vegetais como reforço em compósitos de fibrocimento vem crescendo cada vez mais no setor da construção. Essa expansão é consequência principalmente das suas características como: a baixa densidade, a sua natureza não tóxica, a abundância, a biodegradabilidade, o menor efeito abrasivo aos equipamentos, o baixo custo e principalmente as relevantes propriedades mecânicas [3].

De Souza et al. [4] comparam painéis de madeira convencional, fabricados com madeira de Eucalyptus spp., com painéis contendo diferentes proporções de fibra de coco. Os resultados indicaram que os painéis com concentração entre 10% e 20% de fibra de coco apresentaram desempenho superior em relação aos feitos exclusivamente com madeira, evidenciando o potencial da fibra de coco como alternativa viável à madeira.

Tanobe et al. [5] avaliaram as propriedades mecânicas de concretos com adição das fibras de açaí e curauá, observando que ambas proporcionaram um aumento de 33,3% na tenacidade dos concretos. Além disso, verificou-se que a fibra de açaí contribuiu para a melhoria das propriedades mecânicas do compósito.

Segundo Pereira, entre os recursos utilizados na reformulação da argamassa, tendo como base uma construção sustentável, destaca-se o buriti, que é classificado como uma fibra vegetal lignocelulósica, de grande potencial produtivo [6].

O buriti pertence à família Arecaceae, também chamada de Palmae, que são popularmente chamadas de palmeiras. Esta espécie apresenta características botânicas com grande valor econômico, artesanal e ornamental. Confirma-se tal afirmação através da observação do ciclo produtivo do buriti, que é chamado de árvore da vida, pois dele tudo é aproveitado [7].

A palmeira de buriti pode ter de 20 a 35 metros de altura e possui caule liso de 23 a 50 cm de diâmetro. O caule sustenta no ápice 20 a 30 folhas, que podem ter até 3 metros de comprimento. Observa-se em indivíduos mais antigos a altura de 50 metros e folhas que chegam a 4 metros de comprimento. A folha é composta de 3 partes: capemba (bainha), talo (pecíolo) e palha (limbo foliar). A capemba é a parte mais larga que fixa a folha ao caule do buriti. O pecíolo tem até 10 cm de largura, é coberto por uma fibra dura conhecida como talo e preenchido por um tecido esponjoso, a bucha, que é a medula do talo [7]. A Figura 1 apresenta uma palmeira de buriti e a composição da sua folha.

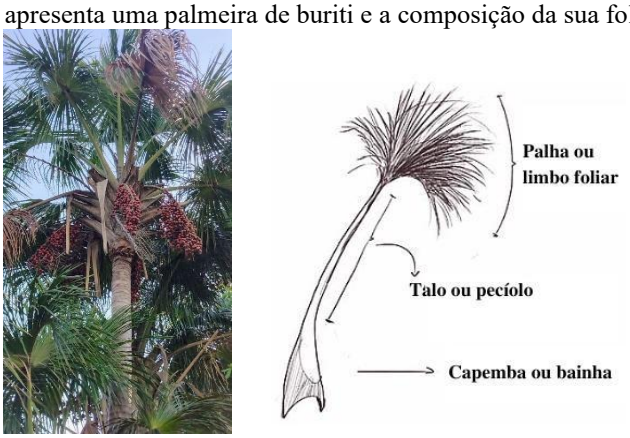


Figura 1 – Palmeira de buriti e composição da sua folha [7].

Portanto, esta pesquisa tem como objetivo caracterizar, via ensaios laboratoriais, a fibra vegetal extraída do pecíolo da palmeira de Buriti a fim de avaliar se a mesma pode ser aplicada na construção civil como aditivo de argamassa de revestimento.

3. METODOLOGIA

Na Figura 2, apresenta-se o fluxograma da metodologia adotada nesta pesquisa, de forma a proporcionar uma visão clara e sistematizada das etapas desenvolvidas ao longo do estudo.

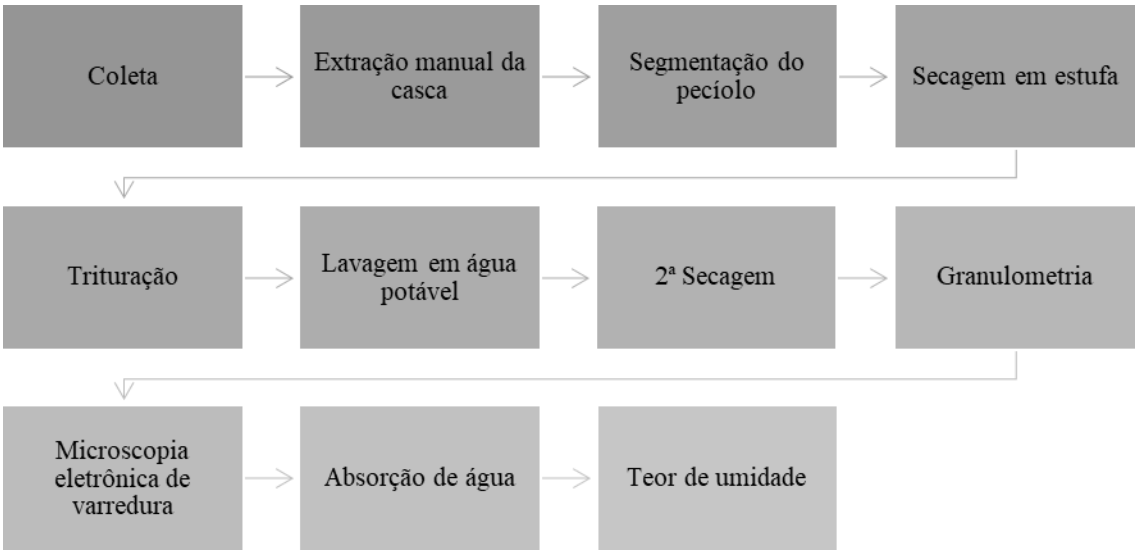


Figura 2 – Fluxograma do procedimento experimental.

3.1 Preparação da fibra de buriti

O pecíolo do Buriti foi doado por moradores da comunidade da Maiobinha, dos municípios de Alcântara e de Santo Amaro, localizados no estado do Maranhão. Para caracterização da fibra, foi realizada a extração da casca do pecíolo de maneira manual, prosseguida da segmentação em tamanhos menores para facilitar o processo de trituração e secagem em estufa com temperatura de 90 °C durante 24h. Na Figura 3, é possível observar o pecíolo após a extração da casca e sua segmentação.



Figura 3 – Pecíolo após extração da casca (esq.) e pecíolo após segmentação para tritura (dir.).

Após o período de secagem, o material passou por trituração em uma forrageira modelo TRF – 70 Trapp, Figura 4. Parte das partículas de fibra trituradas passou pelo tratamento de lavagem. Lavou-se a fibra de buriti com água potável em temperatura ambiente durante 1 hora, logo em seguida as fibras foram secas em estufa com temperatura de 60 °C por 12 horas.



Figura 4 – Processo de trituração (esq.) e pecíolo pós tritura (dir.).

3.2 Caracterização granulométrica da fibra de buriti

Granulometria é a distribuição em porcentagem dos diversos tamanhos de grãos [8]. Segundo a ABNT NBR 17054 [8], para a realização do ensaio, a amostra deve ser previamente seca em estufa para retirada da umidade. A determinação das dimensões das partículas do agregado e de suas respectivas porcentagens de ocorrência é feita através de um sistema de peneiramento.

As peneiras foram organizadas com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo e encaixadas de modo que formaram um único conjunto de peneiras. A agitação do conjunto, de 15 segundos de duração, foi possibilitada por intermédio de um agitador mecânico de peneiras, Figura 5. A agitação foi recomendada para permitir a separação dos diferentes tamanhos da amostra. A série de peneiras utilizadas é dada na Tabela 1.



Figura 5 – Peneiras do ensaio de granulometria.

Tabela 1 – Série de peneiras ensaio de granulometria.

Abertura da malha (mm)
9,5
6,30
4,75

1,19
0,60
0,30
0,15

Após o tempo de agitação, o material retido em todas as peneiras e no fundo do conjunto foi pesado e identificado. Para obter o resultado do ensaio, foi calculada a porcentagem retida em massa em cada peneira, seguido pelo cálculo das porcentagens médias retida e acumulada em cada peneira e assim obteve-se a curva granulométrica.

A Tabela 2, extraída da norma ABNT NBR 7211 [9], especifica limites de distribuição granulométrica de agregados miúdos adequados para o uso em argamassas. Os limites apresentados na Tabela 2 foram baseados em experiências práticas, assim os agregados miúdos que possuem granulometria dentro dos limites especificados são tecnicamente adequados para uso.

Tabela 2 – Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo [9].

Abertura da malha da Peneira ABNT NBR NM ISO 3310-1 [10] (mm)	Porcentagens Retidas Acumuladas			
	Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Zona utilizável	Zona Ótima	Zona utilizável	Zona Ótima
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

3.3 Microestrutura da fibra de buriti

A análise microestrutural do material foi avaliada por meio de imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura (MEV). Microscópio eletrônico de varredura possibilitou a visualização da morfologia da superfície. O microscópio utilizado neste ensaio, de marca Zeiss, modelo Auriga, é apresentado na Figura 6.

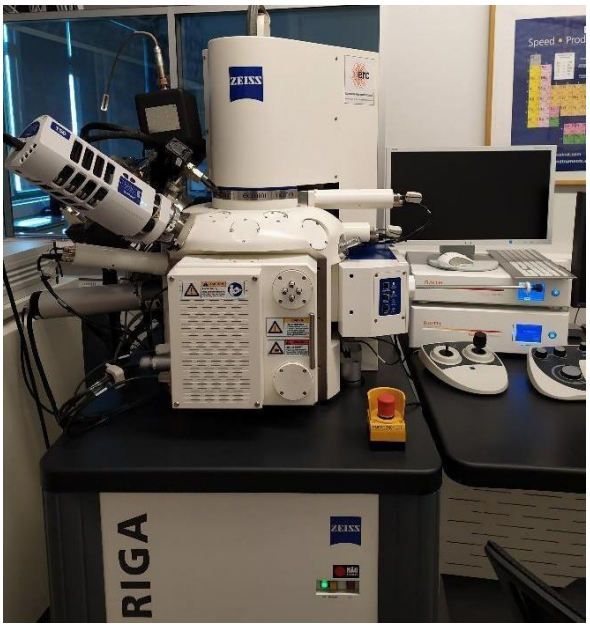


Figura 6 – Microscópio Eletrônico de Varredura por emissão de campo (MEV).

3.4 Absorção de água da fibra

Absorção é o processo pelo qual um corpo sólido é submetido ao ter contato com um líquido [11]. No momento do contato, o líquido busca ocupar os poros permeáveis do corpo sólido, logo há um aumento da massa do corpo por conta da sua característica porosa que se diferencia de sua massa quando em estado seco.

As amostras de fibras retidas na peneira de 2,36 mm, na de 1,19 mm e na peneira de 0,6 mm foram primeiramente colocadas em estufa para secar a uma temperatura de 70 °C, nesse momento foi determinada a massa seca da fibra. Em seguida, as partículas foram submersas em recipiente com água durante o período de 48 horas, com frequência de pesagens de massa em balança de precisão espaçadas da ordem de 5 min, 30 min, 1h, 2h, 24h e 48h. Para auxiliar na determinação da massa da fibra úmida, foram utilizados papéis toalhas para absorver o excesso de água da fibra. A Figura 7 exibe as fibras que foram preparadas para o ensaio de absorção.



Figura 7 – Fibras do ensaio de absorção.

A metodologia descrita segue as recomendações da norma ABNT NBR 9778 [11], a absorção de água foi calculada através da equação 1:

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (1)$$

onde:

A = absorção de água (%)
m_s = massa da amostra úmida (g)
m = massa da amostra seca em estufa (g)

3.5 Teor de umidade da fibra

O teor de umidade total é a relação percentual entre a massa total da água que envolve e preenche os poros da fibra e a sua massa seca [12]. O ensaio é baseado na norma ABNT NBR 9939 [12], assim as partículas de fibra passadas na peneira de 1,19 mm e retidas na peneira de 0,6 mm foram separadas em três amostras de 100 gramas cada e secas em estufa com temperatura de 90 ± 5 °C por 24 horas, Figura 8.



Figura 8 – Fibra do ensaio de teor de umidade (esq.) e forno utilizado para secagem da fibra (dir.).

O teor de umidade total da fibra foi obtido através da equação 2, prontamente feita à pesagem da amostra após o período de secagem.

$$h = \frac{M_i - M_f}{M_f} \times 100 \quad (2)$$

onde:
h = teor de umidade total (%)
M_i = massa inicial da amostra (g)
M_f = massa final amostra seca em estufa (g)

4. RESULTADOS

4.1 Análise granulométrica das partículas

A agitação mecânica da fibra teve duração de 15 segundos, tempo que permitiu a separação e classificação dos diferentes tamanhos da amostra. As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados do ensaio de granulometria da fibra de buriti.

Tabela 3 – Composição granulométrica da fibra de buriti.

Peneira (mm)	Massa retida (g)	Massa retida (%)	Massa retida acumulada (g)	Retida acumulada (%)
9,5	0	0%	0	0%
6,3	32,104	7,0%	32,104	7%
4,75	13,776	3,00%	45,88	10%
2,36	29,348	6,40%	75,228	16%
1,19	91,912	20%	167,14	36%
0,6	152,326	33%	319,466	70%
0,3	91,752	20%	411,218	90%

0,15	24,032	5%	435,25	95%
Fundo	23,47	5%	458,72	100%

Tabela 4 – Características físicas da fibra de buriti.

Parâmetro	
Módulo de Finura	0,031701
Dimensão máxima característica (mm)	Não definida

Observou-se que a fibra utilizada é bastante fina, característica atestada pelo módulo de finura de aproximadamente 0,032, com a maioria das partículas presentes entre as malhas 2,36 mm e 0,30 mm. Não foi possível definir a dimensão máxima característica, pois na distribuição granulométrica da fibra não houve uma abertura nominal de peneira na qual o agregado apresentou uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5% em massa.

Conforme determina a norma, foi calculada a porcentagem retida, em massa, em cada peneira, bem como as porcentagens médias retidas e acumuladas em cada peneira, tornando conhecida a distribuição granulométrica da fibra. De acordo com os limites de distribuição granulométrica para agregados miúdos especificados na ABNT NBR 17054 [8], mostrados na Tabela 2, a curva granulométrica da fibra de buriti enquadrou-se dentro da zona utilizável, conforme demonstrado na Figura 9.

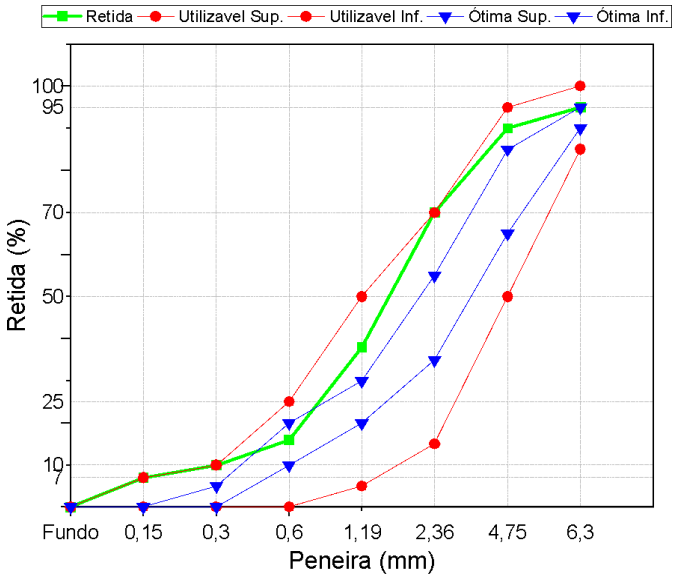


Figura 9 – Curva granulométrica fibra de buriti com zonas limites de utilização de agregado miúdo.

Apesar da curva granulométrica da fibra de buriti está dentro dos limites aceitáveis para agregado miúdo, o módulo de finura de 0,031701 foi muito inferior ao mínimo exigido (1,55) pela ABNT NBR 17054 [8], não sendo possível classificá-la como agregado miúdo ou graúdo.

Após a caracterização granulométrica, foi possível definir as partículas de fibra que seriam usadas ao longo da pesquisa. Assim, para o ensaio de absorção de água da fibra, foram utilizadas as partículas de fibras retidas nas peneiras 2,36 mm, 1,19 mm e 0,6mm, com porcentagem retida de 6,4%, 20% e 33%, respectivamente. Para a análise do teor de umidade, foram utilizadas partículas de fibras que passaram na peneira de 1,19 mm e ficaram retidas na peneira de 0,6 mm.

4.2 Microestrutura da fibra

Na morfologia estrutural da superfície da fibra de buriti obtida através do ensaio matriz cimentícia (MEV), foi possível observar algumas características típicas de fibras vegetais.

As Figuras 10 e 11 apresentam o ensaio MEV da fibra de buriti. Durante o ensaio, foi observada a presença do lúmen e o padrão de distribuição das microfibras. Comprovou-se a rugosidade da superfície da fibra de buriti; sua porosidade pode causar a baixa interação da fibra com a matriz cimentícia.

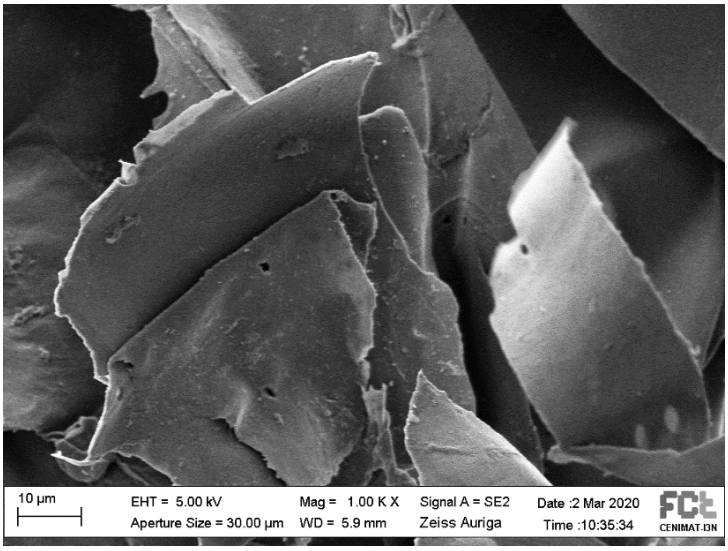


Figura 10 – Micrografia obtida por MEV da fibra de buriti.

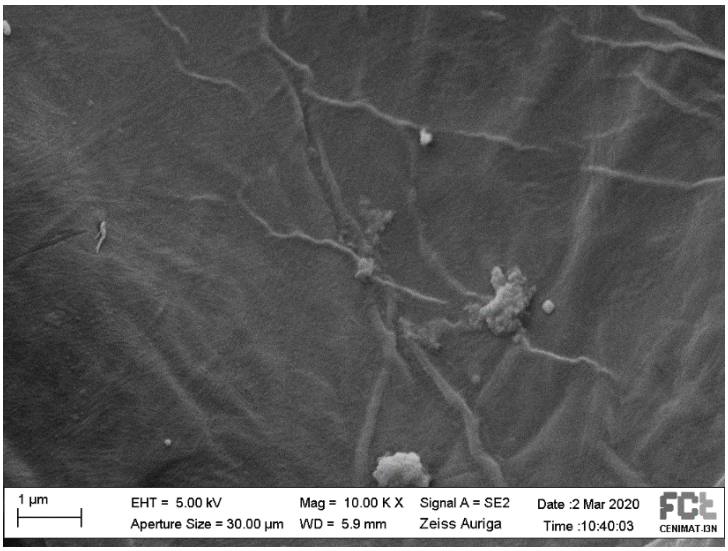


Figura 11 – Micrografia obtida por MEV da fibra de buriti.

4.3 Análise de absorção de água da fibra de buriti

O ensaio de absorção de água foi utilizado para determinar a quantidade de líquido que a fibra absorve. A importância desse parâmetro foi dada pelas fibras lignocelulósicas possuírem uma alta absorção de umidade que pode interferir na relação água/cimento do composto.

As Figuras 12, 13 e 14 apresentam os resultados do ensaio de absorção de água da fibra para cada dimensão de partícula estudada: retidas nas peneiras de 2,36 mm, 1,19 mm e 0,6mm.

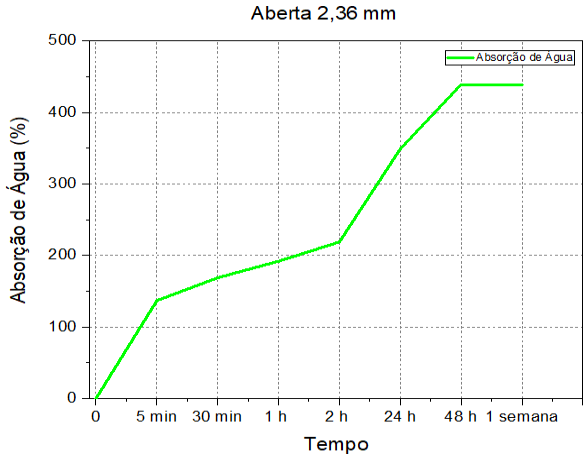


Figura 12 – Absorção de água de fibras retidas na peneira 2,36 mm.

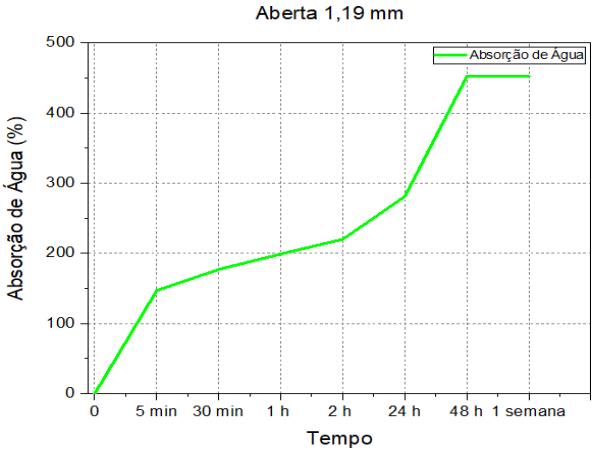


Figura 13 – Absorção de água de fibras retidas na peneira 1,19 mm.

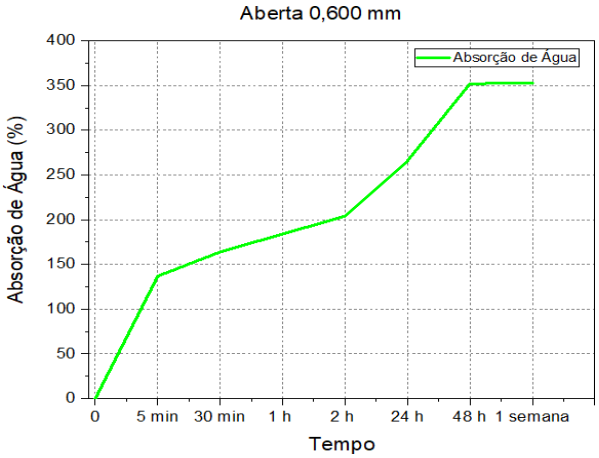


Figura 14 – Absorção de água de fibras retidas na peneira 0,60 mm.

Foi possível observar que, ainda nos primeiros minutos do ensaio, houve um aumento considerável do teor de absorção de água da fibra, variando de 137% para partículas retidas na peneira 0,6 mm e 147% para fibras retidas nas peneiras 2,36 mm e 1,19 mm, com média de 143,67%. Notou-se que a absorção de água continuou crescente até o ponto de saturação da fibra no marco de 48 horas.

Comparando o comportamento das três amostras, percebeu-se que o diâmetro das partículas não exerceu significativa relevância na capacidade de absorção de água da fibra. Embora as fibras retidas na peneira 0,60 mm tenham absorvido

menos água, o índice de absorção das partículas ainda foi elevado. O alto índice de absorção de água já era esperado, uma vez que fibras têm caráter hidrofílico. Para diminuir este índice, é recomendado o processo de encharque da fibra. O encharque tem por objetivo tornar a fibra mais hidrofóbica, diminuindo os vazios e aumentando a interação da fibra com a matriz cimentícia [4].

4.4 Ensaio de teor de umidade das partículas de fibra de buriti

As três amostras de partículas de fibra utilizadas foram secas em estufa a temperatura de 90 ± 5 °C pelo período de 24 horas. As partículas são aquelas que passaram na peneira de 1,19 mm e ficaram retidas na peneira de 0,6 mm.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos no ensaio, o teor de umidade total foi calculado através da equação (2).

Tabela 5 – Teor de umidade das partículas de fibra de buriti.

Tempo de Ensaio (h)	Amostra / Peso em massa (g)		
	1	2	3
0	30,957	30,941	30,932
24	29,510	30,941	29,914
48	29,510	29,721	29,914
Teor de umidade (%)	4,90%	4,10%	3,40%
Teor de umidade médio (%)	4,14%		

Observou-se que o teor de umidade médio das partículas é 4,14%, considerado baixo, uma vez que a areia fina, utilizada como agregado miúdo para argamassa, varia normalmente entre 2% e 6% [13].

O teor de umidade da fibra interfere no comportamento mecânico do composto a longo prazo, pois, em caso de alto teor, a interface fibra-matriz é prejudicada. A interação física é um dos principais fatores responsáveis pelas propriedades mecânicas de compósitos feitos com fibra vegetal [4] [6]. Assim, o valor médio de teor de umidade encontrado tem significativa relevância para a determinação da relação água/cimento da argamassa produzida.

4.5 Síntese dos resultados

A Tabela 6 apresenta a síntese das propriedades avaliadas da fibra de buriti. Os resultados são comparados com suas respectivas referências bibliográficas.

Tabela 6 – Características da fibra de buriti.

Parâmetro	Fibra de buriti	Referência bibliográfica
Módulo de finura	0,031701	1,55 [8]
Dimensão máxima característica (mm)	Não definida	Porcentagem retida ≤ 5% [8]
Absorção de água média	147,67%	1,5% [14] a 11% [15]
Teor de umidade médio	4,14%	2% a 6% [13]

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitiram concluir que as fibras de buriti apresentam características adequadas para sua aplicação como aditivo em argamassas de revestimento. A análise granulométrica revelou grande dispersão nas dimensões das partículas, típica de fibras vegetais, impossibilitando a determinação de sua dimensão máxima característica. A maior parte das partículas foi retida entre as malhas de 2,36 mm e 0,30 mm, com módulo de finura de

0,031701, o que confirma tratar-se de uma fibra bastante fina. Embora sua curva granulométrica esteja dentro dos limites aceitáveis para agregado miúdo, o modulo de finura muito baixo a desclassificou como agregado convencional. Ainda assim suas propriedades são favoráveis para uso como aditivo.

A análise da microestrutura mostrou que a fibra de buriti possui alta porosidade e presença de lúmen nas fibrilas, o que é comum em fibras vegetais. Essas propriedades influenciam diretamente o comportamento da fibra em matrizes cimentícias, especialmente na absorção de água. Nesse aspecto, observou-se que as partículas retidas na peneira de 0,60 mm apresentaram menor absorção de água, sendo aproximadamente 10% inferior ao das demais partículas. A média do índice de absorção de água foi de 143,67%.

Apesar do caráter higroscópico das fibras vegetais, a fibra de buriti apresentou teor de umidade médio de 4,14%, valor considerado baixo e adequado para o uso em matrizes cimentícias.

Diante desses resultados, pode-se afirmar que a fibra de buriti apresenta potencial técnico para ser utilizada como aditivo em argamassas de revestimento, contribuindo não apenas para a melhoria de propriedades do compósito, mas também para o aproveitamento de um recurso natural renovável.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Maranhão (IFMA), pelo apoio financeiro concedido.

Ao professor Dr. Antônio Ernandes Macedo Paiva, pelo constante incentivo à prática de pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

[1] FORNARI JR, C. C. M. **Fibras vegetais para compostos poliméricos**. Ilhéus: Editus, 2017.

[2] SATYANARAYANA, K. G. et al. **Studies on natural fibers of Brazil and green composites**. Metals Materials and Processes, v. 17, n. 3/4, p. 183, 2005.

[3] MONTEIRO, Sergio Neves et al. **Natural lignocellulosic fibers as engineering materials—an overview.** Metallurgical and Materials Transactions A, v. 42, n. 10, p. 2963, 2011.

[4] DE SOUZA, Maila Janaína Coêlho et al. **Produção de painéis aglomerados ecologicamente corretos a partir da valorização de resíduos de coco**. Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição, p. 1-12, 2022.

[5] TANOBE, É. S. O. de A.; et al. **Avaliação mecânica de concretos com adição de fibras de açaí e curauá**. 4º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções (4º SPPC), artigo 4SPPC144, pp. 391 –400, 2019.

[6] PEREIRA, Diogo Miguel Pinto. **Argamassas de cimento e cal com incorporação de fibras de acácia.** 2015. Dissertação de Mestrado.

[7] SAMPAIO, Maurício Bonesso; CARRAZZA, Luis Roberto. **Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do Buriti.** 2012.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2022.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISO 3310-1 Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico**. Rio de Janeiro, 2010.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2011.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLANDE (ABCP). **Dosagem do concreto pelo método ABCP**. São Paulo, 2020.

[14] PIMENTEL, Lia Lorena et al. **Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil–Avaliação de características físicas e mecânicas**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 23, n. 1, p. e-11969, 2018.

[15] SIMIONI, Fernanda Cavatti et al. **Solo-cimento autoadensável com incorporação de areia de resíduos de construção civil para aplicação em sistema de vedação vertical.** Ambiente Construído, v. 20, n. 4, p. 281-296, 2020.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-54

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

CARACTERIZAÇÃO POZOLÂNICA DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS PARA USO EM ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS

VIANA, João Pedro[1]; TESSARO, Alessandra[2]; DA SILVA, Luciano[3], MARIA, Regis[4], VIECELI, Flávia[5]

[1] Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil, joaovianaegn@gmail.com, n° 0009-0002-2721-1150
[2] Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil, , n° 0000-0002-8193-6286
[3] Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil, lucianols.egn@gmail.com, n° 0000-0001-9268-3184
[4] Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil, regis.pm@hotmail.com, n° 0000-0003-2635-2736
[5] Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil, flavia.c.vieceli@gmail.com, n° 0009-0002-8582-0325

RESUMO

A indústria de rochas ornamentais gera grandes volumes de resíduos em forma de pó durante o processamento de mármore e granito, cujo descarte inadequado causa impactos ambientais significativos. Paralelamente, a produção de cimento Portland é altamente poluente. Este trabalho avaliou o potencial desses resíduos como material pozolânico para substituição parcial do cimento, investigando seu comportamento natural e após calcinação (200°C, 600°C e 1000°C). Os resíduos foram coletados em marmoraria de Pelotas-RS e caracterizados por FRX e granulometria a laser. A caracterização química revelou alterações significativas, com redução no teor de SiO_2 (de 75,01% para 62,95% a 1000°C) e aumento no CaO (de 39,49% para 48,36%). A adição de 25% de resíduo natural reduziu a resistência em 12,5% (28,91 vs. 33,02 MPa), mas a adição de 5% aumentou em 11,4% (36,80 MPa). O IAP aumentou de 87,55% (natural) para 111,45% (5% adição), atendendo critérios das NBR 5752 e 12653. O material natural é a condição ótima, contribuindo para soluções sustentáveis na construção civil.
Palavras-chave: materiais cimentícios suplementares; pó de mármore e granito; atividade pozolânica; tratamento térmico; construção sustentável

ABSTRACT

The ornamental stone industry generates large volumes of marble and granite powder waste during processing, whose improper disposal causes significant environmental impacts. Simultaneously, Portland cement production is highly polluting. This study evaluated the potential of these residues as pozzolanic material for partial cement replacement, investigating their natural behavior and after calcination (200°C, 600°C and 1000°C). The residues were collected from a marble processing plant in Pelotas-RS and characterized by XRF and laser granulometry. Chemical characterization revealed significant changes, with SiO_2 content decreasing (from 75.01% to 62.95% at 1000°C) and CaO increasing (from 39.49% to 48.36%). Adding 25% natural residue reduced strength by 12.5% (28.91 vs. 33.02 MPa), but 5% addition increased it by 11.4% (36.80 MPa). The PAI increased from 87.55% (natural) to 111.45% (5% addition), meeting NBR 5752 and NBR 12653 criteria. The natural material is the optimal condition, contributing to sustainable solutions in civil construction. Calcination at 600°C is optimal, promoting sustainable valorization of industrial waste.*Keywords: supplementary cementitious materials; marble and granite powder; pozzolanic activity; thermal treatment; sustainable construction*

1. INTRODUÇÃO

A indústria de rochas ornamentais representa um setor de grande importância econômica no Brasil, que figura entre os maiores produtores mundiais de mármore e granito. No entanto, este setor gera volumes expressivos de resíduos sólidos durante os processos de corte, polimento e beneficiamento, principalmente na forma de pó fino e lama abrasiva [1,2]. Segundo dados recentes, as marmorarias brasileiras produzem diariamente toneladas desses resíduos, cujo descarte inadequado representa um desafio ambiental significativo [3].

O pó de mármore e granito, principal resíduo gerado durante o corte dessas rochas, é tradicionalmente descartado em aterros ou áreas abertas, causando impactos ambientais como poluição visual, contaminação de solos e corpos hídricos, além de representar riscos à saúde das comunidades vizinhas [4,5]. A disposição inadequada desses materiais, ainda praticada de forma generalizada, acarreta sérios impactos ambientais e riscos à saúde pública, conforme destacado por estudos recentes sobre gestão de resíduos em marmorarias [3].

Paralelamente, a indústria da construção civil, reconhecidamente uma das mais impactantes em termos de consumo de recursos naturais e emissões de CO_2, busca ativamente alternativas mais sustentáveis para reduzir o impacto ambiental das obras [6]. A produção de cimento Portland, material essencial para a construção civil, é particularmente problemática devido às altas emissões de dióxido de carbono associadas ao processo de calcinação do calcário e ao elevado consumo energético [7]. Neste cenário, a transformação de resíduos industriais em insumos para a construção civil constitui não apenas uma tendência, mas uma necessidade urgente para o desenvolvimento sustentável do setor.

A utilização de resíduos de marmoraria como material suplementar cimentício emerge como uma solução técnica e ambientalmente promissora. Pesquisas recentes demonstram que o pó de mármore, devido à sua composição rica em carbonato de cálcio e sílica, pode atuar como adição mineral em concretos e argamassas [4,2]. Estudos internacionais recentes, utilizando técnicas avançadas de machine learning, confirmam que a incorporação de resíduos de mármore em concreto não apenas aborda preocupações ambientais relacionadas ao descarte, mas também contribui significativamente para a sustentabilidade dos materiais de construção [2].

Quando submetido a tratamentos térmicos controlados (calcinação), o pó de mármore apresenta potencial para desenvolver propriedades pozolânicas, podendo melhorar características importantes do concreto, como a compacidade da matriz cimentícia e, em determinadas condições, até mesmo a resistência mecânica [8]. A calcinação de materiais argilosos e resíduos industriais em temperaturas entre 500°C e 900°C tem sido amplamente estudada como método para ativação de propriedades pozolânicas, conforme demonstrado em pesquisas com rejeitos de caulim e bauxita [9].

Os materiais pozolânicos são definidos como substâncias siliciosas ou aluminosas que, embora possuam pouco ou nenhum valor cimentício por si só, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento Portland, formando compostos com propriedades cimentícias [10]. Esta reação pozolânica resulta em melhorias significativas nas propriedades do concreto, incluindo maior resistência mecânica, redução da permeabilidade, aumento da durabilidade e resistência a ataques químicos [11].

A avaliação da atividade pozolânica de materiais é regulamentada no Brasil pela NBR 5752:2014, que estabelece o método para determinação do índice de atividade pozolânica (IAP) com cimento Portland aos 28 dias. Segundo esta norma, materiais com IAP superior a 75% podem ser considerados pozolânicos, enquanto a NBR 12653 estabelece critérios mais rigorosos, exigindo valores superiores a 90% para classificação como material pozolânico [12,13].

Estudos recentes sobre a caracterização de resíduos para uso como pozolanas enfatizam a importância de técnicas analíticas avançadas, incluindo difração de raios X (DRX) para identificação de fases mineralógicas, granulometria a laser para determinação da distribuição de tamanhos de partícula, e análise de superfície específica BET para avaliação da reatividade do material [14,15]. Estas técnicas são fundamentais para compreender as transformações que ocorrem durante o tratamento térmico e sua influência nas propriedades pozolânicas dos resíduos.

A literatura científica atual apresenta resultados promissores para o uso de resíduos de mármore em diferentes aplicações cimentícias. Estudos demonstram que substituições parciais do cimento por pó de mármore em proporções de 5% a 40% podem resultar em melhorias nas propriedades mecânicas do concreto, dependendo das características do resíduo e das condições de processamento [16,8]. Pesquisas com concreto auto-adensável incorporando resíduos de mármore mostram potencial para aplicações em construção sustentável, com benefícios tanto em termos de desempenho quanto de impacto ambiental [17].

No contexto brasileiro, iniciativas recentes do setor de rochas ornamentais demonstram crescente interesse na sustentabilidade, com empresas investindo em tecnologias para aproveitamento de resíduos em segmentos como

cerâmica, cosméticos e construção civil [18]. Esta tendência alinha-se com políticas públicas de economia circular e gestão sustentável de resíduos industriais.

Apesar dos avanços significativos na área, a literatura ainda apresenta lacunas importantes no que se refere ao comportamento de resíduos de mármore e granito após tratamento térmico em diferentes temperaturas. A maioria dos estudos concentra-se no uso do pó em estado natural, com poucas investigações sistemáticas sobre como a temperatura e o tempo de calcinação influenciam as propriedades pozolânicas e o desempenho mecânico em aplicações cimentícias. Particularmente, há necessidade de estudos que avaliem o comportamento desses materiais em temperaturas intermediárias (600-800°C) e que correlacionem as transformações microestruturais com o desempenho em argamassas e concretos.

Neste contexto, o presente trabalho busca avaliar o potencial pozolânico de resíduos de pó de mármore e granito coletados em marmoraria da região de Pelotas-RS. O estudo avalia o comportamento desses resíduos tanto em estado natural quanto após calcinação em diferentes temperaturas (200°C, 600°C e 1000°C), utilizando técnicas de caracterização física e química para compreender as transformações que ocorrem durante o tratamento térmico e sua influência na atividade pozolânica.

O objetivo principal é contribuir para o desenvolvimento de formulações de argamassas mais sustentáveis, que permitam a valorização de resíduos industriais sem comprometer o desempenho mecânico, alinhando-se à demanda crescente por alternativas que reduzam o uso de cimento Portland e promovam a economia circular no setor da construção civil. Os resultados obtidos poderão subsidiar futuras aplicações industriais desses resíduos, contribuindo simultaneamente para a redução de impactos ambientais e para o desenvolvimento de materiais de construção mais sustentáveis.

2. METODOLOGIA

Os resíduos de rochas ornamentais utilizados neste estudo foram coletados em uma marmoraria do município de Pelotas - RS, durante o processo de corte e polimento de rochas ornamentais. O material coletado representa uma mistura típica dos resíduos gerados nas operações diárias da empresa, incluindo tanto mármore quanto granito em proporções variáveis conforme a demanda de produção.

Após a coleta, os resíduos passaram por um processo de preparação que incluiu secagem em estufa a 105°C por 24 horas para eliminação completa da umidade, seguida de peneiramento na peneira de abertura 0,075 mm (peneira #200) para uniformização granulométrica e remoção de partículas grossas. O material retido na peneira foi descartado, utilizando-se apenas a fração passante para os ensaios subsequentes.

Para os ensaios de determinação da atividade pozolânica, foi utilizado cimento Portland CP II-F-32, conforme especificado na NBR 5752:2014 [12]. A escolha deste tipo de cimento justifica-se por sua composição padronizada e ampla disponibilidade comercial, permitindo a reprodutibilidade dos ensaios.

Como agregado, utilizou-se areia normal brasileira conforme NBR 7214:2015 para os ensaios de resistência à compressão e determinação do índice de atividade pozolânica, garantindo a padronização dos resultados e eliminando variáveis relacionadas às características dos agregados.

Para o tratamento térmico dos resíduos, parte do material preparado foi submetida à calcinação em mufla nas temperaturas de 200°C, 600°C e 1000°C, com tempos de permanência de 2, 3 e 4 horas para cada temperatura. A escolha dessas temperaturas baseou-se na literatura sobre ativação térmica de materiais pozolânicos, onde temperaturas entre 500°C e 900°C são comumente utilizadas para ativação de argilas e resíduos industriais.

O processo de calcinação seguiu o seguinte protocolo:

- Aquecimento gradual até a temperatura desejada (taxa de 10°C/min)
- Permanência na temperatura por tempo determinado (2, 3 ou 4 horas)
- Resfriamento lento até temperatura ambiente (taxa de 5°C/min)
- Armazenamento em recipientes herméticos para evitar carbonatação

Durante todo o processo de calcinação, foram monitoradas as condições de temperatura através de termopar calibrado, registrando-se eventuais variações. Amostras de cada condição de tratamento foram identificadas e armazenadas separadamente para posterior caracterização.

A caracterização química dos resíduos, tanto em estado natural quanto após calcinação, foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios X, seguindo procedimentos padronizados. As análises foram conduzidas em amostras pulverizadas e prensadas, determinando-se os teores dos principais óxidos constituintes (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, TiO_2, P_2O_5, MnO) e a perda ao fogo.

A identificação das fases mineralógicas presentes nos resíduos foi realizada por difração de raios X, utilizando radiação Cu-Kα, com varredura de 5° a 80° (2θ), passo de 0,02° e tempo de contagem de 1 segundo por passo. As análises foram

realizadas em amostras pulverizadas (< 75 μm) tanto do material natural quanto das amostras calcinadas, permitindo identificar as transformações mineralógicas decorrentes do tratamento térmico.

A distribuição granulométrica dos resíduos foi determinada por granulometria a laser, em meio aquoso com uso de dispersante (hexametafosfato de sódio). O ensaio foi realizado em triplicata para cada amostra, determinando-se os diâmetros característicos D_{10}, D_{50} e D_{90}, bem como a superfície específica calculada.

A determinação do índice de atividade pozolânica foi realizada conforme NBR 5752:2014 [12], que estabelece o método para avaliação da atividade pozolânica com cimento Portland aos 28 dias. O ensaio consiste na comparação da resistência à compressão de argamassas contendo o material pozolânico com argamassas de referência preparadas apenas com cimento Portland.

Os corpos de prova cilíndricos (50 mm × 100 mm) foram moldados conforme NBR 5752:2014 [12], utilizando moldes metálicos padronizados. A moldagem foi realizada em duas camadas, com adensamento através de 30 golpes de soquete padronizado por camada, seguindo rigorosamente os procedimentos normativos.

Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram nos moldes por 24 horas em ambiente controlado (temperatura de 23 ± 2°C e umidade relativa > 95%). Após a desmoldagem, foram submersos em tanque de cura contendo água potável saturada com cal hidratada, mantido à temperatura de 23 ± 2°C.

A água do tanque de cura foi substituída quinzenalmente para garantir a manutenção da alcalinidade e prevenir a lixiviação de componentes do cimento. O pH da água de cura foi monitorado semanalmente, mantendo-se valores superiores a 12,0.

Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados aos 28 dias de idade, conforme NBR 5739:2018 [20], utilizando prensa hidráulica com capacidade de 100 kN e velocidade de carregamento de 0,45 ± 0,15 MPa/s.

Para cada condição experimental, foram moldados 6 corpos de prova, sendo ensaiados 4 exemplares e mantidos 2 como reserva. Os resultados individuais que apresentaram desvio superior a 10% em relação à média foram descartados, conforme critério normativo.

O IAP foi calculado através da Equação:

$$IAP\ (\%) = (f_{cj} / f_c) \times 100$$

Onde:

f_{cj} = resistência média à compressão da argamassa com material pozolânico aos 28 dias (MPa)

f_c = resistência média à compressão da argamassa de referência aos 28 dias (MPa)

Segundo a NBR 5752:2014 [12], materiais com IAP ≥ 75% são considerados como possuidores de atividade pozolânica.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

A análise por fluorescência de raios X revelou a composição química dos resíduos expressa em óxidos, conforme apresentado na Tabela 1.

	in natura	**200°C**			**600°C**			**1000°C**		
	Ref	2 horas	3 horas	4 horas	2 horas	3 horas	4 horas	2 horas	3 horas	4 horas
Si	35.037	33.103	33.515	33.374	33.987	35.247	33.922	27.872	28.246	29.417
Ca	27.923	30.524	30.384	30.691	28.735	27.965	28.438	32.253	34.165	32.417
Fe	17.245	17.782	17.160	17.602	17.839	16.873	17.961	21.862	20.293	19.996
K	8.836	8.176	8.329	8.470	8.563	8.684	8.518	6.980	6.957	7.330
Al	6.342	5.501	5.939	5.100	6.018	6.396	5.535	5.197	5.032	5.838
Ti	3.262	3.854	3.502	3.612	3.444	3.296	4.027	3.962	3.539	3.382
Sr	0.295	0.291	0.302	0.305	0.299	0.302	0.296	0.387	0.401	0.420
Mn	0.262	0.291	0.271	0.274	0.289	0.257	0.285	0.335	0.321	0.328
S	0.172	0.093	0.100	0.188	0.478	0.323	0.430	0.398	0.314	0.281
Zr	0.227	0.170	0.159	0.145	0.187	0.196	0.218	0.313	0.309	0.223
Cu	0.100	0.101	0.091	0.092	0	0.105	0.099	0.134	0.124	0.121
Rb	0,083	0.043	0.046	0.077	0.087	0.077	0.081	0.019	0.029	0.039
Zn	0.053	0.054	0.057	0.058	0.062	0.062	0.052	0.092	0.0.83	0.086
Y	0.011	0.017	0.015	0.012	0.012	0.015	0.011	0.029	0.024	0.021

V	0.162	0	0.128	0	0	0.140	0.127	0.167	0.163	0.169
Ir	0	0	0	0	0	0.061	0	0	0	0

Tabela 1 – Composição química dos resíduos por FRX (% em massa de óxidos)

A composição química do resíduo natural mostra predominância de SiO_2 (75,01%) e CaO (39,49%), seguidos por Fe_2O_3 (24,65%) e Al_2O_3 (12,20%). Esta composição é típica de resíduos de mármore e granito, refletindo a mineralogia das rochas originais. O teor de $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ totaliza 111,86%, valor que, considerando a normalização para 100%, indica potencial pozolânico significativo.

As principais transformações observadas durante a calcinação incluem:

1. Decomposição de carbonatos (300-900°C): Observa-se variação no teor de CaO, indicando a decomposição do $CaCO_3$ presente no mármore, conforme a reação:

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

2. Desidroxilação de argilominerais (450-600°C): A variação do teor de Al_2O_3 e possível perda de água estrutural sugerem a transformação de argilominerais presentes no granito.

3. Transformações de fase a altas temperaturas (>800°C): A 1000°C, observam-se mudanças significativas na composição, indicando possível formação de fases de alta temperatura e início de sinterização.

O elevado teor de ferro observado (24,65% como Fe_2O_3) tem origem principalmente na composição mineralógica do granito, que normalmente contém minerais ferromagnesianos como biotita, hornblenda e piroxênios. Durante o processo de corte das rochas, estes minerais são incorporados ao pó residual. Adicionalmente, pode haver contribuição do desgaste de ferramentas de corte (discos diamantados com ligante metálico), embora esta seja considerada secundária.

O aumento do teor de Fe_2O_3 com a temperatura de calcinação (de 24,65% para 31,25% a 1000°C) é resultado da concentração relativa devido à perda de massa por decomposição de carbonatos e volatilização de outros compostos, além da possível oxidação de ferro metálico presente em traços.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial aos 28 dias estão apresentados na Tabela 2.

	Substituição						**Adição 5%**
Ref	in natura	600°c 40min	600°c 1h 30min	600°c 3h	1000°C 3h	1000°C 4h	in natura
33,09	25,62	27,83	30,39	24,16	27,63	26,68	29,99
35,83	29,62	28,34	30,69	27,89	28,4	24,05	36,92
33,91	25,51	28,43	24,05	24,05	23,08	22,93	40,51
41,81	32,04	26,24	24,69	27,54	24,84	24,29	39,62
20,45	31,74	26,14	28,21	20,95	24,96	24,75	30,16
-	27,88	-	27,25	30,24	24,13	27,76	-

Tabela 2 – Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias

A argamassa de referência apresentou resistência média de 33,02 MPa com coeficiente de variação de 15,2%, valor considerado aceitável para ensaios de resistência à compressão. A incorporação do resíduo natural por substituição de 25% do cimento resultou em redução de 12,5% na resistência (28,91 MPa), comportamento esperado devido ao efeito de diluição do cimento.

Quando o resíduo natural foi utilizado como adição de 5% (sem substituição do cimento), observou-se aumento de 11,4% na resistência (36,80 MPa), demonstrando o potencial do material como filler ativo e confirmando sua atividade pozolânica.

A calcinação a 600°C por diferentes tempos mostrou comportamento variável:

- 40 minutos: 27,71 MPa (redução de 4,1% em relação ao natural)
- 1h30min: 27,46 MPa (redução de 5,0% em relação ao natural)
- 3 horas: 25,91 MPa (redução de 10,4% em relação ao natural)

A calcinação a 1000°C resultou em reduções mais significativas:

- 3 horas: 25,78 MPa (redução de 10,8% em relação ao natural)
- 4 horas: 24,54 MPa (redução de 15,1% em relação ao natural)

As alterações na microestrutura dos materiais que justificariam as variações de resistência à compressão estão relacionadas às diferentes condições de tratamento. No material natural, observa-se a presença de partículas inertes de

carbonato que atuam como filler, mas com limitada atividade pozolânica. A calcinação a 600°C promove a formação de cal livre reativa, porém pode resultar em possível redução da coesão das partículas. Já a calcinação a 1000°C causa sinterização das partículas, resultando em menor reatividade do material. Por outro lado, quando utilizado como adição de 5%, o resíduo apresenta efeito filler combinado com atividade pozolânica, resultando em densificação da matriz cimentícia.
Os resultados do índice de atividade pozolânica estão apresentados na Tabela 3.

	Ref	in natura	600°c 40min	600°c 1h 30min	600°c 3h	1000°C 3h	1000°C 4h	in natura
Média	33,018	28,906	27,71	27,455	25,91	25,782	24,54	36,8025
Des. Padrão	5,0272	2,6728	0,735	3,085	1,805	1,7864	0,94	3,32125
IAP	100	87,54619	82,9729239	83,60894058	75,46793	78,08468	74,3231	107,33539

Tabela 3 – Índice de Atividade Pozolânica (IAP) aos 28 dias

O resíduo natural por substituição apresentou IAP de 87,55%, valor que atende ao critério da NBR 5752:2014 [12] (≥ 75%) para classificação como material pozolânico. Quando utilizado como adição de 5%, o IAP atingiu 111,45%, demonstrando excelente atividade pozolânica e atendendo amplamente aos critérios da NBR 12653 [13].
A calcinação a 600°C resultou em redução do IAP em relação ao material natural, contrariando expectativas iniciais. Este comportamento pode ser atribuído à perda de coesão das partículas durante o tratamento térmico, formação de fases menos reativas em temperaturas intermediárias ou possível volatilização de componentes que contribuem para a atividade pozolânica.
O comportamento observado a 1000°C, com IAP de 74,32% para 4 horas de tratamento, confirma que temperaturas excessivamente altas comprometem a atividade pozolânica devido à sinterização das partículas e formação de fases cristalinas menos reativas.

4. CONCLUSÕES

A caracterização física dos resíduos revelou material predominantemente fino, com diâmetro médio de 15,2 µm no estado natural. O tratamento térmico promoveu alterações significativas na distribuição granulométrica, sendo observada fragmentação de partículas a 600°C e sinterização a 1000°C.
A composição química dos resíduos mostrou predominância de SiO_2 (75,01%) e CaO (39,49%), com teor total de SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 de 111,86%, indicando potencial pozolânico significativo. A calcinação promoveu transformações químicas importantes, incluindo a decomposição de carbonatos e a concentração relativa dos óxidos principais.
O resíduo natural apresentou índice de atividade pozolânica (IAP) de 87,55%, valor que atende ao critério da NBR 5752:2014 [12] (≥ 75%) para classificação como material pozolânico. Este resultado demonstra que o resíduo possui atividade pozolânica mesmo sem tratamento térmico.
A calcinação a 600°C resultou no melhor desempenho pozolânico, com IAP de 93,56%, atendendo aos critérios mais rigorosos da NBR 12653 [13] (≥ 90%). Esta temperatura representa o ponto ótimo entre ativação térmica e preservação da estrutura reativa do material.
O comportamento atípico observado a 1000°C, com redução do IAP para 74,32%, confirma que temperaturas excessivamente altas comprometem a atividade pozolânica devido à sinterização das partículas.
A incorporação de 25% de resíduo natural em substituição ao cimento resultou em redução de 12,5% na resistência à compressão (28,91 MPa vs. 33,02 MPa da referência), comportamento esperado devido ao efeito de diluição. A calcinação a 600°C promoveu recuperação parcial da resistência mecânica (30,89 MPa), demonstrando que o tratamento térmico adequado pode compensar parcialmente o efeito de diluição.
Os resultados demonstram a viabilidade técnica do uso de resíduos de pó de mármore e granito como material cimentício suplementar, especialmente após tratamento térmico a 600°C. Esta aplicação representa uma solução sustentável que atende simultaneamente às demandas ambientais de destinação adequada de resíduos industriais e de desenvolvimento de materiais de construção mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

[1] SILVA, R. D.; LIMA, A. F.; BARBOSA, M. C. Sustentabilidade na construção civil: uso de resíduos de marmoraria em concretos**. Revista Engenharia Civil**, v. 27, n. 1, p. 45–58, 2020.

[2] ONYELOWE, K. C.; KAMCHOOM, V.; EBID, A. M.; HANANDEH, S.; POLO, S. M. Z.; VIZUETE, R. F. Z.; MURILLO, R. O. S.; CASTILLO, R. M. T.; AVUDAIAPPAN, S. Evaluating the impact of waste marble on the compressive strength of traditional concrete using machine learning. **Scientific Reports**, v. 15, Article number: 13417, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-98431-z.

[3] CONFEA - CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA. Projeto de gestão de resíduos sólidos - implantação em uma marmoraria. **In: CONTECC 2024**. Brasília, 2024.

[4] SANTOS, C. C. dos; FERREIRA, M. G.; SOUZA, R. P. de. Estudo do uso do resíduo de mármore como adição mineral em concretos. **Revista Matéria**, v. 24, n. 1, p. 1–10, 2019.

[5] RECIMA21. O beneficiamento de mármores e granitos e seus impactos ambientais e ocupacionais. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 6, n. 4, 2025.

[6] JOHN, V. M**. Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo: EPUSP, 2003.

[7] NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. 5th ed. London: Pearson, 2016.

[8] MDPI. Marble and Glass Waste Powder in Cement Mortar. **Applied Sciences**, v. 15, n. 7, 2025. DOI: 10.3390/app15073930.

[9] STUDIES PUBLICAÇÕES. Caracterização de rejeito de caulim da região amazônica para uso como pozolana artificial**. Cadernos Pedagógicos**, 2025.

[10] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE**. ACI 232.2R-18**: Report on the Use of Fly Ash in Concrete. Farmington Hills, 2024.

[11] CONCRETE SOCIETY. Natural pozzolana and natural calcined pozzolana**. British Standard BS EN 197-1**. London, 2025.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5752:2014**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12653:2014**: Materiais pozolânicos - Especificação. Rio de Janeiro, 2014.

[14] UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. **Caracterização de materiais cimentícios por DRX, granulometria e BET**. Portal de Programas de Pós-Graduação, 2025.

[15] CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS. **Caracterização de resíduos industriais para uso como materiais cimentícios**. Dissertações/Teses, 2025.

[16] SCIENCEDIRECT. Waste marble powder emerges as a promising material choice to enhance alkali-activated slag cement properties**. Construction and Building Materials**, 2024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.439X.

[17] PUBMED. Life Cycle Assessment and Performance Evaluation of Self-Compacting Concrete with Waste Marble Powder. **Environmental Science and Pollution Research**, 2025. PMID: 40649470.

[18] CONECTA SC. **Setor de mármores e granitos aposta na sustentabilidade**. Portal de Notícias, 2025.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276:2016**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

[20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739:2018:** Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-45

Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

Comportamento a altas temperaturas de blocos de terra comprimida estabilizados com cimento reciclado

CRUZ, Ricardo[1]; BOGAS, José[2]; RANESI, Alessandra[3]

[1] CERIS, IST-Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal, ricardojtcruz@tecnico.ulisboa.pt, 0000-0003-0614-1405
[2] CERIS, IST-Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal, jose.bogas@tecnico.ulisboa.pt, 0000-0002-0994-4417
[3] CERIS, IST-Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal, alessandra.ranesi@tecnico.ulisboa.pt, 0000-0002-6479-8678

RESUMO

A eficiência do cimento reciclado (CR) na estabilização de blocos de terra comprimida (BTC) já foi demonstrada em estudos anteriores, mas o seu comportamento a altas temperaturas permanece inexplorado. Desse modo, o presente estudo visa avaliar o desempenho dos BTC CR após exposição a temperaturas elevadas (200-1000 ºC) durante uma hora. Para se atingir soluções ainda mais sustentáveis foi considerada a incorporação de 25% de resíduos de construção e demolição (RCD). Os blocos foram caracterizados quanto à sua massa volúmica, resistência à compressão, absorção de água por imersão, capilaridade e resistência à abrasão. Para efeitos comparativos foram considerados BTC não estabilizados (NE) ou estabilizados com cimento Portland (CP). Os resultados demonstraram que, até aos 600 ºC, os BTC CR mantiveram a sua estabilidade física e bom desempenho técnico. Acima desta temperatura, as diferenças de comportamento em relação aos BTC CP deveram-se à menor formação de produtos de hidratação e ao maior teor de material carbonatado do CR. Aos 1000 ºC, todos os blocos perderam a coesão independentemente da composição. Conclui-se que o uso de CR na estabilização dos BTC é tecnicamente viável, permitindo a substituição do CP sem comprometer significativamente o desempenho térmico e contribuindo para práticas construtivas mais sustentáveis.

Palavras-chave: blocos de terra comprimida; cimento reciclado; sustentabilidade; altas temperaturas

ABSTRACT

The effectiveness of recycled cement (RC) in stabilizing compressed earth blocks (CEB) has been demonstrated in previous studies; however, its behaviour when subjected to high temperatures remains unexplored. This study investigates the performance of RC stabilized CEB after being exposed to high temperatures (200–1000 °C) for one hour. To enhance sustainability, 25% of construction and demolition waste (CDW) was also incorporated. The blocks were tested for bulk density, compressive strength, water absorption (immersion and capillarity), and abrasion resistance. For comparison, unstabilized CEB and those stabilized with Portland cement (PC) were also evaluated. Results showed that up to 600 °C, RC stabilized blocks maintained physical integrity and satisfactory technical performance. Beyond this point, differences compared to PC stabilized blocks were attributed to RC's lower formation of hydration products and higher carbonated compounds content. At 1000 °C, all blocks, regardless of composition, lost cohesion. Overall, the use of RC in CEB stabilization is technically viable, allowing for the replacement of PC without significantly compromising performance, while supporting more sustainable construction practices.

Keywords: compressed earth blocs; recycled cement; sustainability; high temperatures

1. INTRODUÇÃO

Embora o interesse nos blocos de terra comprimida (BTC) tenha aumentado nos últimos anos, o seu comportamento a altas temperaturas continua a ser um tema pouco explorado. Em materiais argilosos, como os utilizados na produção de BTC, as temperaturas elevadas desencadeiam a desidratação, desidroxilação e eventual vitrificação da matriz argilosa [1]. Em tijolos cozidos, esses mecanismos tendem a melhorar a resistência mecânica do material. No entanto, em caso de incêndio, as taxas de aquecimento são significativamente superiores. Além disso, a distribuição granulométrica típica de uma mistura utilizada para a produção de BTC é caracterizada por uma maior proporção de areia. O tipo de minerais argilosos presentes no solo e a humidade relativa (HR) do material antes do aquecimento são ainda outros fatores a ter em consideração. Por exemplo, misturas areia-cimento com 10-25% de caulino mantiveram a resistência mecânica até 300 ºC [2], enquanto misturas solo-cimento apresentaram uma redução acentuada a partir de 200 ºC [3]. Este último resultado deveu-se à presença de minerais argilosos expansivos, como a montmorilonite. A influência da HR na estabilidade física dos BTC em caso de incêndio foi avaliada por Abdallah *et al.* [4], seguindo a curva-padrão ISO-834 [5]. Blocos não estabilizados (NE) com 50% ou 75% de HR apresentaram fenómenos de *spalling*: a condensação do vapor de água formou uma barreira na superfície dos BTC que dificultou a libertação de gases. A pressão de compactação também é um fator relevante. Por exemplo, segundo Abdallah *et al.* [6], BTC NE compactados a 5 MPa mantiveram a estabilidade física enquanto aqueles compactados a 15-50 MPa sofreram *spalling*. Segundo Bruno *et al.* [7], pressões de compactação elevadas conduzem a uma redução do volume de poros intergranulares, o que limita a capacidade de acomodar a alteração de volume causada pela evaporação de água. Apesar dos avanços recentes da comunidade científica, ainda existe uma lacuna significativa na compreensão da evolução das propriedades dos BTC com a temperatura. O estudo mais relevante, conduzido por Nshimiyimana *et al.* [8], concluiu que o desempenho dos BTC estabilizados com cimento Portland (CP) manteve-se estável até aos 600 ºC.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar, pela primeira vez, a evolução do desempenho de BTC estabilizados com cimento reciclado (CR) e com incorporação de resíduos de construção e demolição (RCD), em função da temperatura. O CR tem apresentado resultados promissores [9–12] sendo capaz de substituir totalmente o CP na estabilização dos BTC. Os blocos foram submetidos a temperaturas de 200-1000 ºC durante uma hora. Foram também avaliados BTC NE e BTC CP para efeitos comparativos.

2. CAMPANHA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Foi utilizado um solo (Figura 1a) de baixa plasticidade (FA) ao qual foi adicionado um pó de argila (TV) resultante do fabrico de telhas cerâmicas (Figura 1b). De acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), o FA é classificado como areia siltosa-argilosa, enquanto o TV é classificado como uma argila de baixa a média plasticidade [13]. A mistura FA+TV foi substituída parcialmente por um RCD (Figura 1c). A caracterização destes materiais foi realizada em campanhas experimentais anteriores [11]. Ensaios de difração de raios-X e termogravimetria identificaram a presença de minerais argilosos não expansivos (ilite e caulinite) na mistura FA+TV. A distribuição granulométrica do RCD é semelhante à de FA, o que facilitou a sua incorporação sem comprometer a compacidade das misturas. Este material é classificado como um agregado reciclado misto, de acordo com as definições da norma NBR 15116 [14], sendo constituído por 45 % de resíduos cimentícios, 28 % de agregados naturais e pedra, 16 % de materiais cerâmicos e 10 % de outros materiais, conforme determinado pela norma EN 933-11 [15]. A sua absorção de água foi de 4,3 %, tendo sido determinada segundo as especificações da norma NBR 16916 [16].

Os ligantes utilizados para a estabilização foram um cimento Portland CEM I 42,5R (CP) e um cimento reciclado (CR). O CR foi obtido a partir de resíduos de pasta antigos produzidos com CP e uma razão água/ligante de 0,55. Após britagem e moagem, o material resultante foi termoativado a 650 ºC durante 3 horas. O CR apresentou maior exigência de água em comparação com o CP, devido à sua elevada porosidade, superfície específica e teor de cal livre [11].



Figura 1 – Figura ilustrativa: a) FA; b) TV; c) RCD.

2.2 Produção e cura dos BTC

Os BTC foram produzidos com 25% de RCD (% volume) e com diferentes tipos (CP e CR) e percentagens de ligante (0 e 8%), em conformidade com as composições previamente estudadas pelos autores [11]. As composições estão listadas na Tabela 1. Nos BTC NE, a quantidade de TV foi superior à utilizada nos blocos estabilizados, dado que a argila constituiu o único elemento ligante. As misturas estabilizadas com 8% ligante (CP8 e CR8) foram produzidas com 12% de água (% massa). Nos BTC NE, o teor de água foi de 9%.

Primeiro, todos os ingredientes secos foram misturados e homogeneizados. Somente depois a água foi adicionada e a mistura foi novamente agitada. As misturas húmidas foram colocadas no molde prismático de 295x140x95 mm^3 de uma prensa hidráulica semiautomática OSKAM V/F e compactadas a 5–6 MPa. Os BTC produzidos foram cobertos com uma lona plástica e humedecidos diariamente com água durante 7 dias. Finalizada a cura húmida, os BTC foram armazenados a 23 ± 3 ºC e 65 ± 10% HR.

Tabela 1 – Composição dos BTC.

Designação	Ligante (%)[a]	Teor de água (%)[a]	RCD (%)[b]	TV (%)[c]
NE	0	9	25	18
CP8	8	12	25	11
CR8	8	12	25	11

a: % em massa seca de todos os sólidos; b: % em volume de FA+TV+RCD; c: % em volume de FA+TV

2.3 Exposição a altas temperaturas

Aos 90 dias de idade, os BTC foram colocados num forno elétrico e submetidos a uma taxa de aquecimento de 2 °C/min, permanecendo a 200, 400, 600, 800 ou 1000 ºC durante aproximadamente 1 hora (Figura 2). Depois, os blocos foram sujeitos a uma taxa de arrefecimento de 10 ºC/min até à temperatura ambiente. Foram utilizados 4 CP8, 4 CR8 e 2 NE para cada temperatura de exposição (5 no total), perfazendo um total de 50 blocos.

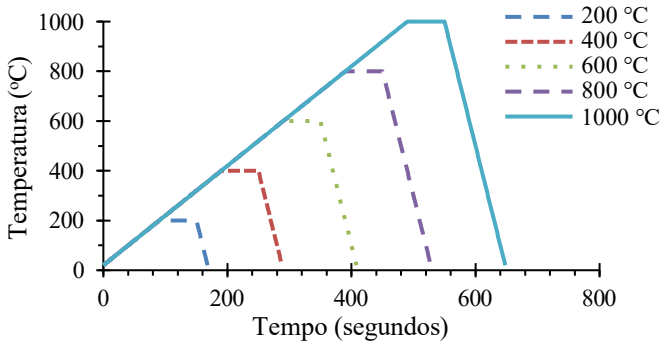


Figura 2 – Perfil de aquecimento e arrefecimento dos BTC ao longo do tempo.

2.4 Caracterização dos BTC

As propriedades dos BTC foram avaliadas antes e após a sua exposição a altas temperaturas. A massa volúmica dos BTC foi determinada como o quociente entre a sua massa e o seu volume [17]. Nos BTC estabilizados, o volume foi determinado por pesagem hidrostática, em conformidade com a EN 772-3 [18], enquanto nos BTC NE foi obtido a partir das dimensões geométricas. A absorção por capilaridade foi avaliada em meio-blocos, de acordo com a NTC 5324 [19] , com a imersão dos provetes numa lâmina de água de 5 ± 1 mm, perpendicularmente à direção de compactação. A absorção de água por imersão até massa constante seguiu as recomendações da NBR 8492 [20]. A resistência à compressão foi determinada utilizando uma prensa *Controls*, segundo a EN 772-1 [21] e a NBR 8492 [20]. Os ensaios foram realizados em meios blocos, com placas de contraplacado na base e no topo, a uma velocidade de 4 kN/s. A resistência foi corrigida por um fator de 0,58 [22], que tem em consideração a razão altura/largura do provete. A resistência à abrasão foi avaliada conforme a XP P13-901 [23], executando-se movimentos horizontais com uma escova de aço, com uma carga acoplada de 3 kg, durante 1 minuto. O coeficiente de abrasão (C_a) foi determinado através da Equação 1, que relaciona a área (A) com a massa abradada (M_a). A aparência exterior e interior dos BTC foi também avaliada.

$$C_a = \frac{A}{M_a} \quad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise visual

Aos 400 ºC observou-se o aparecimento de um tom alaranjado (Figura 3), associado à oxidação do ferro [24]. Esta tonalidade foi mais intensa nos BTC NE, devido ao seu maior teor de TV+FA. O aparecimento de alguma fissuração superficial deu-se aos 600 ºC, o que pode ser parcialmente explicado pela desidroxilação dos minerais argilosos que leva à libertação de vapor de água e que pode consequentemente levar à retração e fissuração do BTC. Para além disto, ocorreu também a pela transformação de fase do quartzo, aproximadamente aos 573 ºC [25], provocando uma expansão volumétrica súbita de cerca de 0,79% [25], com potencial de causar fissuração [26].

Nos BTC estabilizados, ocorreu ainda a decomposição térmica dos produtos de hidratação do cimento, nomeadamente do C-S-H , dos aluminatos de cálcio hidratados e da portlandite (Equação 2). Estes fenómenos ocorrem predominantemente entre 400-600 ºC [27]. Aos 800 ºC, verificou-se alguma perda de coesão acompanhada por um aumento significativo da fissuração (Figura 3). Neste patamar deu-se a decomposição da calcite em cal livre [28] (Equação 3).

$$Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O \quad (2)$$

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \quad (3)$$

Durante o arrefecimento, a reidratação da calcite poderá ter ocorrido, o que favorece a ocorrência de fissuração [29]. Nos BTC NE, a decomposição e posterior reidratação da calcite devem também ser consideradas, dada a presença de resíduos cimentícios antigos no RCD. Aos 1000 ºC deu-se a perda quase total de coesão dos BTC (Figura 3). Este fenómeno está associado a uma vitrificação rápida da superfície, dificultando a libertação do vapor de água e do CO_2 resultantes da decomposição da portlandite e da calcite, respetivamente [1]. Este processo favorece a formação de poros de grandes dimensões e irregulares [1]. Salienta-se também a mudança de cor para uma tonalidade mais escura.

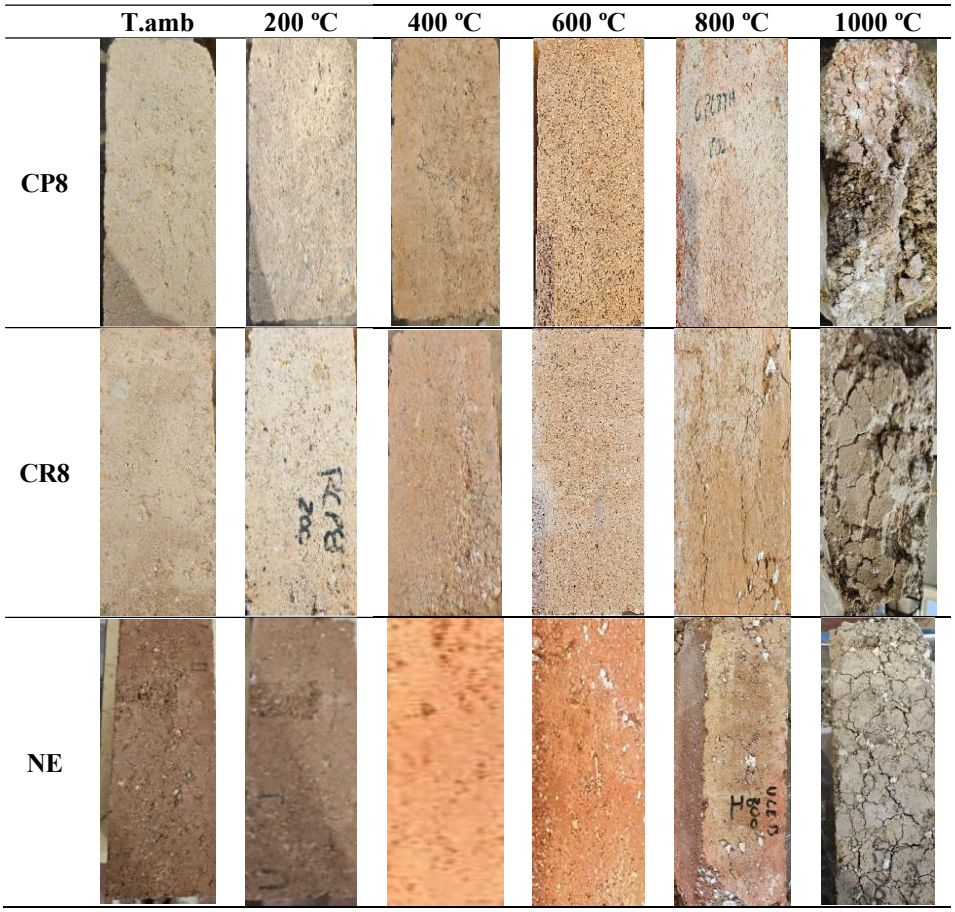


Figura 3 – Efeito da exposição a altas temperaturas no exterior dos BTC CP8, CR8 e NE.

Verificou-se uma diferença de tonalidade entre o interior e as zonas mais perto da superfície do bloco (Figura 4). Isto deveu-se ao facto de o interior do BTC ter ficado menos exposto ao oxigénio. Consequentemente, os compostos de ferro tiveram uma menor oxidação. Isto conferiu ao interior dos BTC uma tonalidade mais escura (Figura 4). Além disso, a evaporação de água pode impedir a penetração de oxigénio no interior dos BTC [30]. O carbono presente no BTC reage com o vapor de água, originando gases fortemente redutores (H_2 e CO), que, a temperaturas elevadas podem alterar de forma permanente o estado de oxidação do ferro, originando as variações de tonalidade no interior dos blocos.



Figura 4 – Interior dos BTC CP8 e CR8.

3.2 Massa volúmica

Na Tabela 2 apresentam-se os valores médios para cada propriedade avaliada. Os BTC NE desintegraram-se completamente após alguns minutos de imersão em água, o que impossibilitou a realizou dos ensaios de absorção de água e de resistência à compressão saturada. A perda de coesão dos BTC aos 1000 °C impossibilitou a sua caracterização (3.1).

Tabela 2 – Evolução das propriedades dos BTC com a temperatura.

BTC	Temperatura	MV (kg/m³)	$C_{abs,10min}$ (x10⁻²g/(cm²·min^0.5))	$A_{i,m}$ (%)	$f_{c,un,seca}$ (MPa)	$f_{c,un,sat}$ (MPa)	C_a (cm²/g)
CP8	Ambiente	1988	15,4	9,2	7,4	3,3	22,7
	200 ºC	1905	18,9	13,0	10,3	4,7	36,9
	400 ºC	1888	28,1	14,1	10,6	5,8	39,1
	600 ºC	1815	52,9	15,8	8,6	7,3	15,6
	800 ºC	1713	104,2	17,9	7,0	3,7	4,4
CR8	Ambiente	1960	11,4	9,0	6,4	2,9	20,0
	200 ºC	1887	16,2	13,0	9,4	4,1	31,1
	400 ºC	1857	39,5	14,4	9,5	4,9	32,0
	600 ºC	1792	76,2	16,1	7,8	5,6	11,7
	800 ºC	1669	112,0	19,4	5,4	3,5	2,9
NE	Ambiente	1988	-	-	1,8	-	3,9
	200 ºC	1958	-	-	4,3	-	4,8
	400 ºC	1936	-	-	4,5	-	5,2
	600 ºC	1869	-	-	6,2	-	3,1
	800 ºC	1812	-	-	7,1	-	2,6

MV: massa volúmica; $C_{abs,10min}$: coeficiente de absorção capilar aos 10 minutos; $A_{i,m}$: absorção de água por imersão; $f_{c,un}$: resistência à compressão não confinada; C_a: coeficiente de abrasão.

Entre a temperatura ambiente e os 200 ºC, a redução da MV foi superior para os BTC CP8 comparativamente com os CR8 (Tabela 2). Este intervalo está associado à evaporação de água livre e à degradação térmica da etringite. De facto, segundo Bogas *et al.* [27], para igual a/l, pastas de CR apresentam menor quantidade de etringite. Para além disto, como o CR apresenta uma maior exigência de água (2.1) e os BTC CP8 foram produzidos com o mesmo teor de água dos CP8 (2.2), é natural que os BTC CP8 contenham uma maior quantidade de água livre. No intervalo 200-400 ºC, a maior redução foi observada para os BTC CR8, o que pode ser atribuído à formação de quantidades ligeiramente superiores de monossulfoaluminato de cálcio hidratado (Afm) [31]. Já entre 400-600 ºC, os BTC CP8 apresentaram uma redução de 3,9%, enquanto no CR8 foi de 3,5% (Tabela 2). Esta diferença pode ser explicada pelo maior volume de compostos C-S-H e CH em pastas de CP [28]. Por fim, no intervalo 600-800 ºC, os BTC CR8 tiveram uma redução de 5,6%, enquanto no CP8 foi de 6,9% (Tabela 2). Esta diferença está associada à maior presença de calcite [27,28,31], devido à carbonatação dos resíduos de pasta de cimento e à possível carbonatação do CR após o processo de termoativação [32].

Para os BTC NE, a redução de MV deve-se exclusivamente à perda de água livre, à remoção de água fisicamente adsorvida na superfície das partículas, à desidroxilação dos minerais argilosos e à decarbonatação dos compostos carbonatados. Como expectável, a maior redução ocorreu entre 400-600 ºC (3,4%). Entre os 600-800 ºC a redução foi de 3,1%, podendo ser explicada pela decomposição da calcite presente nos resíduos cimentícios antigos do RCD.

3.3 Absorção de água

Na Figura 5a e Figura 5b apresentam-se a evolução da absorção capilar até 72 horas, para os BTC CP8 e CR8, respetivamente. Para os blocos em ambiente laboratorial, nas primeiras 6 horas (≈20 $min^{0.5}$) a absorção evoluiu de forma aproximadamente linear com √t. Depois, os poros de maiores dimensões e com maior interconectividade ficaram saturados, ocorrendo uma participação progressiva dos poros menos acessíveis à água. Para os blocos sujeitos a temperaturas mais elevadas, o aumento de porosidade e conectividade levou ao incremento significativo da taxa de absorção inicial e à redução do período até à ocorrência de saturação. Por exemplo, para o CR8, essa transição na taxa de absorção ocorreu a partir dos 120 minutos, 60 minutos, 30 minutos e 10-20 minutos, para 200ºC, 400 ºC, 600 ºC e 800 ºC respetivamente. Como tal, optou-se por determinar o coeficiente de absorção capilar correspondente aos primeiros 10 minutos ($C_{abs,10min}$). Este parâmetro, apesar de depender das características superficiais do provete, é usualmente considerado na literatura.

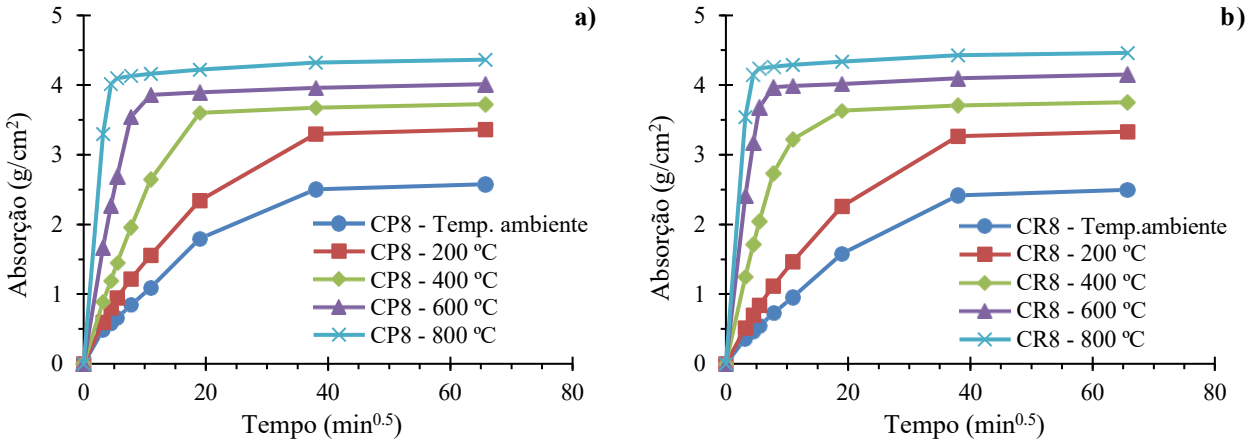


Figura 5 – Absorção capilar ao longo do tempo para as diferentes temperaturas: a) CP8; b) CR8.

O $C_{abs,10min}$ dos BTC CR8 e CP8 expostos a temperatura de 800 ºC aumentou 9,8 e 6,8 vezes, respetivamente, comparativamente com o seu valor inicial a temperatura ambiente (Tabela 2). De acordo com a norma NTC 5324 [19], os BTC CP8 e CR8 foram classificados como materiais muito pouco capilares até 200 °C ($C_{abs,10min}$< 20x10^{-2} g/(cm^2.min$^{1/2}$)) passando a ser materiais pouco capilares aos 400 °C ($C_{abs,10min}$< 40x10^{-2} g/(cm^2.min$^{1/2}$)). Acima desta temperatura, ocorreu um aumento significativo de $C_{abs,10min}$ o que está associado a um aumento da macroporosidade (> 50 nm) [33].

A absorção de água por imersão total aumentou 1,9 e 2,2 vezes para os BTC CP8 e CR8, respetivamente, comparativamente com o seu valor inicial (Tabela 2). O valor foi sempre inferior ao máximo estipulado de 20% pela norma NBR 8491 [34].

3.4 Resistência à compressão

A Figura 6a apresenta a evolução da $f_{c,un,seca}$ em função da temperatura. Conforme reportado por Bruno *et al*. [1], no caso dos BTC NE, a $f_{c,un,seca}$ aumentou em função da temperatura de exposição. No entanto, para os BTC estabilizados, esta propriedade teve um decréscimo aos 600 ºC, o que pode ser explicado, principalmente, pela decomposição dos produtos de hidratação do cimento. No entanto, a tendência observada diverge daquela reportada por Nshimiyimana *et al.* [8]. No presente estudo, os BTC foram produzidos com uma substituição parcial de solo por 25% RCD, tornando a decomposição dos produtos de hidratação do cimento um fator mais preponderante. Apesar disto, a $f_{c,un,seca}$ manteve-se amplamente superior ao mínimo de 2,0 MPa estabelecidos pela HB-195 [22].

A evolução da $f_{c,un,seca}$ entre os BTC CP8 e CR8 foi semelhante (Figura 6). A principal diferença ocorreu aos 800 °C, o que está de acordo o maior teor de material carbonatado do CR. No entanto, os BTC CR8 tiveram uma redução de apenas 17% na $f_{c,un,seca}$ e de 3% no seu coeficiente de eficiência estrutural, CES (razão entre $f_{c,un,seca}$ e MV), comparativamente com o seu valor inicial. Estes resultados comprovam que os BTC estabilizados com CR têm capacidade de suportar uma exposição até 800 ºC durante uma hora.

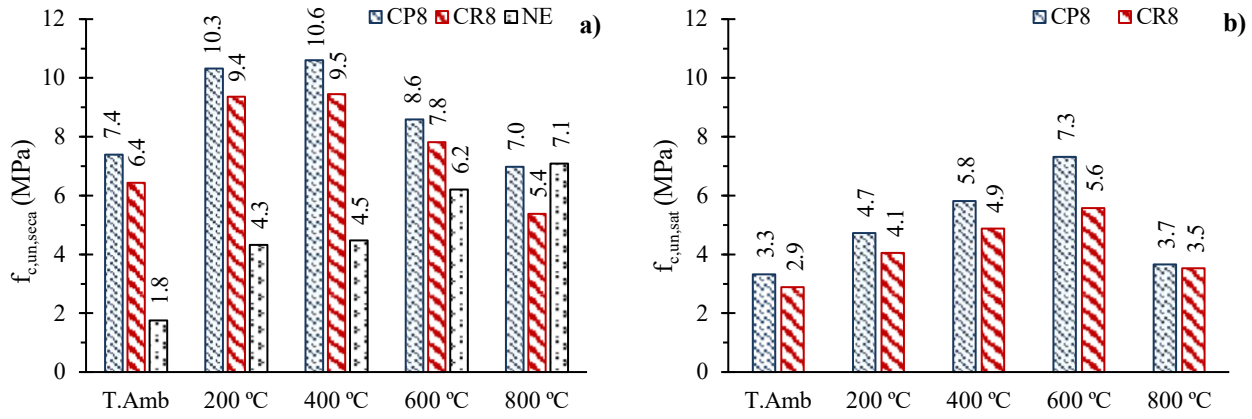


Figura 6 – Evolução da resistência à compressão não confinada: a) seca; b) saturada.

Em condições saturadas, a resistência aumentou continuadamente até aos 600 ºC (Figura 6b), o que pode ser explicado pela reidratação dos produtos de hidratação dos ligantes. No entanto, aos 800 ºC verificou-se um decréscimo abrupto da $f_{c,un,sat}$. Como referido anteriormente, entre os 600-800 ºC, iniciou-se a descarbonatação da calcite, dando origem à cal livre, que em contacto com a água forma portlandite. Esta é uma reação exotérmica frequentemente associada à ocorrência de fissuração, com consequente diminuição da resistência. Apesar disto, a $f_{c,un,sat}$ manteve-se acima do limite mínimo de 1,0 MPa recomendado pela HB-195 [22].

É possível que após o segundo ciclo de reidratação do CR, este possa ter desenvolvido menor quantidade de produtos de hidratação do que o CP reidratado. Porém, entre os 600-800 ºC o decréscimo de resistência nos BTC CP8 (50%) foi superior ao dos BTC CR8 (37%). Neste caso, o elevado teor de material carbonatado nos BTC CR8 revelou-se uma vantagem. Durante o aquecimento, ocorreu a desidroxilação do caulino [35,36] e outros processos de reorganização estrutural [36,37], culminando na formação de metacaulino, uma estrutura amorfa [35,38] de elevada reatividade pozolânica [39,40]. A sua interação com a água e com a portlandite, proveniente maioritariamente da descarbonatação e reidratação da calcite, desencadeou reações pozolânicas e formou produtos de hidratação.

3.5 Resistência à abrasão

Independentemente da composição, a resistência à abrasão aumentou progressivamente com a temperatura até aos 400 ºC, (Tabela 2). Acima desta temperatura observou-se uma perda da coesão superficial. O coeficiente de abrasão do BTC CP8 foi, em média, 28% superior à do CR8, sugerindo uma degradação mais acentuada da sua superfície. No entanto, importa salientar que, devido à sua natureza porosa, a dureza das partículas de CR pode ser até 11x inferior à das partículas de CP [41].

De acordo com o documento normativo XP P13-901 [23] os BTC CP8 e CR8 mantiveram-se na classe mais elevada de resistência à abrasão (C_a > 7 cm²/g) até aos 600 ºC. A partir deste patamar ambos passaram para a classe mais baixa (2 cm²/g < C_a < 5 cm²/g). Já os BTC NE mantiveram-se sempre na classe mais baixa.

4. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo avaliar a evolução do desempenho de BTC CR, BTC CP e BTC NE após exposição a elevadas temperaturas (200, 400, 600, 800 e 1000 ºC). Os resultados obtidos demonstraram que a exposição dos BTC CR8, assim como dos BTC CP8, até 600 ºC durante uma hora não compromete significativamente a estabilidade física, nem as suas propriedades. A partir desta temperatura a diferença de comportamento entre os BTC CP8 e CR8 deveu-se essencialmente ao menor desenvolvimento de produtos de hidratação no CR e ao maior teor de material carbonatado deste ligante. Apesar disto, aos 800 ºC, os BTC CR8 apresentaram uma redução de apenas 17% na $f_{c,un,seca}$ e de 3% no CES, relativamente ao valor inicial. Para ambas composições estabilizadas verificou-se um aumento significativo do coeficiente de absorção capilar aos 10 minutos ($C_{abs,10min}$) e da absorção de água por imersão ($A_{i,m}$) e uma redução expressiva da massa volúmica. Para além disto, importa salientar que, até aos 600 ºC, o coeficiente de abrasão (C_a) permaneceu acima do limite de 7 cm²/g, exigido para a classe mais elevada de resistência à abrasão. Por outro lado, os BTC não estabilizados

apresentaram uma diminuição da massa volúmica e do C_a, em 9% e 33%, respetivamente e um aumento da $f_{c,un,seca}$ em 294%, resultante da exposição a 800 ºC durante uma hora. Aos 1000 ºC, devido a uma rápida vitrificação da superfície, todos os blocos perderam totalmente a coesão.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho de investigação foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através do projeto PTDC/ECI-CON/0704/2021. Os autores agradecem ainda o apoio do CERIS através do projeto UIDB/ 04625/2020, bem como a colaboração da SECIL, Vimajas, Força Aérea Portuguesa e Cobert pelo fornecimento dos materiais utilizados durante a campanha experimental, e das Oficinas do convento, Montemor-o-Novo, no apoio à produção dos BTC. O primeiro autor gostaria ainda de agradecer o financiamento da FCT através da bolsa de doutoramento com a referência 2023.05651.BD e com o identificador DOI https://doi.org/10.54499/2023.05651.BD.

REFERÊNCIAS

[1] A.W. Bruno, D. Gallipoli, C. Perlot, J. Mendes, Optimization of bricks production by earth hypercompaction prior to firing, J Clean Prod 214 (2019) 475–482. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.302.

[2] O. Helson, Comportement thermo-hydro-mécanique et durabilité des bétons de sol : influence des paramètres de formulation et conditions d'exposition, PhD thesis, Université de Cergy-Pontoise, 2017.

[3] J. Hessouh, Caractérisations physique et mécanique, et durabilité des bétons de sol : matériaux de laboratoire et matériaux de chantiers, PhD thesis, Université de Cergy-Pontoise, 2021.

[4] R. Abdallah, H. Carré, C. Perlot, C. La Borderie, H. El Ghoche, Study of the risk of instability in earthen bricks subjected to fire, Mater Struct 57 (2024) 16. https://doi.org/10.1617/s11527-023-02284-9.

[5] ISO 834-1, Fire resistance tests—elements of building construction. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 1999.

[6] R. Abdallah, H. Carré, F. McGregor, Effect of compaction pressure on the risk of thermal instability of compressed earth bricks, Mater Struct 57 (2024) 84. https://doi.org/10.1617/s11527-024-02348-4.

[7] A.W. Bruno, C. Perlot, J. Mendes, D. Gallipoli, A microstructural insight into the hygro-mechanical behaviour of a stabilised hypercompacted earth, Mater Struct 51 (2018) 32. https://doi.org/10.1617/s11527-018-1160-9.

[8] P. Nshimiyimana, K. Banaou, S. Omar, Y. Coulibaly, E. Pru'Homme, Z. Zhao, A. Messan, L. Courard, High-Temperature Performances of Compressed Earth Blocks Stabilized with Cementitious Binders, in: Second RILEM International Conference on Earthen Construction, Springer, 2024: pp. 376–386. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62690-6_39.

[9] R. Cruz, B. Azevedo, J.A. Bogas, S. Real, Resistência à água de blocos de terra comprimida estabilizados com cimento reciclado termoativado, in: Congresso Construção 2022, Guimarães, Portugal, 2022: pp. 186–196.

[10] S. Real, B. Azevedo, J. Bogas, R. Cruz, A. Carriço, Caracterização mecânica de blocos de terra comprimida estabilizados com cimento reciclado termoativado , in: Congresso Construção 2022, Guimarães, Portugal, 2022: pp. 177–185.

[11] R. Cruz, J. Bogas, S. Real, J. Rodrigues, Durabilidade de blocos de terra comprimida estabilizados com ligantes recuperados a partir da fração cimentícia de resíduos de betão, in: 5º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Lisboa, Portugal, 2024: pp. 286–297.

[12] R. Cruz, J. Bogas, M. Nabais, S. Real, Caracterização mecânica e retração de blocos de terra comprimida estabilizados com ligantes recuperados a partir da fração cimentícia de resíduos de betão., in: 5º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Lisbon, Portugal, 2024: pp. 298–309.

[13] ASTM D2497-17, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System, American Society for Testing & Materials (ASTM), 2020.

[14] NBR 15116, Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaio, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, Brasil, 2021.

[15] EN 933-11, Tests for geometrical properties of aggregates - Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate, European Committee for Standardization (CEN), 2011.

[16] NBR 16916, Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, Brasil, 2021.

[17] EN 772-13, Methods of test for masonry units - Part 13: Determination of net and gross dry density of masonry units (except for natural stone), European Committee for Standardization (CEN), 2000.

[18] EN 772-3, Methods of test for masonry units - Part 3: Determination of net volume and percentage of voids of clay masonry units by hydrostatic weighing, European Committee for Standardization (CEN), 1998.

[19] NTC 5324, Bloques de suelo cemento para muros y divisiones, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Bogotá, Colombia, 2004.
[20] NBR 8492, Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
[21] EN 772-1, Methods of test for masonry units - Part 1: Determination of compressive strength, European Committee for Standardization (CEN), 2011.
[22] HB 195, The Australian Earth Building Handbook, Standards Australia, Sydney, Australia, 2002.
[23] XP P13-901, Compressed Earth Blocks for Walls and Partitions. Definitions. Specifications. Test Methods. Delivery Acceptance Conditions, Association Française de Normalisation (AFNOR), Paris, France, 2001.
[24] A.L. Ulery, R.C. Graham, Forest Fire Effects on Soil Color and Texture, Soil Science Society of America Journal 57 (1993) 135–140. https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700010026x.
[25] B.J. Skinner, Section 6: Thermal expansion, in: S.P. Clark Jr. (Ed.), Handbook of Physical Constants, Geological Society of America, 1966: pp. 97–175. https://doi.org/10.1130/MEM97-p75.
[26] I. Hager, Behaviour of cement concrete at high temperature, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences 61 (2013) 145–154. https://doi.org/10.2478/bpasts-2013-0013.
[27] J.A. Bogas, S. Real, A. Carriço, J.C.C. Abrantes, M. Guedes, Hydration and phase development of recycled cement, Cem Concr Compos 127 (2022). https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104405.
[28] J.A. Bogas, A. Carriço, A.J. Tenza-Abril, Microstructure of thermoactivated recycled cement pastes, Cem Concr Res 138 (2020). https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106226.
[29] M. Tantawy, Effect of High Temperatures on the Microstructure of Cement Paste, Journal of Materials Science and Chemical Engineering 05 (2017) 33–48. https://doi.org/10.4236/msce.2017.511004.
[30] O. Akinshipe, G. Kornelius, Chemical and Thermodynamic Processes in Clay Brick Firing Technologies and Associated Atmospheric Emissions Metrics-A Review, Journal of Pollution Effects & Control 05 (2017). https://doi.org/10.4172/2375-4397.1000190.
[31] S. Real, A. Carriço, J.A. Bogas, M. Guedes, Influence of the treatment temperature on the microstructure and hydration behavior of thermoactivated recycled cement, Materials 13 (2020). https://doi.org/10.3390/ma13183937.
[32] J. Bogas, A. Carriço, S. Real, Thermoactivated Recycled Cement, in: H.M. Saleh (Ed.), Sustainability of Concrete With Synthetic and Recycled Aggregates, IntechOpen, Rijeka, Croatia, 2021. https://doi.org/10.5772/intechopen.98488.
[33] P. Nshimiyimana, A. Messan, L. Courard, Hydric and durability performances of compressed earth blocks stabilized with industrial and agro by-product cinders: calcium carbide residue and rice husk ash, Journal of Materials in Civil Engineering 33 (2021) 4021121. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003745.
[34] NBR 8491, Tijolo de solo-cimento - Requisitos, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
[35] R. Fernandez, F. Martirena, K.L. Scrivener, The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite, Cem Concr Res 41 (2011) 113–122. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2010.09.013.
[36] S. Sperinck, P. Raiteri, N. Marks, K. Wright, Dehydroxylation of Kaolinite to Metakaolin - A Molecular Dynamics Study, J Mater Chem 21 (2011). https://doi.org/10.1039/C0JM01748E.
[37] M. Izadifar, P. Thissen, A. Steudel, R. Kleeberg, S. Kaufhold, J. Kaltenbach, R. Schuhmann, F. Dehn, K. Emmerich, Comprehensive examination of dehydroxylation of kaolinite, disordered kaolinite, and dickite: experimental studies and density functional theory, Clays Clay Miner 68 (2020) 319–333. https://doi.org/10.1007/s42860-020-00082-w.
[38] N. Garg, J. Skibsted, Dissolution kinetics of calcined kaolinite and montmorillonite in alkaline conditions: Evidence for reactive Al(V) sites, Journal of the American Ceramic Society 102 (2019). https://doi.org/10.1111/jace.16663.
[39] C. Li, H. Sun, L. Li, A review: The comparison between alkali-activated slag (Si + Ca) and metakaolin (Si + Al) cements, Cem Concr Res 40 (2010) 1341–1349. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2010.03.020.
[40] F. Moodi, A.A. Ramezanianpour, A.S. Safavizadeh, Evaluation of the optimal process of thermal activation of kaolins, Scientia Iranica 18 (2011) 906–912. https://doi.org/10.1016/J.SCIENT.2011.07.011.
[41] L. Zhang, Y. Ji, G. Huang, J. Li, Y. Hu, Modification and enhancement of mechanical properties of dehydrated cement paste using ground granulated blast-furnace slag, Constr Build Mater 164 (2018) 525–534. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.232.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-55

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA CAMADA DE PINTURA NAS PROPRIEDADES E DURABILIDADE DE BLOCOS DE GESSO NA ALVENARIA

AMORIM, Rana Assíria [1]; GOMES DE SOUSA, José Getúlio [2]

[1] Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, rana.amorim@discente.univasf.edu.br , 0000-0002-3600-5634
[2] Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, jose.getulio@univasf.edu.br , 0000-0002-8151-0971

RESUMO

O gesso é um material de construção versátil, utilizado como revestimento de alvenaria e na fabricação de peças pré-moldadas. No entanto, possui limitações de uso, especialmente em áreas externas e molhadas. Para ampliar sua aplicação nesses ambientes, surgem no mercado alternativas como o uso de hidrorrepelentes como aditivos e o desenvolvimento de novos materiais de proteção para a superfície do gesso. Este trabalho teve como objetivo avaliar se o uso de aditivos hidrorrepelentes e/ou sistemas de pintura são capazes de proteger efetivamente blocos de gesso após exposição em ambientes externos. Para isso, blocos com diferentes tratamentos foram expostos ao ambiente externo por 12 meses, sendo avaliados nas idades de 0, 6 e 12 meses. Os resultados indicaram que, após o período de exposição, as propriedades mecânicas, como dureza e resistência à compressão, apresentaram certa redução, mas os materiais de proteção ajudaram a manter ou até aumentar essas propriedades. Quanto à absorção de água, houve uma redução significativa nos valores, especialmente nos corpos de prova contendo hidrorrepelente. A perda de massa, causada pela dissolução do gesso, também foi menor nos blocos com sistema de proteção. Esses resultados demonstram que os tratamentos aplicados foram eficazes na proteção do gesso contra a degradação decorrente do envelhecimento natural.

Palavras-chave: gesso; bloco de gesso; durabilidade.

ABSTRACT

Gypsum is a versatile building material used as a masonry coating and in the manufacture of precast parts. However, it has limitations, especially in outdoor and wet areas. To expand its application in these environments, alternatives such as the use of water-repellent additives and the development of new protective materials for the gypsum surface are emerging on the market. This study aimed to evaluate whether the use of water-repellent additives and/or paint systems can effectively protect gypsum blocks after exposure to outdoor environments. To this end, blocks with different treatments were exposed to the outdoor environment for 12 months, being evaluated at ages 0, 6, and 12 months. The results indicated that, after the exposure period, mechanical properties, such as hardness and compressive strength, showed a certain reduction, but the protective materials helped maintain or even improve these properties. Regarding water absorption, there was a significant reduction in values, especially in the specimens containing water-repellent. Mass loss, caused by gypsum dissolution, was also lower in the blocks with the protective system. These results demonstrate that the treatments applied were effective in protecting the plaster against degradation resulting from natural aging.

Keywords: plaster; plast block; durability.

1. INTRODUÇÃO

O gesso é um aglomerante aéreo produzido a partir da calcinação da gipsita. O Brasil é o maior produtor da América do Sul e um dos maiores produtores do mundo, com uma produção em 2017 de aproximadamente 2,1 Mt, valor que representou 0,8% do total mundial. O estado de Pernambuco é o principal produtor de gipsita do Brasil, sendo responsável em 2017, por 79,7% do total produzido [1], e temos como principais consumidores do gesso os fabricantes de drywall, a indústria cimenteira e a indústria da construção civil [2]. Os produtos à base de gesso apresentam, entre outras propriedades, um bom acabamento superficial e redução do custo geral quando comparado ao uso de materiais tradicionais.

Apesar de ser um material versátil e com muitas vantagens, o gesso ainda encontra resistência quanto ao seu emprego na produção de blocos de vedação devido à ideia de que o gesso resultaria em um produto de baixa durabilidade. A durabilidade é a capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção [3]. Além do que, o gesso é um material que apresenta uma alta solubilidade quando em contato com a água o que limita seu uso em áreas internas ou livre de umidade nas edificações. Como alternativas para melhorar seu desempenho nesses ambientes, pode-se optar não só para o uso de aditivos químicos, denominados hidrorrepelentes, como também para a aplicação de sistemas de pinturas a fim de prolongar a durabilidade do material.

Desse modo, a fim de contribuir para o estudo da durabilidade do material a presente pesquisa busca desenvolver estudos que avaliem as propriedades do gesso de fundição usado para a produção de elementos de vedações verticais, com a incorporação de hidrorrepelente e/ou sistema de pintura quando exposto às intempéries por meio do envelhecimento natural.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O gesso é obtido a partir da moagem e calcinação da gipsita (sulfato de cálcio di-hidratado – $CaSO_4.2H_2O$). A calcinação, quando realizada à pressão atmosférica em uma faixa de temperatura entre 125ºC e 160ºC dá origem ao gesso beta (β-$CaSO_4.0{,}5H_2O$), um pó de elevada área superficial específica e cristais porosos que, quando hidratado, leva à formação de cristais com o formato de agulhas finas entrelaçadas [4]. O gesso após ser calcinado é então utilizado em várias aplicações, como na produção de gesso acartonado, revestimentos, forros, componentes pré-fabricados, moldes para a indústria da construção civil [2]. Por ser um material atóxico, possuir bom aspecto estético, apresentar facilidade de fabricação, dispor de propriedades de isolamento térmico e acústico, entre outras características, o gesso vem ganhando espaço na construção civil [5].

No entanto, apesar das vantagens do uso de gesso em alvenarias, ainda há muitos questionamentos quanto ao seu uso, ligados principalmente à sua durabilidade. Em produtos à base de gesso sem hidrorrepelente ou sistema de proteção, há um decréscimo da resistência do material de maneira proporcional ao aumento da umidade [6]. Assim, é notória a necessidade e importância de se estudar a eficácia da adição de hidrorrepelentes na produção dos componentes de gesso frente às diversas formas de umidade e investigar a aplicabilidade de sistemas de proteção (sistema de pintura) nesse sistema construtivo. Desse modo, o estudo da eficiência desses tratamentos se dá através da avaliação do desempenho dos materiais ao longo do tempo.

Nos testes de avaliação de desempenho, realizados por Sobrinho [7] em elementos de alvenaria de blocos de gesso, standard e com a adição de hidrorrepelente à base de silicone, foi possível constatar o desempenho dos blocos contendo hidrorrepelente na estanqueidade das paredes. Além disso, ensaios de estanqueidade sob ação direta da água avaliaram a eficácia de vários tipos de pintura sobre paredes em alvenaria de blocos de gesso, mostrando que a pintura retarda a ação degradante da água sobre os blocos, onde a maior ou menor proteção varia de acordo com o tipo de tinta, sistema de pintura e o tipo de bloco que compõe a parede, sendo que os sistemas de pintura utilizando esmalte sintético ou tinta acrílica mostraram maior proteção que os sistemas a base de pintura látex.

Uma forma de estudar a durabilidade de materiais é por meio da avaliação do envelhecimento do material, onde o envelhecimento é entendido como o conjunto de alterações físicas e químicas que ocorrem na estrutura do material e têm impacto no desempenho e na durabilidade. O envelhecimento dos materiais de construção decorre da degradação e se dá em função da exposição à fatores climáticos como variação de temperatura, radiação solar e chuvas, de modo que a resistência a esses fatores é essencial no período de uso [8].

O ensaio de envelhecimento em uso tem como vantagem o fato da utilização do material com a conformação e detalhes característicos do seu emprego, assim, quando empregados em material de construção, esse ensaio utiliza o componente interagindo com outros sistemas construtivos, o que proporciona uma avaliação sistemática do material no desempenho de sua função [9].

3. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido em três etapas:
I – Produção dos corpos de prova e aplicação dos tratamentos
Foram moldados corpos de prova, onde foram aplicados diferentes tratamentos.

II – Exposição no ambiente
Em seguida, os corpos de prova foram levados para exposição ao longo de 12 meses em um ambiente externo.

III – Avaliações dos corpos de prova após o envelhecimento natural
Há cada 6 meses de exposição em ambiente externo os corpos de prova foram avaliados quanto à resistência à compressão, à dureza superficial, absorção por imersão total e à perda de massa.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Gesso Beta

Para a realização da pesquisa foi utilizado gesso (sulfato de cálcio hemi- hidratado) de fundição. O gesso utilizado foi obtido no Polo Gesseiro do Araripe de um mesmo lote garantindo que todo material detenha o mesmo período de fabricação e que seja o mais homogêneo possível. O gesso de estudo foi caracterizado quanto a granulometria, massa unitária e teores livres de água livre. A caracterização do gesso pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1- Caracterização do gesso de fundição

Propriedade	**Valor encontrado**	**Valor Normativo NBR 13207 (ABNT, 2017)**	**Método de Ensaio**
Granulometria (% passante) # 0,29 mm	98,82	≥ 90%	NBR 12127 [10]
Massa unitária (kg/m)	627,12	≥ 600	NBR 12127 [10]
Água livre (%)	0,62	≤ 1,3	NBR 12130 [11]
Água de cristalização (%)	4,72	4,2 a 6,2	NBR 12130 [11]

3.1.2 Hidrorrepelente de Massa

Além do gesso, foi utilizado um hidrorrepelente de massa para gesso. Em relação ao hidrorrepelente, realizou-se a determinação da massa específica seguindo o procedimento estabelecido pela NBR 11768-3 [12] O método possibilita o ensaio quando o aditivo utilizado é líquido, como no caso do aditivo usado na pesquisa. Desse modo, obteve-se uma massa específica de 1,00 g/cm³.

3.1.3 Materiais Utilizados no Sistema de Pintura

O sistema de pintura utilizado foi composto por massa acrílica e tinta acrílica apropriadas para o gesso. Levando em consideração as recomendações de armazenamento e aplicação do fabricante.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Tratamentos Utilizados

Na presente pesquisa avaliou-se três fatores: presença ou não do hidrorrepelente, presença ou não do sistema de pintura e ação do tempo na degradação dos corpos de prova. Foi utilizada a relação água/gesso de 0,7 com o intuito de manter as características de fabricação do Polo Gesseiro do Araripe [13]. Para isso moldou-se corpos de prova com as seguintes características:

- GRSP07 – bloco sem hidrorrepelente e sem pintura com a relação água/gesso de 0,7;
- GRCP07 – bloco sem hidrorrepelente e com pintura com a relação água/gesso de 0,7;
- GHSP07 - bloco contendo hidrorrepelente de massa e sem pintura, com a relação água/gesso de 0,7;
- GHCP07 – bloco contendo hidrorrepelente de massa e com o sistema de pintura (massa acrílica + tinta) com a relação água/gesso de 0,7;

3.2.1 Moldagem dos Corpos de Prova

Foram moldados corpos de prova prismáticos maciços (5x5x5) cm de forma manual de modo que a avaliação de cada propriedade foi feita em triplicata. A moldagem foi realizada conforme a NBR 12129 [14], sendo que nos blocos contendo o hidrorrepelente, a adição do aditivo se deu na água de amassamento. Para cada tipo analisado (GR e GH) foram moldados 54 corpos de prova, totalizando 108 corpos de prova. Após a moldagem os blocos passaram por secagem à temperatura ambiente até estabilização da massa, verificada por meio de pesagem. A massa do corpo de prova foi anotada e comparada com o peso do corpo de prova após o envelhecimento, calculando-se o percentual de perda de massa.

3.2.2 Pintura dos Corpos de Prova

Após a estabilização da massa, os corpos de prova dos tipos GRCP e GHCP passaram pelo processo de pintura, incialmente realizou-se a preparação da base com a massa acrílica específica para gesso, seguindo as recomendações do fabricante. Posteriormente aplicou-se a tinta na quantidade de demãos recomendadas pelo fabricante.

3.2.3 Envelhecimento Natural

Os corpos de prova foram submetidos a exposição ao envelhecimento natural (Figura 1) em um ambiente aberto localizado no primeiro pavimento do prédio onde se encontra o Laboratório de Ensaios de Materiais e Técnicas Construtivas (LABMATEC). Esse local foi escolhido por ser uma área ampla que possibilitou a disposição adequada, além de estar próximo à estação meteorológica da UNIVASF, o que facilita o acompanhamento dos dados meteorológicos por meio do site do Laboratório de Meteorologia (LABMET). Os corpos de prova foram expostos no mês de novembro do ano de 2022. O tempo de exposição durou 12 meses, com avaliação na idade zero (novembro/2022), 6 meses (maio/2023) e 12 meses (novembro/2023). Nesse período a precipitação foi mais concentrada nos seis primeiros meses, alcançando 185mm

em novembro/2023 e 25,00mm em maio/2024. Nos seis meses seguintes de exposição a precipitação foi de 0mm nos cinco primeiros meses e de 52mm em novembro/2024, mês no qual encerrou o período de exposição [15].



Figura 1: Exposição dos Blocos de Gesso ao Envelhecimento Natural

3.2.4 Análise das Propriedades dos Corpos de Prova

As propriedades foram avaliadas nas seguintes idades: idade zero (antes do envelhecimento), 6 meses, 12 meses. Os corpos de prova foram avaliados quanto à dureza superficial (Figura 2) e resistência à compressão (Figura 3) seguindo a NBR 12129 [16]. Também, avaliou-se quanto a absorção por imersão total (Figura 4) consoante a NBR 16495 [17] e perda de massa por meio de uma adaptação da NBR 13554 [18].
Os resultados obtidos ao longo do ciclo de envelhecimento natural foram comparados aos auferidos na idade "zero", que corresponde aos primeiros corpos de prova ensaiados antes o início do envelhecimento. Os corpos de prova utilizados na determinação das propriedades da idade "zero" e, após, 6 e 12 meses foram sorteados aleatoriamente entre os grupos, sendo três corpos de prova para cada ensaio.



Figura 2: Ensaio de Dureza Superficial

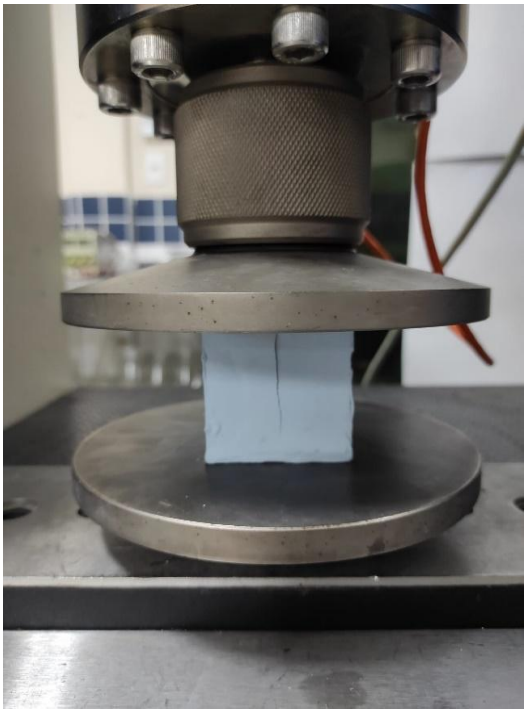


Figura 3: Ensaio de Resistência à Compressão



Figura 4: Ensaio de Absorção por Imersão Total

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dureza Superficial

Ao analisar a Figura 5 observa-se que, os corpos de prova na idade zero apresentam valores superiores nos blocos com o aditivo hidrorrepelente. Percebe-se também que, o sistema de pintura garante valores maiores de dureza superficial. Esse comportamento prevalece ao longo do envelhecimento natural, nota-se que após 6 meses de exposição os corpos de prova GRSP (gesso de referência sem hidrorrepelente) reduziu o valor da dureza superficial em 24% e os corpos de prova GHSP (gesso com hidrorrepelente e sem pintura) reduziu 20%. Entretanto, os corpos de prova GRCP (gesso de referência com pintura) teve redução de 10% e os corpos de prova GHCP (gesso com hidrorrepelente com pintura) reduziu 7%. Após 12 meses de envelhecimento natural o corpo de prova GHCP teve uma redução nos valores de dureza superficial de 31% menor do que os corpos de prova tipo GRSP.
No caso dos corpos de prova de referência (GR), esse comportamento pode estar associado ao aumento da porosidade superficial do corpo de prova durante o processo envelhecimento natural, sendo uma consequência da dissolução do gesso. No entanto, com a adição do hidrorrepelente e o sistema de pintura, o desgaste superficial foi menor, o que pode justificar o fato de que, embora haja a diminuição, a dureza após a idade de 12 meses dos corpos de provas GHCP foi maior do que para GRSP.

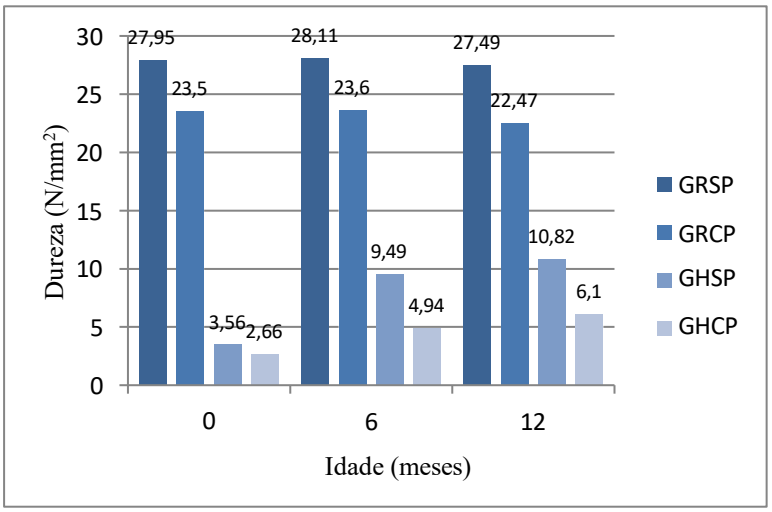


Figura 5- Comparativo dos valores médios para a dureza superficial dos corpos de prova.

4.2 Resistência à Compressão Axial

Na Figura 6 infere-se que os corpos de prova de referência, sem a presença do aditivo hidrorrepelente (GR), apresentaram maior redução dos valores de compressão no decorrer do tempo, em comparação aos blocos com a presença do aditivo hidrorrepelente (GH). Tal fato pode ter ocorrido devido à dissolução do gesso quando submetido a um processo contínuo de envelhecimento natural e degradação.

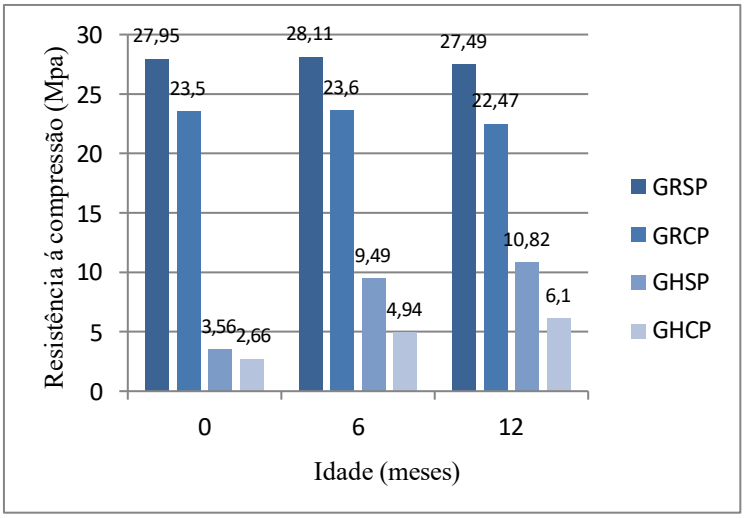


Figura 6- Comparativo dos valores médios para a Resistência à Compressão dos corpos de prova**.**

4.3 Absorção por Imersão Total

A NBR 16494 [19] estabelece que a capacidade de absorção para blocos hidrofugados deve ser menor ou igual a 5%. A figura 7 apresenta a média dos valores obtidos em cada idade. Observa-se na idade zero os corpos de prova de referência (GR) obtiveram a maior absorção percentual. A adição do hidrorrepelente de massa reduziu consideravelmente a absorção de água por imersão. Ademais, a aplicação do sistema de pintura colaborou com a redução dos valores de absorção. Esse comportamento prevalece após o envelhecimento natural de 6 e 12 meses.

No que diz respeito à camada de pintura a aplicação não foi suficiente para minimizar a entrada de água. Ao utilizar tratamentos superficiais os resultados podem ser influenciados pela aplicação uniforme na superfície. Quando ocorre qualquer falha na aplicação, a barreira contra a ação da água é reduzida. Outro fator que pode ocasionar influência é a pressão hidrostática, que, embora pequena, está presente no ensaio de absorção por imersão total. Entretanto, na prática existe pouca probabilidade que o gesso com hidrorrepelente seja exposta a uma situação no qual esteja submerso, similar ao que ocorre no ensaio em questão.

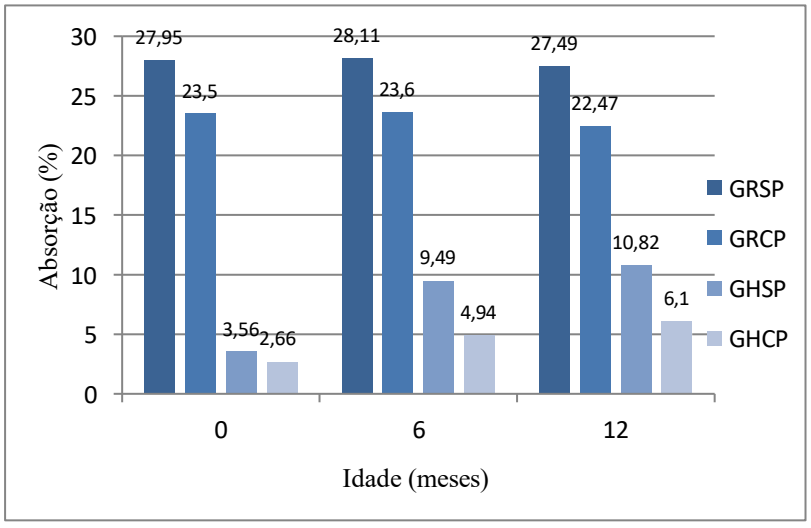


Figura 7- Comparativo dos valores médios para à absorção por imersão total nos corpos de prova de gesso.

4.4 Perda de Massa

Ao observar o material após 6 meses de exposição, podemos ver que a perda de massa no material do tipo GHCP (gesso com hidrorrepelente e sistema de pintura) foi 42% menor que o do material do tipo GRSP (gesso de referência, sem hidrorrepelente e sem pintura) conforme analisado no gráfico da Figura 08. Após 12 meses de exposição o material do tipo GHCP teve uma perda de massa 50% menor que o material do tipo GRSP.
Comparando as idades 6 meses e 12 meses, pode-se perceber que houve um aumento na perda de massa do material em relação ao material com 6 meses de exposição, tanto para o material sem hidrorrepelente, como para o material com hidrorrepelente.
Para o GHCP (Figura 10), é possível inferir que a presença de pintura atua como barreira de proteção para o material, uma vez que a perda de massa foi menor quando comparada ao material sem pintura (Figura 9). Cabe destacar ainda que qualquer falha ou dano ocorrido no sistema, pode levar a uma entrada de umidade no corpo de prova e provocar aumento na perda de massa.
Desse modo, é possível inferir que o sistema de pintura contribui para a redução da perda de massa, essa contribuição é visível nos tratamentos com e sem a adição de hidrorrepelente. Existem outras possibilidades de tintas que possivelmente, teriam um desempenho ainda melhor.

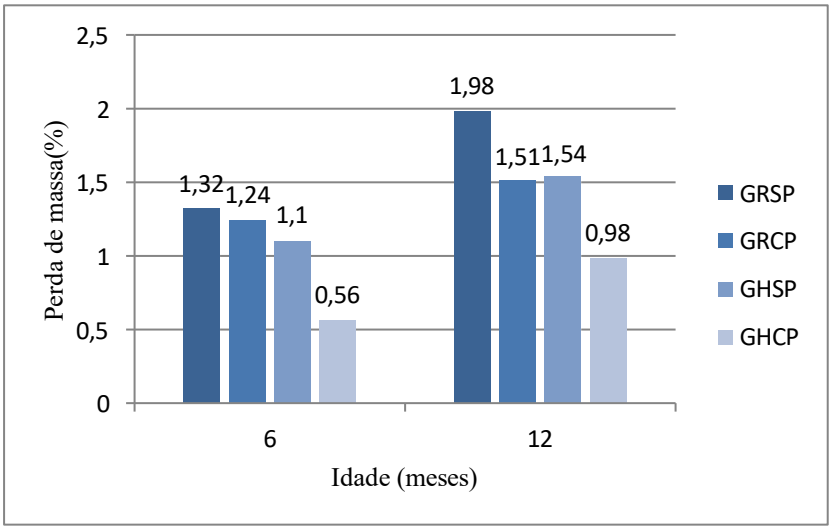


Figura 8- Comparativo dos valores médios para a perda de massa nos corpos de prova de gesso.

\



Figura 9- Blocos de gesso de referência sem o sistema de pintura após o envelhecimento natural no período de 12 meses.



Figura 10- Blocos de gesso com o aditivo hidrorrepelente de com o sistema de pintura após o envelhecimento natural no período de 12 meses.

CONCLUSÃO

Os resultados indicam a redução no decorrer do tempo nos valores de dureza e resistência à compressão, levando em consideração as ações dos sistemas de tratamento com aditivo hidrorrepelente e a aplicação da pintura. Em relação à absorção de água, nota-se a eficácia do aditivo hidrorrepelente, conferindo uma redução no percentual, quando comparado aos corpos de prova de gesso sem a adição desse tratamento. Ainda sobre essa propriedade, percebe-se uma pequena redução no percentual absorvido pelos blocos com a presença de pintura. O sistema de pintura também atuou como camada de proteção evitando a dissolução dos blocos de gesso, comportamento que foi evidenciado pela redução nos valores de perda de massa determinados no período de estudo. Esse estudo e seus resultados abre espaço para a possibilidade do uso dos blocos de gesso em ambientes externos e áreas úmidas desde que se utilize blocos hidrodugados e com um tratamento com proteção superficial adequado. Ademais, conclui-se de suma importância à aplicação do sistema de pintura para garantir a proteção dos blocos de gesso quanto à degradação.

REFERÊNCIAS

[1] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral 2018 - Gipsita**. Brasília: DNPM, 2018, 3 p.

[2] Holanda, D. K. de S. L., Silva, J. C. V. da, Leão, S. A. B. F., Souza, A. V. L.de, & Costa, A. K. R. (2023). Light steel frame: uma revisão da literatura. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, 9(7), 149–156.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021. 98p.

[4] KANNO, W. M. **Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho**. 2009. 130f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2009.

[5] GARG, M.; PUNDIR, A.; SINGH, R. Modifications in water resistance and engineering properties of b-calcium sulphate hemihydrate plaster-superplasticizer blends. **Materials and Structures**, 2016, v. 49, p. 3253–3263.

[6] SOBRINHO, C. W. A. P. **Potencialidades do gesso na construção civil.** ***In:*** **Simpósio Internacional de tecnologia para habitação,** 1987, São Paulo: IPT, p. 121 -131.

[7] SOBRINHO, C. W. A. P**. Durabilidade das alvenarias de blocos de gesso: Limites de sua utilização**. 2021. 220f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade do Porto, Porto - PT, 2021.

[8] BOCHEN, J. **Weathering effects on physical–chemical properties of external plaster mortars exposed to different environments. Construction and Building Materials**, 2015, v.79, n.15, p. 192.

[9] FARIAS FILHO, J. **Estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito**. 2010. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade de Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2010.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12127**: gesso para construção: determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 2019a

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12130**: gesso para construção: determinação da água vivare e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrito. Rio de Janeiro, 1991um.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768-3** : aditivo produtos químicos para concreto de cimento Portland: parte 3: ensaios de caraterização. Rio de Janeiro, 2019b

[13] SILVA, D. B. P. **Efeito do aditivo hidrofugante nas propriedades e na durabilidade das pastas de gesso de fundição**. Juazeiro, 2018. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Vale do São Francisco, Juazeiro, 2018

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12129**: Gesso para construção: Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 2019. 6p.

[15] LABMET. **Dados das estações.** Laboratório de Meteorologia Universidade do Vale do São Francisco. Bahia,2025. Disponível em: https://labmet.univasf.edu.br/ . Acesso em: 10 julho2025.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12129**: Gesso para construção: Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 2017. 6p.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16495:** Bloco de Gesso para Vedação Vertical: Métodos de Ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13554**: Solo Cimento, durabilidade por molhagem e secagem. Rio de Janeiro, 2012.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 16495:** Bloco de Gesso para Vedação Vertical-Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-53

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DO RESÍDUO DE GESSO NA PRODUÇÃO DE PLACAS PRÉ-MOLDADAS PARA REVESTIMENTO DE GESSO

LIMA, Joyce da Cruz[1]; LIMA, Paula Geovana Sousa[2]; SILVA, Brenda Carla Neres[3]; DE SOUSA, José Getulio Gomes[4]

[1] Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, joycedaclima@gmail.com, 0000-0003-4452-1038
[2] Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, paulageovanasousalima@gmail.com, 0000-0001-7671-2635
[3] Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, brendacarla22@gmail.com, 0000-0002-6570-9980
[4] Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, jose.getulio@univasf.edu.br, 0000-0002-5047-2941

RESUMO

Os resíduos de gesso são gerados desde a produção de pré-moldados até a sua aplicação na construção civil, demandando estudos sobre a viabilidade de sua reciclagem para criar um plano de sustentável para esse setor. Este trabalho buscou contribuir com esse objetivo, produzindo painéis pré-moldados para revestimento 3D com resíduos de gesso em sua composição, prática já adotada em algumas fábricas do Polo Gesseiro do Araripe na produção de blocos para alvenaria. Foram avaliadas variáveis como a dimensão máxima característica dos resíduos (2,36 mm e 1,18 mm) e o teor de adição do resíduo (0%, 5% e 10%), além da relação água/gesso fixada em 0,75 e um teor de aditivo retardador de pega de 0,02% da massa de gesso. Cada mistura foi avaliada quanto aos tempos de pega, dureza e resistência à compressão, além de uma análise visual das características das placas moldadas. Durante a moldagem, observou-se um endurecimento acelerado da pasta em todos os grupos estudados devido ao resíduo adicionado, no entanto resultados promissores foram obtidos na combinação de 5% de resíduo com dimensão máxima de 2,36 mm e retardador de pega; com resistência à compressão 6% maior que a referência, dureza 16% maior que a referência, com moldagem e acabamento satisfatório, demonstrando perspectivas promissoras para a reciclagem de resíduos de gesso em painéis de revestimento 3D.

Palavras-chave: resíduo de gesso; construção civil; sustentabilidade; revestimento de gesso.

ABSTRACT

Gypsum waste is generated from the production of pre-molded elements to their application in construction, requiring studies on the feasibility of recycling them in order to create a sustainable plan for the sector. This study aimed to contribute to this objective by producing pre-molded 3D cladding panels with gypsum waste in their composition, a practice already adopted in some factories in the Araripe Gypsum Pole for the production of masonry blocks. Variables such as the maximum particle size of the waste (2.36 mm and 1.18 mm) and the waste content (0%, 5%, and 10%) were evaluated, as well as a water/gypsum ratio of 0.75 and a set retardant additive content of 0.02% of the gypsum mass. Each mixture was assessed in terms of setting times, hardness, and compressive strength, in addition to a visual analysis of the molded panel characteristics. During molding, accelerated hardening of the paste was observed in all the groups studied due to the added waste. However, promising results were achieved with a combination of 5% waste with a maximum particle size of 2.36 mm and a set retardant, showing 6% higher compressive strength and 16% higher hardness than the reference, with satisfactory molding and finishing. These results demonstrate promising prospects for the recycling of gypsum waste in 3D cladding panels.

Keywords: gypsum residue; civil construction; sustainability; gypsum coating.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor que, devido à sua intensa atividade, gera uma massiva quantidade de resíduos, os quais, em grande parte, não possuem um descarte adequado. Esses resíduos representam uma parcela significativa dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas, conforme indicado pela Resolução CONAMA Nº 307/2002 [1]. Essa realidade evidencia a necessidade urgente de buscar alternativas que enfatizem a reciclagem desses materiais, uma vez que, frequentemente, esses resíduos se tornam um símbolo de desperdício econômico e ambiental.

No contexto brasileiro é possível destacar o acúmulo dos resíduos de gesso presente especialmente no Polo Gesseiro do Araripe, em Pernambuco, por ser produtor referência de gesso no país. A acumulação de resíduos de gesso nessa região é uma preocupação crescente, dado que a produção e aplicação do gesso geram grandes volumes de resíduos desde as fábricas até as obras. Portanto, concentrar esforços de pesquisa voltados para a aplicação e destinação desses resíduos é de fundamental importância para o setor produtivo local, que demanda alternativas sustentáveis para a disposição final dos resíduos gerados.

A Resolução CONAMA Nº 307/2002, que estabelece diretrizes e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, e objetiva minimizar os impactos ambientais resultantes da geração desses resíduos (Art. 1º), prevê que as atividades geradoras de resíduos devem buscar, sempre que possível, a redução, reutilização e reciclagem desses materiais. Apesar disso, no caso específico dos resíduos de gesso gerados no Polo Gesseiro do Araripe, observa-se uma lacuna significativa de estudos científicos que possam fornecer soluções adequadas para a destinação desses resíduos, que se acumulam em grandes volumes na região.

Neste contexto, a busca por alternativas sustentáveis para o destino desses resíduos, como a reintegração deles à cadeia produtiva da construção civil, se apresenta como uma solução viável tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Além de mitigar o impacto ambiental desses resíduos, tal abordagem abriria novas possibilidades para investimentos em pesquisa e desenvolvimento, promovendo a inovação e o desenvolvimento sustentável no setor. E motivado pela proposta apresentada e suas potenciais contribuições, propõe-se analisar a viabilidade técnica da reciclagem dos resíduos de gesso como adição na produção de placas de gesso para revestimento 3D, como alternativa para destinação dos resíduos.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

No desenvolvimento desse estudo foram utilizados:

- O gesso para fundição, adquirido no Polo Gesseiro do Araripe, e caracterizado [2-5];
- Resíduo de gesso coletado em uma fábrica de pré-moldado da cidade de Petrolina-PE, processado na máquina Moinho de bolas;
- Água destilada;
- E, como aditivo retardador de pega, foi utilizado o citrato de sódio.

2.2 Variáveis do estudo

As variáveis do estudo:
- Granulometria em duas dimensões máximas características, 1,18 mm e 2,36 mm, baseando-se em Do Nascimento [6];
- Teor de resíduo de 0% (referência), 5% e 10%, baseando-se em Do Nascimento [6];
- Com e sem aditivo retardador de pega na porcentagem de 0,02% da massa de gesso, baseando-se em Lopes[7].

A relação água/gesso foi fixada em 0,75 para todas as misturas, similar à Lopes [7];

Diante das variáveis estabelecidas foram nomeados os grupos de estudo dispostos na Tabela 1, que indica sua composição na sua nomenclatura.

Tabela 1 – Nomenclatura das produções de corpos de prova e placas de revestimento 3D e suas composições

Descrição	Nomenclatura	Teor de resíduo	Granulometria do resíduo

Placa de revestimento de Gesso Puro	PRGP	0%	-
Placa de revestimento de gesso com adição de 5% de resíduo na granulometria I	PRG-5-I	5%	2,36 mm
Placa de revestimento de gesso com adição de 5% de resíduo na granulometria I com adição de solução retardadora de pega à 0,02% da massa de gesso	PRG-5-I-R	5%	2,36 mm
Placa de revestimento de gesso com adição de 5% de resíduo na granulometria II	PRG-5-II	5%	1,18 mm
Placa de revestimento de gesso com adição de 5% de resíduo na granulometria II com adição de solução retardadora de pega à 0,02% da massa de gesso	PRG-5-II-R	5%	1,18 mm
Placa de revestimento de gesso com adição de 10% de resíduo na granulometria I	PRG-10-I	10%	2,36 mm
Placa de revestimento de gesso com adição de 10% de resíduo na granulometria I com adição de solução retardadora de pega à 0,02% da massa de gesso	PRG-10-I-R	10%	2,36 mm
Placa de revestimento de gesso com adição de 10% de resíduo na granulometria II	PRG-10-II	10%	1,18 mm
Placa de revestimento de gesso com adição de 10% de resíduo na granulometria II com adição de solução retardadora de pega à 0,02% da massa de gesso	PRG-10-II-R	10%	1,18 mm

2.3 Avaliações realizadas

Os grupos de estudo foram submetidos a quatro etapas: caracterização do gesso de fundição utilizado [2-5], avaliação no estado fresco [3], avaliação da pasta em estado endurecido [4] e avaliação da moldagem e do acabamento das placas para revestimento 3D.

i. Caracterização do gesso de fundição

Com o objetivo de avaliar o gesso utilizado na composição dos grupos de estudo, foi caracterizado diante dos requisitos indicados na ABNT NBR 13207/2017 [5] e quanto a resistência à compressão anteriormente exigida pela norma citada na versão de 1994 [8], através dos ensaios expostos nas normas ABNT NBR 12127 [2], 12128 [3] e 12129 [4], obtendo-se os resultados encontrados na Tabela 2 e caracterizando o gesso para fundição como adequado para utilização no estudo.

Tabela 2 – Caracterização do gesso para fundição

Ensaio	Método	Requisitos	Limites	Resultado
Granulometria	ABNT NBR 12127/2017	ABNT NBR 13207/2017	≥ 90% passante na peneira de abertura 0,29 mm	98,82%
Massa unitária	ABNT NBR 12127/2017	ABNT NBR 13207/2017	≥ 600,0 Kg/m³	627,12 Kg/m³
Tempo de pega - Início	ABNT NBR 12128/2017	ABNT NBR 13207/2017	≤ 10 min	14,75 min
Tempo de pega - Final	ABNT NBR 12128/2017	ABNT NBR 13207/2017	≤ 20 min	21,85 min
Consistência Normal	ABNT NBR 12128/2017	ABNT NBR 13207/2017	30 ± 2 mm	30,5 mm à 0,53 de relação Água/gesso
Dureza	ABNT NBR 12129/2017	ABNT NBR 13207/2017	≥ 20,0 N/mm²	37,94 N/mm²
Resistência à compressão	ABNT NBR 12129/2017	ABNT NBR 13207/1994	≥ 8,4 MPa	14,76 MPa

ii. Avaliação no estado fresco

Quanto ao estado fresco da mistura, foi realizado o ensaio de início e fim de pega nos grupos de estudo, realizando 2 determinações como indica a norma [3]. Inicialmente seriam apenas 4 grupos de estudo e a referência, contudo, durante esse processo de ensaio no estado fresco foi observada a necessidade de adição do retardador de pega, originando-se os últimos 4 grupos da Tabela 1.

iii. Avaliação no estado endurecido

Para a avaliação no estado endurecido foram produzidos corpos de prova de cada grupo de estudo, sendo 3 corpos de prova por grupo, corpos de prova cúbicos de 50 mm de aresta conforme a NBR 12129 [4], totalizando 27 corpos de prova. Após a moldagem dos corpos de prova foram realizados os ensaios de dureza e resistência à compressão, para serem comparados com os valores mínimos indicados como requisitos para gesso para construção civil pela ABNT NBR 13207/2017 [5]. Apesar da norma ABNT NBR 13207/2017 [5] não indicar mais um parâmetro para a resistência à compressão no gesso, a norma anterior [8] indicava 8,4 MPa como referência, e por se tratar de um estudo para pré-moldado a avaliação da resistência à compressão é mais apropriada do que a de aderência, indicada na norma atual [5]; e para a dureza, o valor mínimo de 20,0 N/mm² [5].

iv. Avaliação de moldagem e acabamento

Durante a moldagem das placas para revestimento 3D, foram avaliadas a facilidade de moldagem e o acabamento superficial obtido, e considerando a possibilidade de reprodução das placas, as suas avaliações se deram ao comparar com a produção do grupo de referência, ao qual possibilitou uma moldagem rápida devido a fluidez da massa e um acabamento satisfatório visualmente, sem a presença de fissuras ou mal preenchimento da fôrma. Assim sendo, a classificação da inspeção se daria por favorável, ao assemelhar-se com o desempenho do grupo de referência; intermediário se ficasse similar, mas fosse observado menor fluidez na moldagem ou pequenas imperfeições no desmolde; e desfavorável quando apresentasse baixa fluidez na moldagem e imperfeições significativas visualmente na desforma.

3. RESULTADOS

3.1 Tempo de início e final de pega

Ao fim das determinações no ensaio de tempo de pega, apurou-se que o resíduo promoveu uma significativa diminuição no tempo de início e fim de pega, como é possível observar na Figura 1. Em relação à Referência (PRGP) foi observada uma redução expressiva, similarmente com o observado por Lopes [7] e Do Nascimento [6]. Foi possível quantificar que o grupo de estudo PRG-10-I alcançou a maior redução, chegando a 84% em relação à mistura de referência no início da pega e 81% no final de pega; enquanto o grupo PRG-5-I-R apresentou a menor redução com 77% de redução no início e 63% no final de pega, e ainda obtendo um intervalo entre o início e o fim de pega mais representativo que os outros grupos, como consta na Tabela 3, assemelhando-se com o grupo de referência com aproximadamente 32% de redução.

A influência da granulometria máxima mostrou-se pouco significativa nesta análise. A comparação dos tempos de início e fim de pega entre os grupos com igual teor de resíduo não foram evidenciadas diferenças substanciais ao variar a dimensão máxima do resíduo.

Com relação ao percentual de incorporação do resíduo, observou-se uma tendência de retardamento no tempo de início de pega à medida que o percentual era menor. Esse comportamento foi ainda mais evidente no tempo de fim de pega, indicando maior influência do resíduo na aceleração do fim de pega quando seu percentual é maior.

Com a adição do retardador de pega, apesar de esperar-se sua influência tanto no início, quanto no fim de pega, como observado por Do Nascimento [6], foi observado uma influência mais expressiva quanto ao fim de pega, aumentando o intervalo de trabalhabilidade da pasta e por consequência melhorando a qualidade da moldagem, e pouca influência no início de pega.

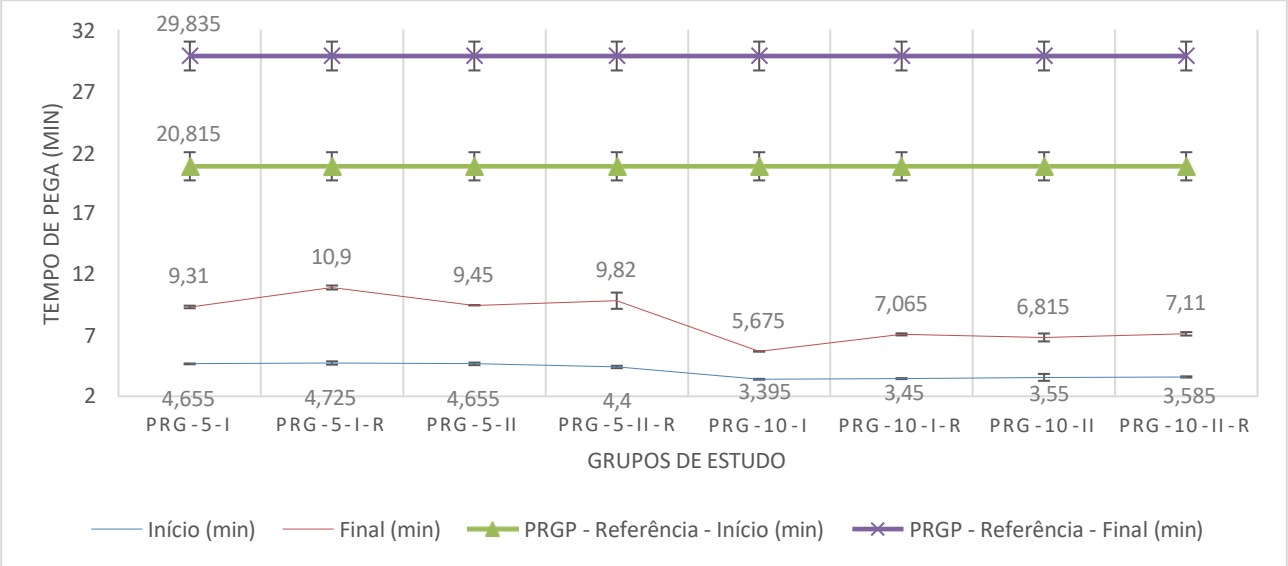


Figura 1 – Tempo de início e final de pega

Tabela 3 – Intervalo de tempo entre o início e final de pega e a variação quanto o grupo referência

Nomenclatura	Intervalo (min)	Variação quanto a referência
PRGP	9,02	0%
PRG-5-I	4,66	-48%
PRG-5-I-R	6,18	-32%
PRG-5-II	4,8	-47%
PRG-5-II-R	5,42	-40%
PRG-10-I	2,28	-75%
PRG-10-I-R	3,62	-60%
PRG-10-II	3,27	-64%
PRG-10-II-R	3,53	-61%

3.2 Dureza

Nos resultados da dureza, foi observada uma redução média de 9,75% nos corpos de prova com teor de 10%, enquanto uma média de aumento de até 8,5% foi observada nos corpos de prova com teor de 5%, enfatizando um aumento de até 16% nos corpos de prova do grupo PRG-5-I-R. Quanto ao que a norma indica como requisito mínimo a ser atendido de dureza de gesso para a construção civil de 20 N/mm², nenhum dos grupos de estudo alcançou esse valor como é possível observar na Figura 2, contudo a norma indica essa avaliação na consistência normal, onde a relação água/gesso é menor do que a utilizada nesse estudo, e em decorrência disso esse parâmetro tem efeito comparativo, mas não limitante devido ser feito utilizando uma relação água/gesso similar a utilizada em fábricas de produção de pré-moldados, com o intuito de compreender a viabilidade de reprodução desse estudo.

Quando observado quanto a dimensão máxima do resíduo implementado, foi observada uma diminuição nos valores do ensaio quanto menor fosse a granulometria máxima do resíduo implementado no grupo de estudo quando o teor era de 5%, enquanto com o teor de 10% não foi possível observar um padrão quanto a variação da dimensão do resíduo, especialmente por obterem resultados de dureza semelhantes entre si.

A influência da porcentagem de resíduo implementado foi característica de redução em relação à referência quando o teor era maior, e de aumento quando a implementação era em menor teor.

Quanto a adição da solução retardadora de pega foi observada uma tendência a aumentar a dureza quando nos grupos de 5% de teor de resíduo e uma diminuição quando nos grupos de teor de 10%, demonstrando um comportamento aparentemente inverso à proporção de resíduo, aumentando quando há menor concentração de resíduo e diminuindo quando há maior.

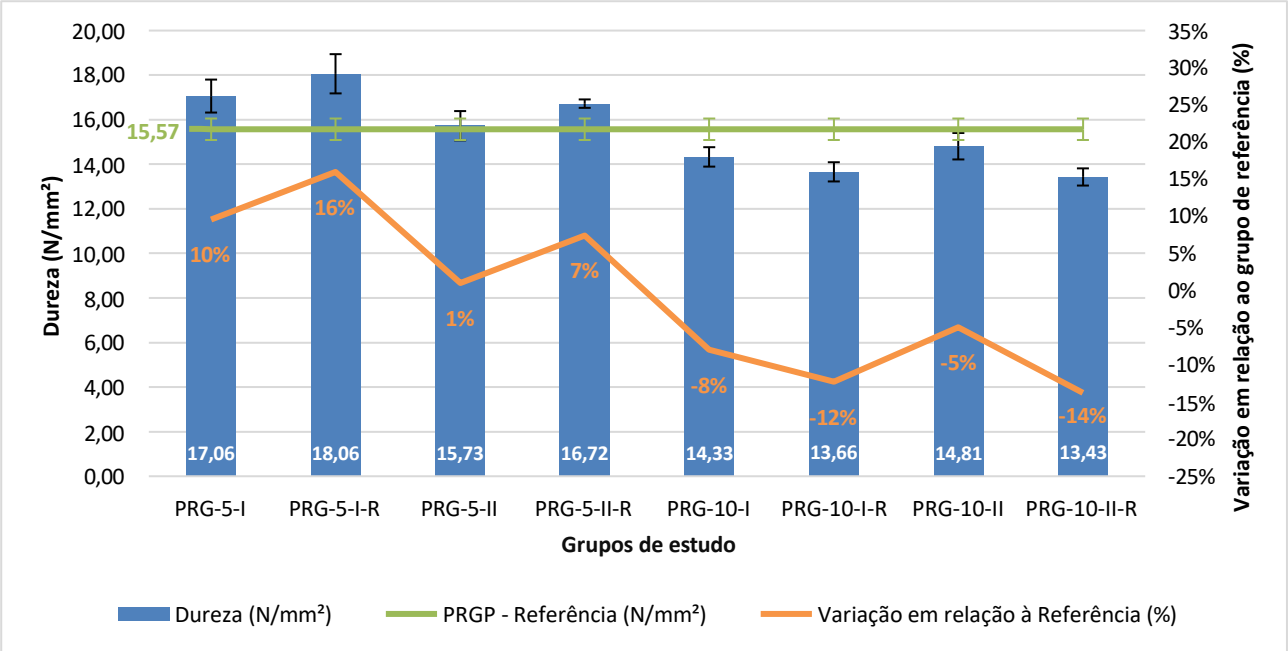


Figura 2 – Dureza e variação dos grupos de estudo em relação à referência

3.3 Resistência à compressão

Quanto a resistência à compressão, o resíduo interferiu numa redução média 31% nos corpos de prova com teor de 10% de incorporação, enquanto na incorporação de 5% a maior redução atingida entre os grupos foi de 14% no grupo PRG-5-II-R em relação à referência, como indica a Figura 3; além disso, o grupo de estudo PRG-5-I-R alcançou um aumento na resistência à compressão de aproximadamente 6% em relação à referência e foi o único grupo, incluindo a referência, que alcançou uma resistência à compressão maior que a mínima indicada na ABNT NBR 13207/1994 [8].

Quanto a granulometria máxima foram obtidos resultados que não seguiram um padrão similar ao encontrado por Lopes [7], pois enquanto ele observou que quanto maior a granulometria, menor era a resistência à compressão, os resultados nesse presente estudo não pôde evidenciar essa tendência, pois os grupos PRG-5-II e o PRG-10-II-R demonstraram resultados maiores de resistência à compressão quanto os grupos similares com granulometria máxima maior (PRG-5-I e PRG-10-I-R, respectivamente), enquanto os grupos PRG-5-I-R e PRG-10-I resultaram em resistências à compressão maiores que seus grupos similares que continham granulometria menor (PRG-5-II-R e PRG-10-II, respectivamente), logo não foi possível definir um padrão quanto ao comportamento sobre a resistência à compressão em virtude da granulometria máxima do resíduo.

Quanto a porcentagem do resíduo implementado, foi possível ver o mesmo padrão que Do Nascimento [6] e Lopes [7] observaram, pois quanto maior a porcentagem de resíduo menor é a resistência à compressão.

Enquanto Do Nascimento [6] conseguiu observar que o aditivo retardador de pega diminuía a resistência à compressão, o presente estudo observou variações na implementação do retardador de pega, sem que fosse possível determinar um padrão visível.

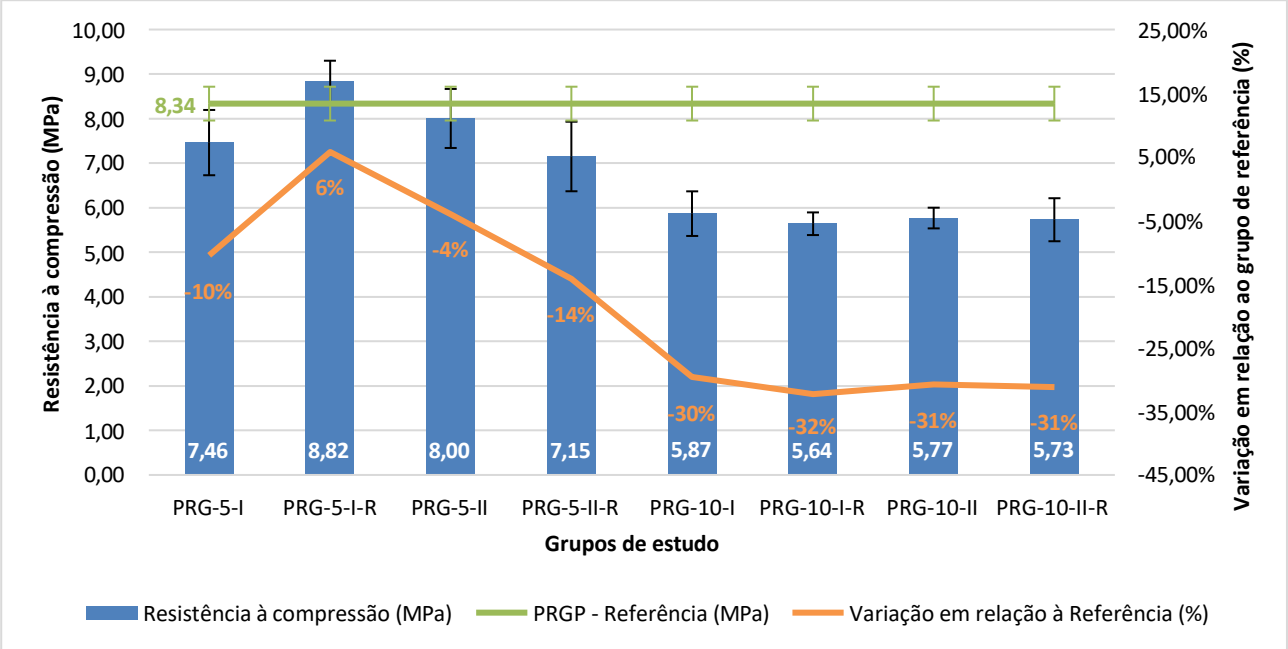


Figura 3 – Resistência à compressão e variação dos grupos de estudo em relação à referência

3.4 Moldagem e acabamento

Como é possível observar na Tabela 4, a moldagem obteve melhoria quanto a adição do retardador de pega, como citado anteriormente, contudo mesmo com o retardador de pega os grupos que possuíam teor de 10% não alcançaram a classificação como favorável, enquanto os grupos com teor de 5% não tiveram classificação desfavorável em nenhum quesito; de tal maneira que a moldagem e acabamento, das placas nos grupos PRG-5-II, PRG-5-I-R e PRG-5-II-R apresentaram semelhanças visuais com o grupo de referência, e entre estas, o grupo PRG-5-I-R apresentou desempenho melhor especialmente na moldagem em virtude do intervalo de tempo em que a pasta demonstrava fluidez. Ademais, nas Figura 4, Figura 5 e Figura 6 é possível visualizar as classificações adotadas em termos visuais.

Tabela 4 – Classificação quanto a moldagem e acabamento pós desforma das placas de revestimento 3D

Nomenclatura	Classificação quanto a moldagem	Classificação quanto ao acabamento
PRGP	Favorável	Favorável
PRG-5-I	Intermediário	Favorável
PRG-5-I-R	Favorável	Favorável
PRG-5-II	Favorável	Favorável
PRG-5-II-R	Favorável	Favorável
PRG-10-I	Desfavorável	Desfavorável
PRG-10-I-R	Intermediário	Intermediário
PRG-10-II	Desfavorável	Intermediário
PRG-10-II-R	Intermediário	Favorável

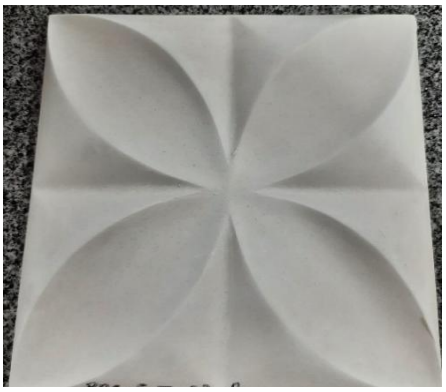


Figura 4 – Placa classificada como favorável em acabamento

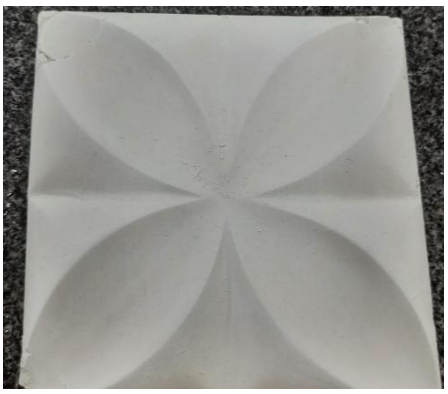


Figura 5 – Placa classificada como intermediário em acabamento

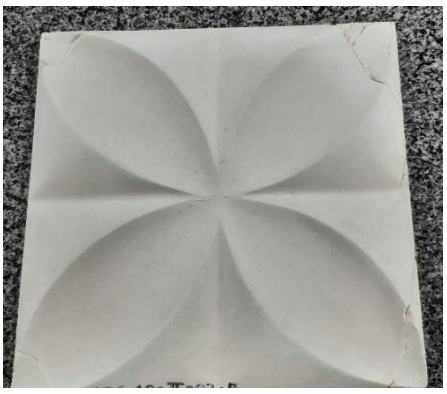


Figura 6 – Placa classificada como desfavorável em acabamento

4. CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos, a implementação do resíduo interferiu principalmente no processo de moldagem das placas, antecipando de maneira expressiva o tempo de pega. A análise da variação percentual de implementação do resíduo indicou que, em menores proporções, ele causa um impacto reduzido na diminuição das propriedades físicas, quando comparado à sua total ausência. Em relação à granulometria do resíduo, observou-se que a dimensão máxima de 2,36 mm apresentou desempenho superior à de 1,18 mm. Além disso, a adição de retardador de pega contribuiu positivamente para a melhoria da moldagem e do acabamento das peças, que foram os aspectos mais negativamente

afetados pelo resíduo. Quanto à viabilidade da implementação de resíduos de gesso na produção de placas de gesso para revestimento 3D, o grupo de estudo PRG-5-I-R revelou perspectivas promissoras, apontando para a viabilidade dessa alternativa como uma estratégia possível de destinação dos resíduos, com um produto que possui potencial para reintegração na construção civil.

REFERÊNCIAS

[1] CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 307**, 5 Julho de 2002. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305>. Acesso em: 25 Feb. 2022.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12127: **gesso para construção – determinação das propriedades físicas do pó**. Rio de Janeiro, 2019.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12128: **gesso para construção – determinação das propriedades físicas da pasta**. Rio de Janeiro, 2019.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12129: **gesso para construção civil – determinação das propriedades mecânicas**. Rio de Janeiro, 2019.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13207: **gesso para construção civil - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.

[6] DO NASCIMENTO, Armando Ferreira. **Aproveitamento do resíduo de gesso de construções como material alternativo para revestimento.** Dissertação parcial apresentado ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco. 2014.

[7] LOPES, Lucas Gama. **Estudo do uso de resíduo gesso na produção de tijolos maciços pré-moldados**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro. 53 f. 2018.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13207: **gesso para construção civil**. Rio de Janeiro, 1994.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-39

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

FORMA DE RUPTURA EM ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS EM ARGAMASSA

SILVA, Marcos Henrique Gomes[1]; SILVA, Mariana Alves[2]; PIRES, Laís Alves[3]; SOUZA, Jéssica Siqueira[4]

[1] Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil, henrique.marcos@aluno.unb.br, 0009-0000-9147-2692
[2] Instituto de Educação Superior de Brasília, Brasília - DF, Brasil, marianaa@iesb.edu.br, 0009-0009-4729-7626

RESUMO

O ensaio de resistência de aderência à tração direta de revestimentos em argamassa é amplamente utilizado para a avaliação do desempenho de sistemas aplicados em fachadas. Contudo, a avaliação normativa vigente desconsidera o tipo de ruptura observado na interpretação dos resultados, o que compromete a confiabilidade técnica das conclusões. Este artigo discute essa limitação com base na análise de 41 ensaios realizados em campo, conforme a ABNT NBR 13528-2. Para cada ensaio, determina-se a resistência média, os percentuais de ruptura, que são classificados como adesivos ou coesivos, e a avaliação segundo os critérios da ABNT NBR 13749. Os resultados evidenciam a predominância de rupturas coesivas, condição frequentemente observada em ensaios *in situ*, indicando que os valores obtidos refletem a fragilidade da argamassa, e não, necessariamente, a aderência entre as camadas. A análise revela inconsistências entre a aprovação normativa e a real condição de desempenho dos sistemas. A forma de ruptura deve integrar a interpretação dos ensaios como variável essencial, pois, quando considerada, é possível alinhar os critérios normativos à realidade construtiva e obter diagnósticos mais confiáveis.
Palavras-chave: fachada; argamassa; aderência; rupturas

ABSTRACT

The direct tensile bond strength test of mortar coatings is widely used to evaluate the performance of façade systems. However, the current standard assessment disregards the type of failure observed when interpreting the results, which undermines the technical reliability of the conclusions. This article discusses this limitation based on the analysis of 41 field tests conducted in accordance with ABNT NBR 13528-2. For each test, the average bond strength is determined, along with the percentage of failure types, classified as either adhesive or cohesive, and evaluated according to the criteria of ABNT NBR 13749. The results highlight the predominance of cohesive failures—a condition often observed in in-situ tests—indicating that the measured values reflect the fragility of the mortar rather than the adhesion between layers. The analysis reveals inconsistencies between normative approval and the actual performance condition of the systems. The failure mode should be included in the interpretation of test results as an essential variable, as its consideration allows for aligning normative criteria with construction realities and achieving more reliable diagnostics.
Keywords: facade; mortar; adhesion; ruptures

1. INTRODUÇÃO

O revestimento em argamassa desempenha função fundamental na edificação, especialmente em fachadas, tal como a proteção contra a ação de agentes climáticos, o isolamento térmico e acústico, a estanqueidade à água, a resistência ao fogo e a regularização das superfícies para acabamento [1, 2]. Trata-se de sistemas multicamadas complexas, cujo desempenho depende da composição dos materiais, das condições de aplicação, do comportamento das interfaces e das solicitações externas ao longo do tempo [3, 4]. Por se tratar de sistemas descontínuos e heterogêneos, os revestimentos argamassados apresentam comportamento mecânico frágil e não linear, devido à baixa resistência à tração e à aderência muitas vezes irregular entre as camadas [4]. Para assegurar a durabilidade e a integridade desses sistemas, a aderência entre a argamassa e o substrato se destaca como propriedade determinante, interferindo diretamente na resistência ao destacamento e ao surgimento de manifestações patológicas [5-7].

A aderência é definida como a capacidade do revestimento de resistir às tensões normais e tangenciais atuantes na interface com o substrato [8, 9]. Tal propriedade não é exclusivamente da argamassa, mas resulta da interação entre as camadas do sistema [10]. Assim, o desempenho e a confiabilidade do revestimento dependem diretamente da resistência de ligação com a base, devendo esta ser suficiente para suportar solicitações de serviço e ambientais [7, 11].

Nesse contexto, a avaliação da aderência é crucial tanto em sistemas recém-executados, para fins de aceitação, quanto em sistemas envelhecidos, para fins de diagnóstico e manutenção [12, 13]. O ensaio de resistência de aderência à tração direta, conforme ABNT NBR 13528-2 [14], é atualmente o método normalizado mais empregado para essa finalidade no Brasil. No entanto, embora amplamente difundido, o ensaio apresenta limitações interpretativas relevantes, especialmente em relação à forma de ruptura. Como discutido por diversos autores [15-17], os resultados de resistência devem ser analisados em conjunto com a identificação do tipo de ruptura: adesiva (na interface) ou coesiva (no interior da argamassa ou do substrato). Enquanto rupturas adesivas refletem diretamente a qualidade da ligação entre materiais e, portanto, a aderência do sistema, rupturas coesivas expressam a resistência interna dos materiais, não devendo ser interpretadas como medida da aderência [15]. Segundo Carasek [2], rupturas coesivas só são preocupantes se os valores forem muito baixos, enquanto rupturas adesivas com baixa resistência revelam potencial patológico elevado.

Apesar disso, na prática, observa-se que muitas vezes os valores de resistência à tração, independentemente da forma de ruptura, são utilizados como referência direta para aceitação técnica do revestimento [15]. Essa prática pode comprometer a confiabilidade da avaliação, mascarando falhas de aderência em sistemas que apresentam boa coesão interna, mas interface deficiente.

Diante desse cenário, este artigo propõe uma análise crítica da interpretação dos resultados obtidos em ensaios de resistência de aderência à tração em revestimentos de argamassa, com ênfase na ocorrência de rupturas coesivas. O objetivo da pesquisa é investigar se os valores obtidos em rupturas desse tipo representam, de fato, a aderência entre camadas, ou se refletem apenas a fragilidade interna da argamassa, comprometendo a leitura técnica do desempenho. Para isso, analisa-se um conjunto de 41 ensaios realizados *in situ,* considerando as resistências médias, a classificação das rupturas e os critérios normativos de aceitação. A partir dessa análise, busca-se discutir a validade dos parâmetros atualmente adotados e apontar a necessidade de reinterpretação dos critérios técnicos, com vistas à elaboração de diagnósticos mais coerentes com o comportamento físico-mecânico dos sistemas de revestimento em argamassa.

1.1 Ensaio de resistência de aderência à tração

O ensaio de resistência de aderência pelo método de tração direta é amplamente adotado na prática técnico-científica para a avaliação da ligação entre revestimentos em argamassa e substratos [18-20]. Esta metodologia está contemplada em diversas normas técnicas, nacionais e internacionais, com destaque para a NC 172 [21], BS EN 1015-12 [22], ABNT NBR 15258 [23], ASTM D 4541 [24], ASTM D 7234 [25] e, no Brasil, pela ABNT NBR 13528-2 [14]. A norma brasileira contempla o uso do ensaio tanto em laboratório quanto em campo.

O procedimento previsto na ABNT NBR 13528-2 [14] consiste na colagem de pastilhas metálicas circulares de 50 mm de diâmetro sobre uma área de argamassa previamente cortada e isolada do restante do revestimento. Após o tempo de cura do adesivo, o conjunto é submetido a esforço de tração por meio de equipamento mecânico ou hidráulico, que registra a força máxima aplicada até a ruptura. A resistência à tração é então calculada pela razão entre essa força e a área da pastilha, representando a tensão máxima suportada localmente. Cada ensaio é composto por 12 corpos de prova.

Os resultados devem ser expressos individualmente em megapascal (MPa), e acompanhados pela identificação das formas de ruptura com seus respectivos percentuais, uma vez que podem ocorrer rupturas mistas. A Figura 1 apresenta as formas típicas de ruptura em sistemas com camada de chapisco. A avaliação dos resultados segue os critérios da ABNT NBR 13749 [26], que estabelece, para revestimentos externos, que ao menos 8 dos 12 corpos de prova devem apresentar resistência igual ou superior a 0,30 MPa para que o sistema seja considerado conforme.

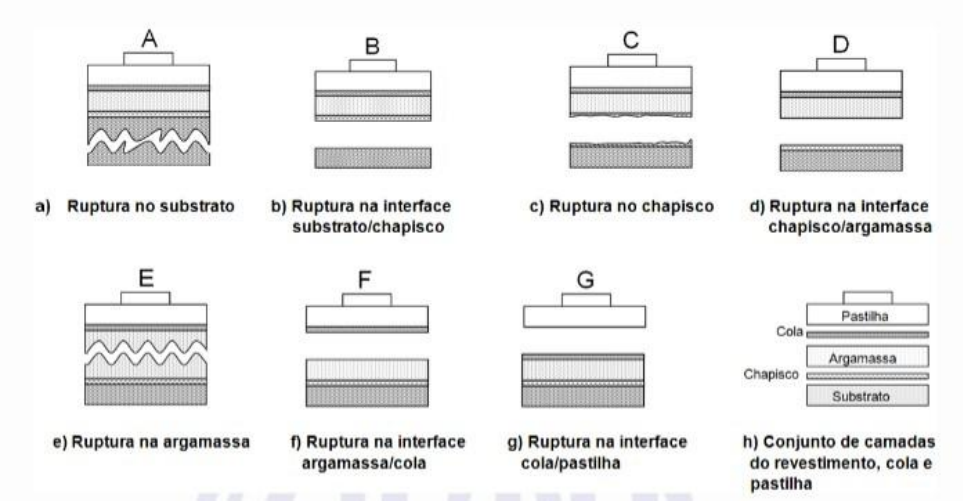


Figura 1 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco. Fonte: ABNT NBR 13528-2 (2019)

Apesar da ampla utilização, essa abordagem é alvo de críticas recorrentes na literatura devido à rigidez do critério mínimo adotado, originalmente estabelecido em 1996 e ainda não revisado [12, 19, 27]. Estudos apontam que sistemas em bom estado de conservação e sem manifestações patológicas são frequentemente reprovados pelos critérios normativos. Carasek *et al.* [12], por exemplo, identificam taxa de reprovação de 88% entre os revestimentos avaliados, mesmo sem ocorrência de falhas visíveis. De modo semelhante, Vaz e Carasek [19] mostram que 90% dos estudos de campo analisados em revisão sistemática não atendem ao critério de 0,30 MPa. No estudo de Silva *et al.* [20], 62,5% dos corpos de prova apresentaram resistência abaixo desse limite, ainda que muitos desses sistemas apresentassem bom desempenho em uso.

Diante dessas considerações, evidencia-se uma lacuna significativa na forma como os ensaios de resistência de aderência à tração são interpretados na prática técnica. A ausência de diretrizes normativas que considerem o tipo de ruptura como parte do julgamento técnico limita a precisão dos diagnósticos e pode induzir a decisões equivocadas sobre o desempenho dos sistemas. Nesse contexto, torna-se necessário aprofundar a discussão sobre a validade do uso de rupturas coesivas como critério de aceitação e refletir sobre os limites da abordagem normativa vigente, sobretudo frente à alta recorrência em ensaios realizados *in situ*.

2. METODOLOGIA

Este estudo analisa os resultados de 41 ensaios de resistência de aderência à tração realizados *in situ* em sistemas de revestimento em argamassa aplicados em fachadas de edifícios localizados em Brasília, Distrito Federal. Os ensaios foram executados por empresa especializada em inspeção de fachadas, e as respectivas fichas técnicas foram disponibilizadas para esta pesquisa.

A investigação concentra-se na caracterização das formas de ruptura observadas, na determinação dos valores de resistência média e na classificação normativa dos ensaios com base nos critérios da ABNT NBR 13749 [26]. Para isso, cada amostra foi analisada quanto à resistência individual, forma predominante de ruptura e espessura da camada de argamassa. A parametrização adotada para organização e análise dos dados está ilustrada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**.

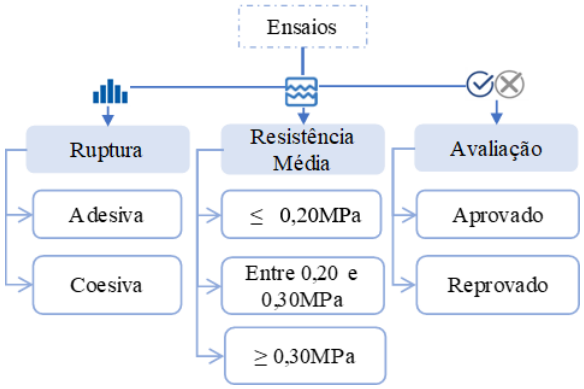


Figura 2 –Parametrização metodológica. Fonte: Autores (2024)

Quanto às formas de ruptura, alguns pesquisadores [2,15] destacam que a distinção entre as rupturas é essencial, pois rupturas coesivas, por ocorrerem no interior da argamassa ou do substrato, tendem a representar menor grau de criticidade, a menos que associadas a valores muito baixos de resistência. Em contrapartida, rupturas adesivas, localizadas na interface indicam falha potencial na ligação entre o revestimento e o substrato, devendo ser interpretadas com maior preocupação. Com base nessas distinções mecânicas, as amostras de cada ensaio foram classificadas como adesivas ou coesivas, sendo posteriormente obtidos os percentuais correspondentes a cada tipo de ruptura.

No grupo de rupturas adesivas, foram incluídas as classificações B, C e D, que representam falhas na aderência entre o revestimento e o substrato. Embora o chapisco seja constituinte do sistema, este não configura uma camada estrutural, sendo classificado como técnica de preparo da base com a função de uniformizar a absorção de água e aumentar a rugosidade superficial, favorecendo a adesão da argamassa [28, 29]. Assim, falhas localizadas no chapisco também foram consideradas como rupturas adesivas.

As rupturas classificadas como A, E e F compõem o grupo de rupturas coesivas. A ruptura do tipo F, embora ocorra na interface entre a argamassa e a cola, está associada à baixa coesão da superfície do revestimento, sendo, portanto, atribuída à argamassa. Por esse motivo, esta é considerada coesiva para fins analíticos, pois reflete a integridade da camada superficial, e não tem interface com o substrato. Já as rupturas do tipo G, que ocorrem entre a pastilha e a cola são consideradas inválidas conforme a ABNT NBR 13528-2 [14], devendo ser substituídas por novos corpos de prova.

Para fins de análise, as resistências médias obtidas nos ensaios foram organizadas em faixas, com base em valores de referência presentes na literatura. O valor de 0,30 MPa é estabelecido como limite mínimo de aceitação pela ABNT NBR 13749 [26], sendo adotado como critério normativo para aprovação de sistemas de revestimento. No entanto, diversos pesquisadores [12,19, 27], apontam que esse valor é excessivamente rigoroso e não reflete, necessariamente, o desempenho real dos revestimentos em uso, especialmente quando os resultados estão associados a rupturas coesivas. Nesse contexto, Flores *et al.* [30] apontam que um critério mais flexível, limites mínimos de resistência a partir de 0,20 MPa, pode alinhar-se melhor à realidade prática dos sistemas de revestimento, considerando a alta variabilidade inerente aos ensaios. Dessa maneira, as resistências médias são analisadas em três faixas distintas: abaixo de 0,20 MPa, entre 0,20 e 0,30 MPa e acima de 0,30 MPa.

Por fim, a avaliação dos ensaios é realizada com base nos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 13749 [26], que define que, para revestimentos externos, um sistema é considerado aprovado quando, em um conjunto de 12 corpos de prova ao menos 8 apresentam resistência igual ou superior a 0,30 MPa. Dessa forma, cada um dos 41 ensaios foi classificado como aprovado ou reprovado, conforme o atendimento do critério.

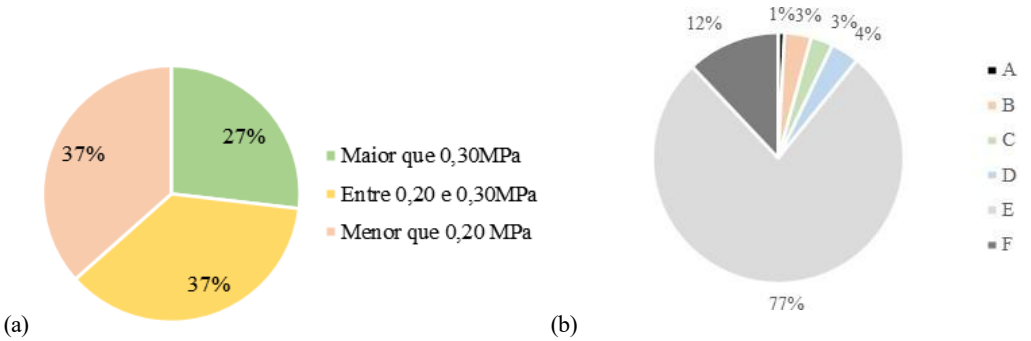
3. RESULTADOS

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados referentes aos 41 ensaios de resistência de aderência à tração. Os dados incluem a resistência média obtida, os percentuais de rupturas coesivas e adesivas em cada ensaio, bem como a respectiva

avaliação conforme os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 13749 [26]. Já a Figura 3 ilustra a distribuição espacial dos locais de fratura das amostras, além da variação das resistências médias observadas.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de resistência a aderência à tração, considerando resistência média.

Ensaio	Resistência Média (MPa)	Avaliação Normativa	Rupturas Coesivas	Rupturas Adesivas
1	0,32	Reprovado	100%	0%
2	0,16	Reprovado	100%	0%
3	0,19	Reprovado	75%	25%
4	0,46	Aprovado	100%	0%
5	0,40	Aprovado	92%	8%
6	0,15	Reprovado	100%	0%
7	0,35	Reprovado	100%	0%
8	0,12	Reprovado	100%	0%
9	0,25	Reprovado	100%	0%
10	0,03	Reprovado	100%	0%
11	0,27	Reprovado	100%	0%
12	0,26	Reprovado	100%	0%
13	0,16	Reprovado	100%	0%
14	0,16	Reprovado	100%	0%
15	0,15	Reprovado	75%	25%
16	0,19	Reprovado	100%	0%
17	0,32	Aprovado	92%	8%
18	0,17	Reprovado	33%	67%
19	0,17	Reprovado	92%	8%
20	0,24	Reprovado	100%	0%
21	0,38	Aprovado	100%	0%
22	0,20	Reprovado	75%	25%
23	0,38	Reprovado	100%	0%
24	0,27	Reprovado	100%	0%
25	0,22	Reprovado	100%	0%
26	0,25	Reprovado	67%	33%
27	0,27	Reprovado	83%	17%
28	0,23	Reprovado	92%	8%
29	0,19	Reprovado	83%	17%
30	0,19	Reprovado	83%	17%
31	0,17	Reprovado	92%	8%
32	0,29	Reprovado	100%	0%
33	0,34	Aprovado	92%	8%
34	0,41	Aprovado	58%	42%
35	0,45	Aprovado	67%	33%
36	0,26	Reprovado	100%	0%
37	0,31	Reprovado	100%	0%
38	0,21	Reprovado	100%	0%
39	0,27	Reprovado	83%	17%
40	0,22	Reprovado	100%	0%
41	0,16	Reprovado	58%	42%



(a) (b)

Figura 2 – Distribuição específica dos locais da fratura das amostras (a) e distribuição das resistências médias (b)

Os dados revelam uma predominância expressiva de rupturas coesivas, que ocorrem no interior da argamassa ou do substrato. 56% dos ensaios apresentaram 100% de rupturas coesivas, e apenas um ensaio apresentou maior proporção de rupturas adesivas. O tipo de ruptura mais recorrente foi a classificação E, responsável por 77% das seguidas pela ruptura do tipo F (12%), que estão ilustradas na
Figura *3*. Ambas se relacionam à fragilidade da argamassa e, portanto, não representam diretamente falhas na interface de aderência, o que compromete a utilização direta desses valores para fins de avaliação da ligação entre o revestimento e o substrato.



(a) Tipo E (frontal) **(b)** Tipo E (lateral) **(c)** Tipo F (frontal)

Figura 3 – Exemplo de tipo de ruptura

De forma geral, espera-se que as interfaces entre o revestimento e o substrato sejam as regiões mais críticas em sistemas multicamadas, devido à incompatibilidade entre as propriedades físicas dos materiais, como módulo de elasticidade, resistência mecânica e coeficiente de dilatação térmica. Essas diferenças promovem concentração de tensões, aumentando a probabilidade de falha na interface. No entanto, os resultados obtidos neste estudo, indicam que as rupturas coesivas predominam em ensaios realizados em campo, o que sugere que a argamassa pode ser a camada de menor desempenho mecânico no sistema, e não a interface.

Do ponto de vista normativo, observa-se que apenas 17% dos ensaios atendem aos critérios mínimos estabelecidos pela ABNT NBR 13749 [26]. Em termos de resistência média, 27% apresentam valores superiores a 0,30 MPa, ou seja, dez ensaios registraram resistência acima do critério mínimo, mas ainda assim foram considerados reprovados. Esta reprovação ocorreu, sobretudo, em casos de rupturas predominantemente coesivas. Verifica-se também que 37% dos ensaios apresentaram resistência média superior a 0,20 MPa. Embora esses valores estejam abaixo do critério vigente, podem ser considerados aceitáveis quando associados a rupturas coesivas, uma vez que indicam falha no interior da argamassa e não na interface com o substrato.

A predominância de rupturas coesivas em testes *in situ* foi igualmente observada por Flores *et al.* [31], Ruduit [13], Silva *et al.* [20] e Carasek *et al.* [12]. Quando as rupturas são coesivas, o ensaio fornece apenas um valor de resistência mínima para a aderência, sem garantir que essa seja a real capacidade da interface de resistir aos esforços de tração. Normas como a ABNT NBR 13528-2 [14] e a BS EN 1015-12 [22] reconhecem essa limitação, recomendando que os resultados obtidos em rupturas coesivas sejam interpretados como limites inferiores. Segundo Manawadu *et al.* [16], nesses casos, os ensaios podem subestimar a real resistência da ligação, conduzindo a interpretações conservadoras e, por vezes, equivocadas. Do ponto de vista da ciência dos materiais, argamassas possuem comportamento mecânico frágil e são sensíveis à presença

de defeitos que influenciam diretamente sua resistência à tração [12]. Assim, quando a ruptura ocorre internamente, a resistência medida está mais relacionada à coesão do material do que à qualidade da aderência entre camadas.

A ausência de critérios normativos que considerem o tipo de ruptura compromete a confiabilidade dos diagnósticos realizados a partir desses ensaios. A ABNT NBR 13749 [26] não diferencia a natureza da ruptura ao classificar os sistemas como aprovados ou reprovados, o que pode conduzir a interpretações imprecisas sobre o desempenho do revestimento. Como demonstrado neste estudo, a adoção exclusiva de valores médios pode não refletir a real condição da interface, sobretudo quando as rupturas se concentram no interior da argamassa. Reforçam-se, assim como apontado por Nakakura *et al.* [27], Carasek *et al.* [12] e Vaz e Carasek [19], as limitações do critério normativo vigente, que tende a penalizar sistemas que, apesar de apresentarem bons níveis de desempenho funcional e ausência de manifestações patológicas, não atendem aos limites estabelecidos para resistência à tração.

Dessa forma, a problemática central evidenciada por este estudo reside na contradição entre a forma de ruptura observada e a interpretação normativa atribuída aos resultados. A predominância de rupturas coesivas em ensaios realizados *in situ* sinaliza que os valores de resistência obtidos não representam, necessariamente, a capacidade da interface de resistir aos esforços de tração. Ao desconsiderar a camada crítica envolvida na ruptura, a metodologia atual fragiliza a avaliação técnica da aderência, podendo levar a reprovações injustificadas e decisões equivocadas de intervenção. Tal constatação reforça a necessidade de revisão dos critérios normativos, incorporando a forma de ruptura como variável fundamental na análise, de modo a promover diagnósticos mais precisos, representativos e coerentes com o comportamento real dos sistemas de revestimento.

4. CONCLUSÃO

A análise da resistência de aderência à tração em revestimentos de argamassa, sob a perspectiva das rupturas coesivas, evidencia fragilidades importantes nos procedimentos atualmente adotados para avaliação do desempenho desses sistemas. Os resultados obtidos neste estudo revelam uma predominância de rupturas coesivas nos ensaios realizados em campo, reforçando a necessidade de repensar a forma como os dados são interpretados na prática técnica. A interpretação tradicional, fundamentada exclusivamente nos valores de resistência, mostra-se limitada diante da complexidade que caracteriza o comportamento real dos revestimentos aplicados *in situ.*

A prática normativa vigente, ao desconsiderar a forma de ruptura na análise técnica, compromete a confiabilidade do ensaio como ferramenta diagnóstica. Quando a ruptura ocorre no interior da argamassa, os valores obtidos não representam, necessariamente, a resistência da interface, que é o aspecto central da avaliação de aderência. Dessa forma, a leitura isolada da tensão de ruptura pode conduzir a interpretações equivocadas sobre a integridade do sistema.

Essa limitação se torna ainda mais relevante diante da recorrência de reprovações em sistemas que, do ponto de vista funcional, podem não apresentar manifestações patológicas. Considerando que este é o principal ensaio empregado na avaliação da aderência, a ausência de critérios técnicos que orientem adequadamente a leitura dos resultados elevam o risco de diagnósticos inconsistentes. Em muitos casos, uma interpretação mais realista passa a depender exclusivamente da experiência e do julgamento técnico do profissional responsável, o que evidencia a subjetividade imposta pela lacuna normativa. A dissociação entre o resultado normativo e o desempenho observado em campo reforça a necessidade de revisão urgente dos critérios atualmente utilizados, incorporando variáveis qualitativas, como o tipo de ruptura, no processo de interpretação.

Portanto, é imprescindível que futuras atualizações normativas avancem no reconhecimento da forma de ruptura como variável-chave na análise da resistência de aderência à tração. Uma abordagem mais criteriosa, que considere não apenas a magnitude do valor medido, mas também o local e o mecanismo da fratura, é fundamental para garantir diagnósticos mais coerentes com o comportamento físico-mecânico real dos sistemas de revestimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido, o qual foi fundamental para a realização e continuidade desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] Carvalho, K. P.; De Almeida, É. S.; De Albuquerque, A. C. **Avaliação do desempenho de colas utilizadas em ensaios de resistência de aderência à tração de argamassa para revestimento**. In: 6° Seminário Mato-grossense de Habitação de Interesse Social, 6., Mato Grosso. p. 48–58, 2015. DOI: https://dx.doi.org/10.37885/230312353

[2] Carasek, H. Argamassas. In: Isaia, G. C. (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: IBRACON, v. 2, cap. 28, p. 893–944, 2010.

[3] Nogueira, R.; Pinto, A. P. F.; Gomes, A**. Design and behavior of traditional lime-based plasters and renders. Review and critical appraisal of strengths and weaknesses.** Cement and Concrete Composites, v. 89, p. 192–204, mar. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.03.005

[4] Souza, J. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 139 f. 2019.

[5] Paulino, R. S.; Maron, M. D. R. D. M.; Costa, D. **Avaliação da resistência de aderência de revestimento de argamassa em prismas de bloco cerâmico mediante a aplicação de cargas de compressão**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Paraíba, 2023.

[6] Silva, A. C. M.; Santos, C.; Rosal, P.; Correa, P.; Silva, A. J. C. **Análise em obra da resistência de aderência de revestimentos de argamassa preparadas com água e solução de cal sobre chapisco umedecido com água e solução de cal.** In: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, São Paulo, 2017.

[7] Lima, N. B. *et al.* **A chemical approach to the bond ability of cement-based mortars with metakaolin applied to solid substrates. Journal of Building Engineering**, v. 65, n. 105643, abr. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105643

[8] Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13528-1: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 2019.

[9] Carasek, H.; Vaz, F. H.; Cascudo, O. **Statistical analysis of test methods to evaluate rendering surface properties.** Ambiente Construído, v. 18, p. 87–105, 2018.

[10] Bernardo, H. M.; Romano, R. C. O.; Cincotto, M. A.; Pileggi, R. G. **Efeito da absorção de água e do tipo de substrato no desempenho de argamassa de revestimento nos estados fresco e endurecido**. Ambiente Construído, v. 20, p. 493–511, 2020.

[11] Vaz, F. H. B. **Estudos sobre resistência de aderência de revestimentos de argamassa: análise de literatura, matemáticas e estatísticas.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de Goiás, 289 f., 2014.

[12] Carasek, H.; Malagoni, M.; Terra, V.; Girardi, A.; Araújo, R. **Análise de resultados de resistência de aderência de revestimentos de argamassa obtidos em obras.** In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, São Paulo, 2017.

[13] Ruduit, F. R. **Contribuição ao estudo da aderência de revestimentos de argamassa e chapiscos em substrato de concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 175 f., 2009.

[14] Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13528-2: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração – Parte 2: Aderência ao substrato.** Rio de Janeiro, 2019.

[15] Campos, M. D. O**. Estudo da resistência de aderência à tração e ao cisalhamento de revestimentos de argamassa em substratos de concreto**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de Goiás, 325 f., 2014.

[16] Manawadu, A.; Qiao, P.; Wen, H. **Characterization of substrate-to-overlay interface bond in concrete repairs: a review.** Construction and Building Materials, v. 373, n. 130828, mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130828

[17] Moura, C. B.; Bonin, L. C.; Masuero, A. B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco.** In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Curitiba, 2009.

[18] Melo, A. C.; Silva, A. C.; Torres, S. M.; Delgado, J. P. M. Q.; Azevedo, A. C. **Influence of the contact area in the adherence of mortar–ceramic tiles interface.** Construction and Building Materials, v. 243, n. 118274, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118274

[19] Vaz, F. H. B.; Carasek, H. **Resistência de aderência de revestimentos de argamassa – contribuição por meio de mapeamento e revisão sistemática de literatura para futuras pesquisas no tema.** Cerâmica, v. 65, n. 374, p. 303–318, jun. 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132019653742508

[20] Silva, A. J. C. e.; Mota, J. M. F.; Barbosa, F. R. **Avaliação da influência da altura na resistência de aderência de argamassas de revestimento aplicadas por projeção mecânica.** In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, 2013.

[21] Oficina Nacional de Normalização. **NC 172: Resistencia a la adherencia por tracción**. Havana, 2002.

[22] British Standard. **BS EN 1015-12: Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates**. London, 2016.

[23] Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15258: Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 2021.

[24] ASTM International. **ASTM D4541: Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers.** USA, 2022.

[25] ASTM International. **ASTM D7234: Standard test method for pull-off adhesion strength of coatings on concrete using portable pull-off adhesion testers**. USA, 2022.

[26] Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação.** Rio de Janeiro, 2013.

[27] Nakakura, E.; Munhoz, F.; Battagin, A. **Evolução da aderência em sistema de revestimento de argamassa.** In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2008, Curitiba.

[28] Pereira, C. H. D. A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa.** Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 217 f., 2007.

[29] Bauer, E. **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades.** In: Bauer, E. (ed.). Brasília: LEM-UnB, v. 1, cap. 1, p. 7–13, 2005.

[30] Flores-Colen, I.; De Brito, J.; De Freitas, V. P.; Hawreen, A. **Reliability of in-situ diagnosis in external wall renders. Construction and Building Materials**, v. 252, n. 119079, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119079

[31] Flores-Colen, I.; De Brito, J.; Branco, F. **In situ adherence evaluation of coating materials.** Experimental Techniques, v. 33, p. 51–60, jun. 2009. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.2008.00372.x

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-48

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

GÊMEOS DIGITAIS COMO FERRAMENTA PARA ALCANÇAR METAS ESG NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ANÁLISE INTEGRATIVA

NEVES, Pablo do Nascimento[1]; MATOS, Vitor Vinicius Rodrigues de[2]; PEREIRA, Cláudio Henrique de Almeida Feitosa[3]

[1] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, pablonascimento44@gmail.com, 0000-0002-5392-0367
[2] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, perito.engvitor@gmail.com, 0000-0002-7340-8993
[3] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, claudiopereira@unb.br, 0000-0003-2170-0068

RESUMO

Este artigo investiga o potencial dos gêmeos digitais (digital twins) na construção civil para promover práticas ESG (Ambientais, Sociais e de Governança). A partir de uma revisão da literatura, análise normativa e um estudo de caso qualitativo, evidencia-se como essa tecnologia pode catalisar a redução de emissões de carbono, o aumento da eficiência energética e a melhoria da segurança e bem-estar dos ocupantes. Destaca-se que a adoção de gêmeos digitais, quando alinhada a certificações (LEED, BREEAM) e à prática recomendada ABNT PR 2030, acelera o cumprimento de metas ambientais e sociais, fortalecendo a governança por meio da transparência e rastreabilidade de dados. Ao integrar conceitos de BIM (Building Information Modeling), IoT (Internet of Things) e algoritmos de otimização, os gêmeos digitais emergem como uma estratégia fundamental para o setor, alinhando inovação, competitividade e responsabilidade corporativa. O trabalho conclui discutindo a necessidade de políticas de incentivo e direcionando futuras pesquisas para a quantificação de benefícios financeiros e de governança.

Palavras-chave: ESG; gêmeos digitais; sustentabilidade; inovações tecnológicas.

ABSTRACT

This article investigates the potential of digital twins in the construction industry to foster ESG (Environmental, Social, and Governance) practices. Through a literature review, normative analysis, and a qualitative case study, it highlights how this technology can catalyze carbon emission reductions, increased energy efficiency, and improved occupant safety and well-being. The study emphasizes that aligning digital twin adoption with certifications (LEED, BREEAM) and the ABNT PR 2030 recommended practice expedites the achievement of environmental and social targets while reinforcing governance through enhanced data transparency and traceability. By integrating BIM (Building Information Modeling), IoT (Internet of Things), and optimization algorithms, digital twins emerge as a key strategy for the industry, aligning innovation, competitiveness, and corporate accountability. The paper concludes by discussing the need for incentive policies and directing future research toward quantifying financial and governance benefits.

Keywords: ESG; digital twin; sustainability; technological innovation.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia e a intensificação de eventos climáticos extremos posicionam o setor da construção civil em um ponto crítico. Responsáveis por uma parcela expressiva do consumo de energia global e das emissões de gases de efeito estufa, as edificações representam um desafio central para o cumprimento de metas climáticas globais. Nesse cenário, a adoção de práticas Ambientais, Sociais e de Governança (ESG) transcende a conformidade regulatória, tornando-se um imperativo estratégico para o desenvolvimento sustentável e a resiliência do setor [1].

A indústria da construção impacta o meio ambiente em todo o ciclo de vida dos projetos. Em resposta, o mercado tem valorizado empresas que integram os pilares ESG em suas operações, buscando equilibrar desenvolvimento econômico, justiça social e proteção ambiental para agregar valor a investidores e à sociedade [2].

Neste contexto, os Gêmeos Digitais (Digital Twins – DT) emergem como uma tecnologia disruptiva. Um DT é uma réplica virtual dinâmica de um ativo físico, atualizada em tempo real com dados de sensores, que permite simulações, análises preditivas e otimização de desempenho [3]. Embora sua aplicação na construção civil ainda enfrente barreiras como custos de implementação e interoperabilidade, seu potencial para ganhos de eficiência e sustentabilidade é amplamente reconhecido [4, 5].

A integração de Gêmeos Digitais com Building Information Modeling (BIM) e Internet of Things (IoT) habilita um controle preciso de recursos e um monitoramento contínuo das condições de segurança e conforto. Essas capacidades estão diretamente alinhadas aos pilares ESG e aos requisitos de certificações e normas [1, 2].

Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar e sintetizar a intersecção entre a aplicação de Gêmeos Digitais na construção civil e as práticas ESG. Para tal, busca-se: (i) estruturar os benefícios e desafios da tecnologia sob a ótica de cada pilar ESG, com base na literatura recente; (ii) correlacionar suas funcionalidades com os requisitos normativos; e (iii) ilustrar sua aplicabilidade por meio dos estudos de casos da literatura. Espera-se que esta análise integrativa sirva como um referencial para que organizações implementem a tecnologia de forma estratégica, alinhando inovação a um ecossistema construtivo mais sustentável.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O conceito de Gêmeos Digitais (Digital Twins) descreve uma representação virtual e dinâmica de um ativo físico, processo ou sistema. Esse elo "físico-virtual" é alimentado continuamente por dados de sensores, o que viabiliza análises preditivas e otimização de desempenho [3]. Originada na indústria aeroespacial, a tecnologia expandiu-se para a construção civil, onde promete revolucionar a gestão do ciclo de vida das edificações [1, 4].

A relevância dos DT para a agenda ESG na construção civil é acentuada pela magnitude do impacto ambiental do setor. A tecnologia atua como um catalisador para a sustentabilidade, permitindo o rastreamento de emissões e a otimização do consumo de recursos [1]. No pilar Social, contribui para ambientes mais seguros e saudáveis [4]. Em Governança, promove a transparência e a conformidade com normas, como as da série ISO [1], fator cada vez mais exigido por stakeholders [2].

A funcionalidade dos Gêmeos Digitais é potencializada pela sua integração com BIM e IoT. Em edifícios, um DT pode ajustar dinamicamente os sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC, do inglês Heating, Ventilation, and Air Conditioning) com base em dados de ocupação e condições climáticas, otimizando o balanço entre eficiência energética (pilar Ambiental) e conforto dos usuários (pilar Social) [5].

A associação dos DT a certificações (LEED, BREEAM) e normativas, como a ABNT PR 2030 [2], cria um framework robusto para a implementação e verificação de práticas sustentáveis. Essas diretrizes fornecem indicadores-chave de desempenho (KPIs) que podem ser monitorados de forma automatizada pelo Gêmeo Digital, facilitando auditorias e promovendo uma cultura de melhoria contínua.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa, fundamentada em uma metodologia de três etapas sequenciais: (i) uma revisão estruturada da literatura para mapear o estado da arte; (ii) uma análise de arcabouços normativos e de certificação; e (iii) estudos sobre a escalabilidade da tecnologia.

3.1 Etapa 1: Revisão Estruturada da Literatura

O processo de seleção ocorreu em duas fases. Inicialmente, os 6.953 artigos identificados passaram por uma triagem de títulos e resumos, o que resultou em uma amostra de 144 trabalhos para análise de elegibilidade. Em uma segunda fase, esses artigos foram avaliados integralmente quanto à sua aderência temática e contribuição, culminando na seleção de um portfólio estratégico e complementar de 5 publicações-chave.

Este portfólio foi composto para garantir uma cobertura abrangente do tema, incluindo trabalhos que oferecem visões gerais e propõem frameworks estruturantes, como a revisão de Boukaf et al. [3] sobre a previsão de consumo energético (pilar Ambiental) e o framework de Ohueri et al. [1] para a descarbonização de edifícios (pilar de Governança).

Para ilustrar a aplicação prática, foram selecionados os estudos de Hu & Assaad [4], focado no monitoramento da qualidade do ar (pilar Social), e de Tan et al. [5], que demonstra a otimização da eficiência energética em sistemas de iluminação (pilar Ambiental). Por fim, para abordar a escalabilidade da tecnologia, o trabalho de Bocullo et al. [6] foi incluído por sua análise da aplicação de Gêmeos Digitais na renovação de quarteirões urbanos com fontes de energia renováveis.

3.2 Etapa 2: Análise Normativa e de Certificações

Realizou-se uma análise documental da Prática Recomendada ABNT PR 2030:2022 [2] e dos critérios das certificações LEED e BREEAM, para mapear sinergias entre suas exigências e as funcionalidades dos Gêmeos Digitais.

3.3 Etapa 3: Aplicações da Literatura

Os estudos de caso e frameworks apresentados nos artigos foram utilizados como base para demonstrar, de forma prática, como os Gêmeos Digitais atendem aos pilares ESG em contextos reais, conferindo validação aos achados teóricos.

4. RESULTADOS

A aplicação da metodologia permitiu estruturar os resultados em três eixos complementares.

4.1 Síntese da Revisão da Literatura

A análise do portfólio de artigos selecionados revela que os Gêmeos Digitais são instrumentos para a agenda ESG. Os trabalhos de revisão, como os de Boukaf et al. [3] e Ohueri et al. [1], estabelecem o estado da arte, demonstrando que os DT são fundamentais para a previsão e otimização do consumo de energia e para a criação de frameworks de descarbonização alinhados a padrões internacionais.

As aplicações práticas, como as de Hu & Assaad [4] e Tan et al. [5], materializam esses conceitos, mostrando como o monitoramento em tempo real da qualidade do ar e a gestão inteligente da iluminação podem gerar benefícios tangíveis para o bem-estar dos ocupantes (Social) e para a eficiência de recursos (Ambiental). Por fim, o estudo de Bocullo et al. [6] indica o potencial de escalabilidade da tecnologia para o planejamento urbano sustentável.

4.2 Análise Normativa e de Certificações

A norma ABNT PR 2030 [2] estabelece diretrizes para a gestão ESG. Os Gêmeos Digitais respondem a esses requisitos ao fornecerem dados quantitativos para o monitoramento de indicadores ambientais (consumo de recursos, emissões), sociais (segurança, conforto) e de governança (rastreabilidade, conformidade). De forma similar, as certificações LEED e BREEAM valorizam a medição, verificação e comissionamento contínuo do desempenho dos edifícios, processos que são vastamente simplificados e aprimorados pela implementação de um Gêmeo Digital.

4.3 Análise de Aplicações Ilustrativas na Literatura

A aplicabilidade prática dos conceitos discutidos é evidenciada nos próprios estudos que compõem o portfólio desta revisão, que demonstram implementações desde a escala de sistemas prediais até o planejamento urbano.

No pilar Ambiental, por exemplo, o estudo de Tan et al. [5] detalha a aplicação de um Gêmeo Digital para otimizar a eficiência energética de sistemas de iluminação em tempo real, resultando em economia mensurável de recursos. Em uma escala mais ampla, Bocullo et al. [6] ilustram como a tecnologia pode ser usada para planejar a renovação de quarteirões urbanos, simulando cenários para integrar fontes de energia renováveis e otimizar o desempenho energético do conjunto.

No pilar Social, o trabalho de Hu & Assaad [4] apresenta um framework validado para o monitoramento contínuo da qualidade do ar interno. Ao visualizar dados em tempo real e integrá-los a um modelo BIM, o Gêmeo Digital contribui diretamente para a criação de ambientes mais saudáveis e seguros para os ocupantes, permitindo uma gestão proativa da saúde e do bem-estar.

No eixo de Governança, os frameworks propostos, como o de Ohueri et al. [1] alinhado a normas ISO, e as plataformas de monitoramento, como a de Hu & Assaad [4], exemplificam como os Gêmeos Digitais centralizam dados, aumentam a rastreabilidade e fornecem uma base sólida para decisões de gestão e para a demonstração de conformidade, fortalecendo a transparência das operações perante stakeholders.

5. DISCUSSÃO

Os resultados corroboram o potencial dos Gêmeos Digitais como uma tecnologia habilitadora para os objetivos ESG na construção civil. A literatura selecionada demonstra a capacidade dos DT de não apenas otimizar sistemas isolados, como iluminação [5], mas também de fornecer frameworks abrangentes para a gestão energética e a descarbonização [1, 3].

A análise integrativa deste estudo avança ao conectar explicitamente essas capacidades com os frameworks normativos (ABNT PR 2030) e de certificação (LEED, BREEAM), posicionando o DT como uma ferramenta de otimização, conformidade e governança.

A convergência entre BIM, IoT e DT oferece a visão necessária para gerenciar o ciclo de vida das edificações. No entanto, a materialização desses benefícios depende da superação de barreiras como a falta de interoperabilidade, os custos de implementação e a carência de profissionais qualificados. A diversidade de aplicações, desde a escala do edifício [4, 5] até a do quarteirão urbano [6], sugere que a complexidade e o custo podem ser escalados conforme o objetivo do projeto.

Como agenda de pesquisa futura, é imperativo o desenvolvimento de estudos que quantifiquem o retorno sobre o investimento (ROI) da implementação de DT. Investigações sobre a aplicação da tecnologia em projetos de retrofit são particularmente relevantes. Adicionalmente, questões de cibersegurança e privacidade de dados requerem atenção urgente para garantir uma adoção segura e ética.

6. CONCLUSÃO

Este artigo analisou a integração de Gêmeos Digitais na construção civil sob a ótica ESG, concluindo que a tecnologia representa uma ferramenta estratégica para avanços em eficiência energética, bem-estar dos ocupantes e governança. A revisão da literatura, a análise normativa e o estudo de caso confirmaram que os DT podem gerar benefícios quantificáveis ao mesmo tempo que fortalecem a transparência das operações.

Ao alinhar as funcionalidades dos Gêmeos Digitais com as exigências da ABNT PR 2030 e de certificações como LEED e BREEAM, o setor construtivo dispõe de um caminho estruturado para atender às crescentes demandas de sustentabilidade. O DT atua como um motor de transformação, habilitando uma gestão baseada em dados que otimiza o desempenho e mitiga riscos ao longo do ciclo de vida do ativo.

Para que seu potencial seja plenamente realizado, são necessários esforços para superar os desafios de custo, interoperabilidade e capacitação. Recomenda-se, como continuidade, a realização de pesquisas que quantifiquem o retorno financeiro e analisem a aplicabilidade dos DT em diferentes escalas. Espera-se que esta análise integrativa

contribua para a consolidação dos Gêmeos Digitais como um pilar para o avanço da agenda ESG, impulsionando uma construção civil mais inovadora, resiliente e responsável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade de Brasília, ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil e ao Congresso Internacional de Construção Civil da Universidade de Brasília.

REFERÊNCIAS

[1] Ohueri, C. C. et al. **Digital twin for decarbonizing operating buildings: A systematic review and implementation framework development**. Energy and Buildings, v. 320, p. 114567, 2024.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. PR 2030: **Ambiental, social e governança (ESG) — Conceitos, diretrizes e modelo de avaliação e direcionamento para organizações**. Rio de Janeiro, 2022.

[3] Boukaf, M.; Fadli, F.; Meskin, N. **A Comprehensive Review of Digital Twin Technology in Building Energy Consumption Forecasting**. Journal of Building Engineering, v. 81, p. 108175, 2024.

[4] Hu, X.; Assaad, R. H. **A BIM-enabled digital twin framework for real-time indoor environment monitoring and visualization**. Journal of Building Engineering, v. 85, p. 108528, 2024.

[5] Tan, Y. et al. **Digital twin-driven approach to improving energy efficiency of indoor lighting**. Energy and Buildings, v. 286, p. 112953, 2023.

[6] Bocullo, V. et al. **A Digital Twin Approach to City Block Renovation Using RES Technologies**. Energies, v. 16, n. 1, p. 450, 2023.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-47

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

INFLUÊNCIA DA FIBRA DO CAROÇO DE AÇAÍ NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE TIJOLOS DE ADOBE

MASCARENHAS, Lucas Patrick Soares[1]; DUTRA, Zilderlan Vieira[2]; FREITAS, Pablo Virgolino[3]; ABOELKHEIR, Mostafa Galal[4]

[1] Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil – Universidade São Judas Tadeu (USJT), São Paulo – SP, Brasil, lucas.patrick08@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-8879-042X
[2] Instituto Federal do Maranhão, Santa Inês - MA, Brasil, zilderlan.dutra@gmail.com, ORCID: 0009-0005-0363-3406
[3] Instituto Federal do Maranhão, Santa Inês - MA, Brasil, prof.pablo.freitas@acad.ifma.edu.br, ORCID: 0000-0002-4174-8459
[4] Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil – Universidade São Judas Tadeu (USJT), São Paulo – SP, Brasil, prof.mostafamohamed@ulife.com.br, ORCID: 0000-0002-5084-7379

RESUMO

Considerando que a produção de tijolos de adobe apresenta custos baixos e não necessita de mão de obra especializada, esta tecnologia se mostra uma alternativa viável para minimizar a deficiência habitacional em diversas regiões do Brasil. Além disso, por não gerar resíduos e dispensar a queima, o adobe atende aos princípios do desenvolvimento sustentável. Neste contexto, o presente estudo investigou a incorporação de fibras provenientes do caroço de açaí em tijolos de adobe, com o objetivo de avaliar suas propriedades físico-mecânicas. Para tal, realizou-se a caracterização do solo utilizado na fabricação dos tijolos, analisou-se o comportamento da fibra na retração do material e compararam-se as características dos tijolos reforçados com aqueles produzidos sem adição de fibras. A pesquisa experimental revelou que a incorporação da fibra do caroço de açaí à matriz terrosa dos tijolos de adobe promoveu melhorias significativas no desempenho mecânico e dimensional do material. Os resultados indicaram um aumento expressivo na resistência à compressão, uma redução nos índices de retração volumétrica durante a secagem, bem como uma maior estabilidade estrutural em comparação aos tijolos convencionais, isentos de aditivos fibrosos. Tais evidências reforçam o potencial técnico do uso de fibras vegetais residuais como solução sustentável e eficaz na produção de componentes construtivos de terra crua.

Palavras-chave: adobe, fibra do açaí, resistência mecânica.

ABSTRACT

Considering that the production of adobe bricks involves minimal costs, this technology presents itself as a viable alternative to mitigate the housing deficit in various regions of Brazil. Furthermore, by not generating waste and eliminating the need for firing, adobe aligns with the principles of sustainable development. In this context, the present study investigated the incorporation of fibers extracted from açaí seeds into adobe bricks, aiming to evaluate their physical and mechanical properties. For this purpose, the soil used for brick production was characterized, the influence of the açaí fiber on the shrinkage of the material was analyzed, and the characteristics of fiber-reinforced bricks were compared to those of conventional adobe bricks without fiber addition. The experimental research demonstrated that the incorporation of açaí seed fiber into the earthen matrix of adobe bricks resulted in significant improvements in both mechanical and dimensional performance. The findings indicated a substantial increase in compressive strength, a reduction in volumetric shrinkage during drying, and an overall enhancement in structural stability when compared to conventional adobe bricks without fiber reinforcement. These results highlight the technical potential of using agricultural waste fibers as a sustainable and effective solution for improving the quality of earthen construction components.

Keywords: adobe, açaí fiber, mechanical resistance.

1. INTRODUÇÃO

Diante do crescente interesse na utilização de técnicas construtivas sustentáveis, o adobe tem se destacado como uma alternativa relevante para construção de baixo custo. Por utilizar uma matéria prima local, e apresentar baixos custos com transporte, especialmente quando há disponibilidade de solo adequado no próprio canteiro de obras, além de não necessitar de uma mão de obra especializada e não requer consumo de energia elétrica em sua fabricação. Dentre as suas propriedades apresentou um excelente desempenho térmico, além de regular a umidade do ambiente [1].

Dentre as vantagens ambientais do uso dessa técnica é baixa quantidade de água necessária para a fabricação, chegando a consumir aproximadamente sessenta vezes inferior ao utilizado na produção de cimento, por não precisar passar por processos fabris, não gera vapores poluentes e não oferece riscos à saúde durante o manuseio [2]. No entanto, por se tratar de um material artesanal, sua durabilidade pode ser comprometida em ambientes sujeitos à umidade, uma vez que certas composições de solo são mais suscetíveis ao desgaste das intempéries.

Nesse contexto, dentre os materiais alternativos que podem ser incorporados a massa do adobe, são os resíduos agroindustriais, entre eles o caroço do açaí (Euterpe oleracea Mart.), subproduto abundante na região amazônica. A utilização desse resíduo da produção de polpa do açaí contribui para a redução do descarte inadequado desse resíduo, mas também aprimora as propriedades do adobe, como o aumento da resistência mecânica, a diminuição da retração e fissuramento [3].

O objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades físico-mecânicas dos tijolos de adobe produzidos com a adição de fibra do caroço do açaí, comparando-os com tijolos sem adição de fibras. Para isso, foram estabelecidos como objetivos específicos: caracterizar o solo utilizado na fabricação dos tijolos; analisar o comportamento da fibra do caroço de açaí na retração do adobe; e comparar as características dos tijolos com adição de fibras em relação aos tijolos de referência.

1.1. Tijolo de adobe

O tijolo de adobe é um material de construção mais antigo utilizado pelo homem, nessa metodologia consiste em tijolo de barro, que é moldado e seco naturalmente, ou seja não é seco artificialmente ou queimado, tornando essa metodologia construtiva a mais sustentável por não haver liberação de gás carbônico na atmosfera. As construções de adobe, quando bem-feitas, podem durar muitas décadas, sendo amplamente empregada em regiões com acesso facilitado a solos argilosos. Nessa técnica são necessários apenas os seguintes materiais: areia, argila, palha, madeira e pregos para a forma [2].

Esse método de construção é bastante simples e artesanal, que frequentemente utiliza empíricos e simplificados, quando esse tipo de tijolo era produzido para se construir alguma edificação, onde era realizada a escavação de uma vala próximo ao local da obra, até ser encontrado um solo apropriado, geralmente a escolha do solo é realizada de maneira empírica. Em geral, o modo de preparo do bloco de adobe era realizado da seguinte forma: colocação de água e em seguida é realizada a compactação da massa manualmente com os pés até obter uma mistura homogênea e plástica, que permita que a massa seja moldável. Em algumas localidades, além da argila (barro) e água, é comum a adição de fibras vegetais, como capim cortado o qual funciona como estabilizador [1].

Após o preparo da massa, a mistura é colocada em fôrmas de madeira, como apresentado na figura 1. Essa etapa é crucial para a trabalhabilidade do material e para a formação de blocos coesos, um processo que se alinha com os princípios de plasticidade. A resistência mecânica da peça, está ligado diretamente a qualidade da compactação da massa nos moldes, onde uma compactação eficiente resulta numa peça mais densa e mais robusta [4]. A superfície pode ser uniformizada com a mão, com uma madeira, com uma palheta ou com um arame.

A secagem do bloco é uma etapa crucial para a qualidade do bloco, sendo realizada de maneira natural, (ao sol ou à sombra), o tempo de secagem do bloco é variável dependerá das condições climáticas do ambiente onde ele está inserido, como temperatura, umidade relativa do ar e ventilação, com um período médio de aproximadamente 10 dias sendo comumente observado para a secagem completa dos blocos [5].

Segundo Pinheiro [5], a composição granulométrica mais apropriada é de 20% de argila e 40% a 55% de areia. Devido a essa variação deve-se realizar correções em sua composição, sendo fundamental que o solo a ser utilizado seja analisado por meio de testes de campo e de laboratório. Admite-se o uso de aditivos como fibras, grãos e folhas secas, entretanto deve ser feita uma análise, pois esses elementos deixam a massa mais estável e densa.



Figura 1 - Fabricação de tijolo de adobe artesanal [1]

1.2. Compósitos: Conceitos e benefícios

Os compósitos são materiais formados a partir da mistura de dois ou mais materiais diferentes, são sistemas multifásicos, que possuem um objetivo de criar um material com propriedades otimizadas e com características superiores. A utilização de compósitos de fibras naturais e artificiais na construção civil tem ganhado destaque como uma estratégia eficiente para melhorar o desempenho dos materiais e auxiliar a cadeia de produção a ser mais sustentável [5].

Nos compósitos de fibra natural, uma matriz (que pode ser polimérica, metálica ou cerâmica), possui uma função de ligar e transferir os esforços para o reforço fibrosos vegetal, essa matriz age como um aglutinador garantindo que as forças aplicadas ao material sejam distribuídas para as fibras. Fibras vegetais como sisal, bambu, são exemplos de proeminentes que contribuem substancialmente para o aumento das capacidades mecânicas em diversos materiais [3].

Existem diversos estudos sobre aproveitamento de fibras naturais que frequentemente são descartados de forma inadequada no meio ambiente. Como exemplo o estudo de Silva [6], que analisou a adição de serragem de madeira na composição de tijolos solo-cimento, onde foi possível verificar que os blocos que receberam a adição da fibra apresentaram aumento na resistência à compressão em comparação com tijolos convencionais que não contêm essa incorporação. Essa perspectiva sugere ser uma alternativa viável para a destinação sustentável de resíduos e o desenvolvimento de materiais de construção com características modificadas.

1.3. O Açaí

A palmeira do açaí (*Euterpe oleracea*) (Figura 2) possui um significativo aproveitamento econômico em muitos municípios da Amazônia Legal [7], dada a sua notável versatilidade e aproveitamento integral, em que cada parte da planta possui um valor: o estipe (caule) amplamente empregado na construção civil na construção de casas, pontes, cercas, produção de lenha e celulose; o meristema apical é valorizado pela produção de palmito; e as palmas são usadas pelas populações ribeirinhas para cobertura de casas, paredes, cestos e chapéus, além do seu valioso fruto [8]. Adicionalmente aos usos tradicionais, o açaí é consumido *in natura*, sua polpa é empregada como corante natural na indústria alimentícia, e nas indústrias de cosméticos e fármacos, bem como para a extração de óleo.

O caroço do açaí, um resíduo agroindustrial com baixo aproveitamento e apesar do volume de produção e consumo da polpa cada vez mais crescente, embora a principal aplicação atualmente seja em peças de artesanato, como matéria-prima para biojoias (colares, brincos, pulseiras etc.) [7]. Entretanto, essa utilização isolada não representa uma solução eficaz para o crescente problema do descarte excessivo deste material.



Figura 2 - Plantação de açaí [7]

2. METODOLOGIA

2.1 Coleta e preparação da fibra

Os caroços de açaí utilizados neste trabalho foram recolhidos em estabelecimento de venda de açaí localizado no município de Pindaré-Mirim – MA. Sendo um resíduo proveniente do beneficiamento do fruto do açaí (retirada da polpa).

Após a coleta do material, procedeu-se à análise visual dos caroços, seguida da separação e lavagem dos grãos em água corrente, utilizando-se peneira com malha de 4,75mm, com o objetivo de remover resíduos particulados de menor granulometria (Figura 3). Concluída a lavagem, os grãos foram dispostos uniformemente em uma bandeja e deixados ao ar livre até a secagem completa.



Figura 3 - – Caroço de açaí após a lavagem

A extração da fibra foi realizada por meio da trituração dos caroços de açaí, empregando-se um triturador forrageiro, com potência de 1,5 CV, equipado com peneira de 12 mm, o que resultou em uma mistura composta por bagaço e fibra. Posteriormente, a fibra foi separada manualmente do bagaço, conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 4 – Fibra separada do bagaço após trituração

2.1 Dosagem e Mistura

O processo preparado da mistura iniciou-se com a distribuição uniforme do solo em uma bandeja. A fibra de caroço de açaí, previamente preparada, foi então polvilhada sobre o solo. A homogeneização da mistura sólido-fibra foi realizada manualmente até a obtenção de uma distribuição visualmente uniforme dos componentes. Posteriormente, a água foi gradualmente adicionada à mistura, e o amassamento manual prosseguiu até que a massa atingisse uma consistência considerada adequada para a etapa de moldagem.

Ao todo, foram confeccionados nove tijolos de adobe, divididos em três grupos experimentais de acordo com o percentual de fibra de caroço de açaí adicionado: 0%, 10% e 20% em relação ao volume da mistura, T0, T10 e T20, respectivamente. Para todos os exemplares, foi utilizado um teor constante de aproximadamente 2.700 g de solo seco, que serviu como base para o cálculo da quantidade, em média, de água necessária à moldagem dos tijolos. A Tabela 01 apresenta o detalhamento das massas utilizadas na produção de cada grupo de tijolos, incluindo os valores de solo seco, fibra seca, água adicionada, massa final do tijolo ainda úmido e massa do tijolo após o processo de secagem.

Tabela 1 - Características das amostras dos tijolos com adição de fibra.

Grupo	Adição de fibra ao volume	Massa de Solo Seco (g)	Massa de Fibra Seca (g)	Massa de Água (g)	Massa do Tijolo Úmido (g)	Massa do Tijolo Seco (g)
T0	0%	2.610,37	0,00	913,63	2.205,20	1.661,10
T10	10%	2.690,83	15,68	966,45	2.226,07	1.666,57
T20	20%	2.747,00	30,49	1.009,39	2.242,50	1.669,87

Para o tijolo de referência (grupo T0, sem adição de fibra), adotou-se a proporção de 35% de água em relação ao peso do solo seco. Esse valor foi determinado com base na trabalhabilidade observada durante os testes preliminares de amassamento e moldagem manual da mistura, visando garantir uma consistência adequada à conformação do adobe. A tentativa de empregar a umidade ótima do solo identificada em ensaios prévios, correspondente a 17,20%, revelou-se inviável, pois não resultou em uma mistura suficientemente moldável para a produção dos corpos de prova.

Nos grupos experimentais que continham fibra (T10 e T20), a quantidade de água adicional foi ajustada considerando a capacidade de absorção da fibra, previamente determinada em laboratório como sendo 157% em relação ao peso seco da fibra. Dessa forma, buscou-se compensar a retenção de umidade causada pela presença do reforço vegetal, mantendo a consistência ideal da massa.

2.2. Moldagem dos tijolos

A moldagem dos tijolos de adobe foi realizada utilizando moldes retangulares de madeira polida, com dimensões internas de 20 x 10 x 6 cm. Os moldes foram projetados com partes de encaixe para facilitar a desmoldagem das peças. A massa de adobe foi adicionada ao interior dos moldes, sendo pressionada manualmente para garantir o preenchimento completo do volume. Com o objetivo de dar uma superfície uniforme e regular foi dado um acabamento manual nas faces expostas. A desmoldagem ocorreu imediatamente após o preenchimento e acabamento dos tijolos, através da remoção das laterais do molde. Ao menos, foram moldados três corpos de prova para cada ensaio.

2.3. Secagem dos tijolos

A secagem dos tijolos de adobe foi realizada de forma natural, ao ar livre, em um local protegido de intempéries, como exemplo: chuva. Durante o período de secagem, medidas foram tomadas para assegurar uma secagem uniforme em todas as faces dos tijolos, evitando o desenvolvimento de tensões internas que poderiam levar à fissuração. O tempo de secagem durou ao todo 15 dias, devido ao clima úmido da região, visto que a moldagem ocorreu durante o período chuvoso.

2.4. Caracterização física e mecânica dos tijolos (NBR 16.814)

Após a conclusão do processo de secagem, os tijolos de adobe produzidos com diferentes teores de fibra de caroço de açaí foram submetidos a ensaios de caracterização, em conformidade com os requisitos e métodos de ensaio estabelecidos pela norma técnica brasileira ABNT NBR 16.814:2020 – Adobe – requisitos e métodos de ensaio [9]. Os ensaios realizados visam avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos tijolos, permitindo a análise do efeito da adição da fibra de caroço de açaí em suas características.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Propriedades físicas dos tijolos

A análise dos resultados obtidos a partir das medições geométricas dos tijolos, realizadas conforme os procedimentos normativos estabelecidos pela NBR 16814:2020, permitiu identificar variações significativas nos índices de retração volumétrica entre os diferentes grupos de amostras. A Tabela 2 apresenta as dimensões médias, área de superfície, volumes e retração percentual dos tijolos moldados. Conforme os dados apresentados na Tabela 2, os tijolos do grupo TA20, que incorporaram 20% de fibra de caroço de açaí em relação ao volume da mistura, apresentaram a menor taxa média de retração, com 16,08%, em comparação aos tijolos dos grupos TA10 (18,05%) e T0 (19,19%).

Tabela 2 - Dimensões médias, área de superfície, volumes e retração percentual dos tijolos moldados.

Grupo	Dimensões médias (cm)			Área de Superfície (cm²)	Volume Inicial (cm³)	Volume Final Médio (cm³)	Retração (%)
	L	H	C				
T0	9,21	5,66	18,61	171,329	1.200	969,774	19,19
T10	9,23	5,72	18,63	171,935	1.200	983,433	18,05
T20	9,27	5,75	18,91	175,233	1.200	1.007,003	16,08

Esse resultado indica que a presença crescente da fibra na composição atua positivamente na contenção da retração volumétrica durante a secagem, contribuindo para uma maior estabilidade dimensional do adobe. Conforme Borges [10] a fibra exercer função de microreforço, reduzindo os espaços vazios e minimizando os efeitos da perda de umidade. Tal comportamento reforça a hipótese de que materiais fibrosos vegetais, quando adequadamente integrados à matriz terrosa, podem mitigar as deformações por retração, fenômeno crítico na durabilidade de elementos construtivos de terra crua.

3.2. Avaliação do desempenho mecânico dos tijolos

O ensaio de resistência à compressão simples dos tijolos de adobe evidenciou um impacto significativo da adição de fibras naturais de caroço de açaí sobre o desempenho mecânico do material. Conforme apresentado na Tabela 3, os tijolos do grupo de controle apresentaram uma resistência média de 0,211 MPa, com um desvio padrão de 0,169 MPa, o que revela uma elevada variabilidade entre as amostras. Por outro lado, os blocos T10 atingiram uma resistência média de 0,913 MPa, representando um incremento de aproximadamente 333% em relação ao grupo de referência. Mais expressivo ainda foi o desempenho dos blocos T20, cuja resistência média atingiu 1,138 MPa, com um desvio padrão reduzido de apenas 0,031 MPa, indicando maior uniformidade dos resultados.

Tabela 3 - Resistência à compressão dos tijolos moldados.

Tijolo	Resistência (MPa)	Desvio Padrão
Tijolo sem adição de fibra	0,211	0,169
Tijolo com adição de 10% de fibra de açaí	0,913	0,171
Tijolo com adição de 20% de fibra de açaí	1,138	0,031

Com a incorporação das fibras na massa do adobe verificou-se um ganho na resistência a compressão devido a atuação da fibra como agregador que transfere e dissipa as tensões as tensões de forma mais eficiente por toda a matriz do material [10].

A Figura 3 apresenta a variação da resistência à compressão dos tijolos de adobe em função do teor de fibra de caroço de açaí, evidenciando um aumento progressivo conforme a adição de fibra. O modelo de regressão linear com um coeficiente de determinação R^2=0,9189, indicando forte correlação entre o teor de fibra e o ganho de resistência. Os blocos T20 atingiram um aumento de 439% na resistência à compressão em relação aos tijolos convencionais (T0), sem reforço. Esse acréscimo significativo é atribuído à atuação da fibra como agente de reforço físico, promovendo melhor distribuição de tensões, maior coesão da matriz terrosa, redução da propagação de fissuras e aumento da tenacidade do material, especialmente durante a secagem e sob ação de cargas.

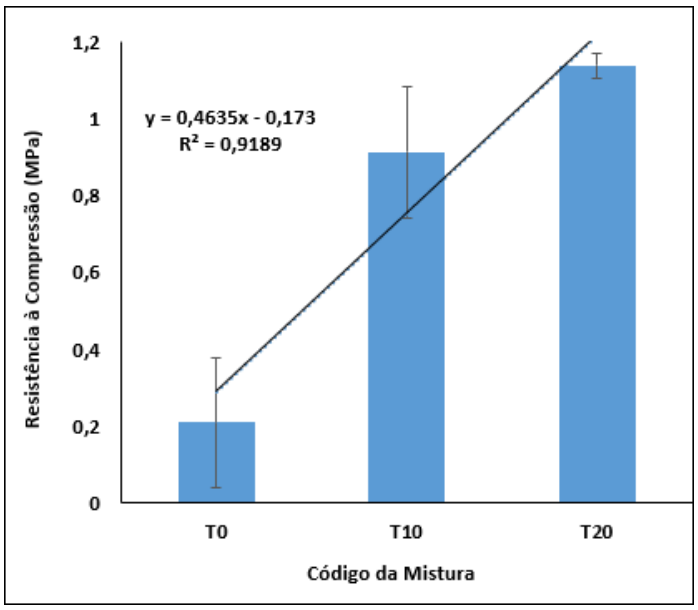


Figura 5 - Variação da resistência à compressão dos tijolos de adobe em função do teor de fibra de açaí.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou a viabilidade da incorporação na fibra do caroço de açaí na produção de tijolos de adobe mais sustentáveis e eficientes. Os objetivos propostos foram alcançados, uma vez que se observou melhorias nas características físico-mecânicas dos tijolos de adobe, em que os s resultados obtidos demonstraram as contribuições significativas dessa abordagem.

Dentre os resultados obtidos estão a melhoria positiva na estabilidade dimensional dos tijolos de adobe como a redução da retração volumétrica chegando a 16,08% com os blocos T20 contra 19,19% nos blocos de referência. Além disso houve ganho na resistência a compressão, pois os blocos T10 apresentaram 0,913 MPa de resistência, enquanto os blocos T20 alcançaram 1,138 MPa. Portanto, a fibra atua como um reforço interno, distribuindo tensões e aumentando a durabilidade do material.

As implicações práticas são vastas, visto que ao realizar o aproveitamento de um resíduo agroindustrial presente na região amazônica, transformamos um problema de descarte em uma possível solução construtiva de baixo custo. Assim isso pode impulsionar construções mais seguras e duráveis em comunidades com acesso ao açaí, promovendo a economia circular e a sustentabilidade local. Considerando o volume expressivo de resíduos de açaí gerados anualmente, a busca por alternativas de descarte é crucial, pois existem limitações, como o tempo de secagem influenciado pelo clima úmido da região.

Para o futuro, sugerimos pesquisas sobre a durabilidade a longo prazo sob diferentes condições climáticas, a, aumento do teor de fibra para verificar até quanto de resistência continua crescente, análises de custo-benefício em escala comercial e o impacto nas propriedades térmicas e acústicas. Assim, tais investigações poderão aprofundar ainda mais pesquisas que colaborem a evidenciar o potencial do adobe com fibra de açaí, desenvolvendo assim um campo de pesquisa para práticas e medidas sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão - Campus Santa Inês, por auxiliar no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] BARAYA, Santiago; SBEGHEN, Camilla. Adobe: o material reciclável mais sustentável. In: **Archdaily**. [S. l.], 18 abr. 2020. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/945393/adobe-o-material-reciclavel-mais-sustentavel. Acesso em: 18 mar. 2025.

[2] NASCIMENTO, Maria Victória Leal de Almeida. **Tijolos de adobe confeccionados no Agreste Pernambucano com adição de borracha de pneu triturada**. 2013. 87 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

[3] BRANDÃO, Marcos Gustavo de Medeiros; TAUMATURGO, Ana Caroline Da Silva; LIMA, Agnaldo Braga. O Uso De Compósitos De Fibra Natural Na Construção Civil: Caminhos Para Um Desenvolvimento Sustentável Alinhado Com A Agenda 2030 Da ONU. **IOSR Journal of Business and Management**, [s. l.], v. 26, ed. 7, p. 30-40, 8 jul. 2024. Disponível em: https://encurtador.com.br/FQxuK. Acesso em: 1 abr. 2025.

[4] ROCHA, Rafael Rodrigues da; BARROS, Gustavo Henrique Vieira; SILVA, Renan Jhoni da; SIMÕES, Rebeca Delatore. Resistência mecânica de tijolos adobe reforçados com resíduo de casca de ovo. **Colloquium Exactarum**, Presidente Prudente - SP, v. 1, n. 13, p. 30-37, 27 mar. 2021. Disponível em: https://journal.unoeste.br/index.php/ce/article/view/3949/3255. Acesso em: 01 mar. 2025.

[5] PINHEIRO, Renê. **Estudo da resistência do tijolo de adobe com adição de fibras naturais de coco verde para habitações de baixo custo**. 2009. 59 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

[6] SILVA, Gustavo Barbosa Lima da. **Avaliação experimental sobre a eficiência de superfícies permeáveis com vistas ao controle do escoamento superficial em áreas urbanas**. 2006. 180 p. Tese (doutorado em tecnologia ambiental e recursos hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

[7] MF RURAL. Açaí (Euterpe oleracea). In: **MF Rural. Marília** - SP, 18 nov. 2024. Disponível em: https://www.mfrural.com.br/detalhe/390544/acai-euterpe-oleracea?origem=produto-destaques-mf. Acesso em: 25 mar. 2025.

[8] SOUZA, Reginaldo José Queiroz de. **Validação tecnológica do caroço do fruto do açaí como material alternativo na pavimentação de baixo volume de tráfego**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Recursos da Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

[9] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 16814:2020 – *Adobe – Requisitos e métodos de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

[10] BORGES, Ana Paula Silva Nascentes. **Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais**. 2017. 90 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-46

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO MONITORAMENTO DE SAÚDE ESTRUTURAL NA CONSTRUÇÃO 4.0: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (2019–2024)

JUNIOR, José Marcílio[1]; ABOELKHEIR, Mostafa Galal[2]

[1] Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil – Universidade São Judas Tadeu (USJT), São Paulo – SP, Brasil, juniorjmarcilio@gmail.com, n° do ORCID: 0009-0001-5381-1486
[2] Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil – Universidade São Judas Tadeu (USJT), São Paulo – SP, Brasil, prof.mostafamohamed@ulife.com.br, ORCID: 0000-0002-5084-7379

RESUMO

A digitalização da construção civil, impulsionada pelo avanço da Construção 4.0, tem promovido o uso crescente de Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquina (*Machine Learning* – ML) no Monitoramento de Saúde Estrutural (SHM). Esta Revisão Sistemática da Literatura (RSL) analisou 87 artigos publicados entre 2019 e 2024, selecionados pelo protocolo PRISMA, com o objetivo de mapear as aplicações de IA e ML no SHM em diferentes contextos estruturais. Os resultados revelam a predominância de técnicas como CNN, LSTM, SVM e *Random Forest* na detecção de danos, previsão de falhas e manutenção preditiva. Observou-se, no entanto, baixa presença de abordagens explicáveis (XAI), além de desafios quanto à integração com sensores físicos, BIM e *Digital Twins*. As contribuições dos estudos dialogam com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 9, 11 e 13. Conclui-se que, embora existam avanços relevantes, persistem lacunas relacionadas à replicabilidade, explicabilidade e padronização das aplicações. A RSL propõe direções futuras para pesquisa aplicada, sustentável e rastreável no setor da engenharia civil digital.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Monitoramento de Saúde Estrutural; Construção 4.0; Machine Learning; Sustentabilidade

ABSTRACT

The digital transformation of the construction sector, driven by Construction 4.0, has enabled the increasing application of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) in Structural Health Monitoring (SHM). This Systematic Literature Review (SLR) analyzed 87 articles published between 2019 and 2024, selected through the PRISMA protocol, aiming to map AI and ML applications in SHM across various structural contexts. Results highlight the prevalence of techniques such as CNN, LSTM, SVM, and Random Forest in damage detection, failure prediction, and predictive maintenance. However, the review reveals a limited adoption of explainable approaches (XAI), and challenges regarding the integration with physical sensors, BIM, and Digital Twins. The contributions are aligned with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDGs 9, 11, and 13. The review concludes that despite promising advances, challenges related to replicability, interpretability, and standardization persist. It proposes future research directions toward sustainable, transparent, and scalable applications in civil engineering.

Keywords:Artificial Intelligence; Structural Health Monitoring; Construction 4.0; Machine Learning; Sustainability

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a crescente demanda por infraestrutura segura, resiliente e inteligente impulsionou a transformação digital do setor da construção civil. A ascensão da chamada Construção 4.0 — marcada pela integração de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Building Information Modeling (BIM), Digital Twins (DT) e Inteligência Artificial (IA) — tem promovido avanços significativos na gestão do ciclo de vida das estruturas. Nesse cenário, destaca-se o Monitoramento de Saúde Estrutural (*Structural Health Monitoring* – SHM), que visa acompanhar, diagnosticar e antecipar falhas em edificações, pontes, túneis e outras infraestruturas críticas.

A Inteligência Artificial (IA) tem se destacado como pilar fundamental da transformação digital na construção civil, especialmente no contexto da Construção 4.0. Sua aplicação em processos de monitoramento, análise de dados e tomada de decisão viabiliza sistemas mais autônomos, eficientes e resilientes. No escopo do Monitoramento de Saúde Estrutural (SHM), a IA tem permitido a transição de métodos reativos para estratégias proativas e preditivas, contribuindo para a segurança e durabilidade de obras civis [1–3].

Dentre as tecnologias emergentes, a aplicação de técnicas de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning* – ML) no SHM tem se mostrado particularmente promissora, permitindo não apenas a detecção automatizada de danos, mas também a predição de comportamentos estruturais com base em séries temporais, imagens, dados multissensoriais e informações provenientes de modelos digitais. Algoritmos como Redes Neurais Convolucionais (CNN), Máquinas de Vetores de Suporte (SVM), *Florestas Aleatórias* (RF), *Long Short-Term Memory* (LSTM) e *Vision Transformers* (ViT) têm sido amplamente empregados, com resultados expressivos em tarefas como detecção de trincas, previsão de falhas e manutenção preditiva [4–8].

Apesar do volume crescente de publicações sobre o tema, a literatura apresenta ainda certa fragmentação, com abordagens diversas, ausência de padronização nos métodos, baixa replicabilidade em campo e pouca discussão sobre explicabilidade algorítmica. A integração plena entre modelos digitais (BIM/DT), sensores físicos e algoritmos de IA continua sendo um desafio técnico e institucional. Além disso, são escassos os estudos com aplicação prática em contextos reais e escaláveis, especialmente em países em desenvolvimento.

Diante desse panorama, torna-se necessário sistematizar criticamente os avanços e lacunas da aplicação de IA e ML no SHM dentro do contexto da Construção 4.0, promovendo uma visão estruturada que oriente futuras pesquisas e aplicações. Assim, este artigo foi conduzido a partir de um protocolo PRISMA que inicialmente identificou 87 estudos, dos quais 48, por atenderem aos critérios de relevância temática (foco em Construção 4.0, IA/ML, Visão Computacional, SHM com IA, Sustentabilidade e ODS), foram selecionados para análise detalhada.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa adota uma abordagem baseada em Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com o objetivo de mapear, organizar e analisar criticamente a produção científica sobre o uso de Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquina (ML) no Monitoramento de Saúde Estrutural (SHM), no contexto da Construção 4.0. Para garantir rigor metodológico e transparência, seguiu-se o protocolo PRISMA 2020 (Figura 1) [9], que orienta a identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos analisados.

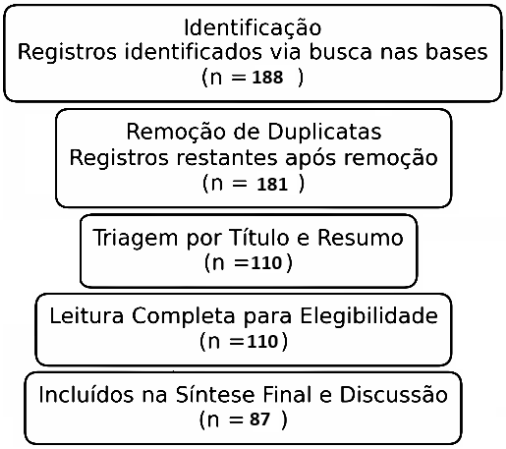


Figura 1. Fluxograma PRISMA do Processo de Seleção de Estudos.

A estratégia de busca foi aplicada na plataforma *Google Scholar*, utilizando a seguinte string: "*Artificial Intelligence" AND "Civil Engineering" AND "Machine Learning" AND "Construction 4.0" AND "Structural Health Monitoring*".

O período coberto foi de 2019 a 2024, com o objetivo de refletir os avanços mais recentes da digitalização na engenharia civil. Foram identificados 188 registros. Após a remoção de 7 duplicatas, restaram 181 artigos, dos quais 110 foram lidos integralmente. Na etapa de eligibilidade, foram excluídos mais 23 artigos permanecendo um total de 87 estudos, dos quais 48, por atenderem aos critérios de relevância temática do atual artigo.

Os critérios de inclusão adotados foram: (i) publicações entre 2019 e 2024; (ii) artigos completos revisados por pares; (iii) aplicação explícita de IA ou ML no setor da construção civil; (iv) foco em SHM, Construção 4.0, Digital Twins, sensores ou BIM; e (v) publicação em inglês. Foram excluídos artigos repetidos, trabalhos em conferências não aprofundados no assunto, preprints e estudos de áreas não pertencentes à engenharia civil (como medicina ou finanças).

Os artigos foram submetidos a leitura técnica individualizada, com extração sistemática de dados dividida em três partes: (1) tabela estruturada com informações padronizadas, (2) trechos-chave citados diretamente, e (3) resumos críticos com base nas evidências. Posteriormente, os estudos foram agrupados em eixos temáticos principais: Construção 4.0, IA/ML, Visão Computacional, SHM com IA, Sustentabilidade e ODS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Construção 4.0

A adoção dos princípios da Construção 4.0 vem transformando significativamente os métodos tradicionais da engenharia civil, especialmente na forma como dados são coletados, processados e utilizados para tomada de decisão. Nos 87 artigos analisados, verificou-se um avanço expressivo no emprego de tecnologias digitais para aprimorar a eficiência, a produtividade e a sustentabilidade das obras e infraestruturas.

Diversas soluções baseadas em Internet das Coisas (IoT), sensores embarcados e conectividade em tempo real foram relatadas para monitoramento de estruturas e condições ambientais, permitindo o desenvolvimento de obras inteligentes e resilientes [4,10]. A interoperabilidade entre dispositivos, sensores e plataformas digitais tem possibilitado o controle dinâmico de processos construtivos, contribuindo para a redução de falhas operacionais e o aumento da segurança no canteiro [11,12].

As tecnologias mais recorrentes associadas à Construção 4.0 nos estudos incluíram plataformas digitais baseadas em nuvem, edge computing para análise local de dados, e dashboards interativos para visualização em tempo real [13–15]. Tais inovações permitiram avanços em frentes como gestão preditiva, rastreamento de ativos, logística automatizada e controle de desempenho de materiais.

4.2 Inteligência Artificial e Machine Learning

A incorporação de técnicas de Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquina (ML) na engenharia civil tem sido um dos pilares da transformação digital no setor, especialmente no contexto do monitoramento de saúde estrutural (SHM) e da Construção 4.0. Entre os 87 artigos analisados, mais de dois terços aplicaram algum tipo de modelo preditivo, classificador ou sistema de análise inteligente, demonstrando a crescente maturidade e diversificação do uso dessas tecnologias no campo civil.

Algoritmos supervisionados como Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Regressão Linear, e redes neurais artificiais (ANN) foram amplamente utilizados para previsão de danos, análise de integridade estrutural, controle de desempenho e classificação de falhas [16–19]. Modelos mais avançados como Convolutional Neural Networks (CNN), Long Short-Term Memory (LSTM) e Vision Transformers (ViT) foram aplicados com destaque para reconhecimento visual de trincas, análise de séries temporais e detecção automática de anomalias em estruturas complexas [7,8,20].

A IA também demonstrou forte potencial na integração de múltiplos dados de sensores, imagens e histórico de manutenção, permitindo a antecipação de falhas estruturais e o suporte a decisões em tempo real [6,21,22]. Em alguns

casos, os sistemas inteligentes foram acoplados a Digital Twins e ambientes BIM, criando arquiteturas ciberfísicas com capacidade autônoma de simulação e resposta preditiva [19,23,24].

Apesar dos avanços, os estudos ressaltaram desafios relevantes: muitos modelos ainda são treinados com datasets limitados e carecem de validação em campo [25,26]. A maioria dos artigos apresenta experimentos em ambientes controlados ou com dados simulados, dificultando a extrapolação direta para contextos reais de infraestrutura. Além disso, há uma lacuna metodológica quanto à explicabilidade das decisões algorítmicas, o que representa um entrave para sua adoção em ambientes regulados ou de alto risco [27].

Ainda assim, os resultados consolidados indicam que as técnicas de IA e ML estão se consolidando como ferramentas indispensáveis para a engenharia civil moderna, com aplicações diretas na manutenção preditiva, inspeção remota, planejamento urbano e na promoção de cidades mais seguras e resilientes [14,28,29].

4.3 Visão Computacional

A visão computacional tem desempenhado um papel estratégico no avanço das técnicas de monitoramento de saúde estrutural (SHM), especialmente quando combinada a redes neurais profundas como CNN e ViT. Dos 87 estudos analisados, pelo menos 15 exploraram diretamente a análise automatizada de imagens e vídeos em estruturas civis por meio de algoritmos de reconhecimento visual e detecção de padrões [6–8,20,30].

Entre os avanços notáveis está o uso de técnicas de segmentação semântica para mapear áreas danificadas e quantificar sua extensão, além da aplicação de métricas objetivas como Intersection over Union (IoU) e precisão pixel a pixel para validação dos modelos [8,31]. Alguns estudos combinaram visão computacional com sensores físicos, integrando dados visuais a séries temporais de vibração e deformação, ampliando o poder preditivo dos modelos [22,32].

Apesar das vantagens, persistem limitações operacionais importantes: muitos modelos dependem de datasets restritos, captados em contextos específicos, o que compromete sua transferibilidade. Outro ponto crítico é a escassez de explicabilidade algorítmica — apenas um dos estudos que utilizam visão computacional empregou mecanismos de XAI, como SHAP ou LIME, para justificar as decisões da IA [27].

Os estudos também apontaram que o uso da Construção 4.0 está alinhado com metas de sustentabilidade e inovação, contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 9, voltado à construção de infraestruturas resilientes e à promoção da industrialização inclusiva e sustentável [3,33].

Contudo, os artigos ressaltam a existência de desafios importantes, como a carência de padronização, os custos de implantação e a baixa maturidade institucional para adoção massiva dessas tecnologias em países em desenvolvimento [2,34]. Ainda assim, o conjunto das evidências indica que a Construção 4.0 representa uma mudança paradigmática em curso, com forte potencial de impacto sobre todas as fases do ciclo de vida da infraestrutura civil.

4.4 Aplicações de IA no Monitoramento de Saúde Estrutural (SHM)

O Monitoramento de Saúde Estrutural (SHM) tem se consolidado como uma frente estratégica para garantir a integridade, segurança e durabilidade de infraestruturas civis em contextos urbanos e industriais. A aplicação de Inteligência Artificial (IA) e técnicas de Aprendizado de Máquina (ML) neste domínio tem permitido avanços significativos no tratamento automatizado de grandes volumes de dados sensoriais, na predição de falhas e no suporte à tomada de decisão. Dentre os 87 artigos analisados na RSL, um número expressivo (mais de 20 trabalhos) apresentou aplicações diretas da IA no SHM, com diferentes níveis de maturidade, técnicas utilizadas e estruturas monitoradas.

Redes neurais convolucionais (CNN) foram amplamente empregadas na detecção automática de trincas, fissuras e outras anomalias visuais em estruturas de concreto, com imagens captadas por UAVs, câmeras fixas ou sensores embarcados. Esses sistemas apresentam desempenho robusto em ambientes supervisionados, com acurácia superior a 90% em diversos estudos [7,8,20]. Em paralelo, modelos baseados em séries temporais, como LSTM (*Long Short-Term Memory*), têm sido aplicados para prever padrões de degradação em pontes, túneis e edifícios monitorados por sensores de vibração, deformação e deslocamento [24,35,36].

Apesar dos avanços, os estudos apontaram desafios importantes, como a dificuldade de validação empírica em campo, a ausência de dados públicos para treinamento robusto dos modelos e a limitada replicabilidade dos experimentos. Além disso, poucos artigos abordaram a interoperabilidade entre os sistemas de monitoramento baseados em IA e as plataformas

de gestão de ativos urbanos, como BIM e Digital Twins, o que limita a integração das análises em ambientes reais e decisórios [37,38]. O Quadro 1 apresenta o panorama das tecnologias centrais e da integração SHM/IA ao longo do ciclo de vida da construção.

Quadro 1. Panorama das Tecnologias Centrais e da Integração SHM/IA ao Longo do Ciclo de Vida da Construção.

Artigo	Tecnologia Central	Tipo de Aplicação	Fase da Construção	Integração com SHM/IA
[4]	Cloud Computing, 4IR	Todos os estágios do ciclo de vida	Planejamento, Execução	Parcial (Proposta de Framework)
[10]	IA, ML, SHM	Risco sísmico, retrofitting	Pós-ocupação, manutenção	Sim (forte uso de DL em SHM)
[39]	Concreto auto-sensível	SHM em materiais inteligentes	Execução e manutenção	Sim (piezoresistividade + IA)
[40]	CPS, IoT, WSN	Arquiteturas SHM em larga escala	Todo o ciclo de vida	Sim (IA aplicada ao posicionamento)
[11]	IA, IoT, DL	SHM, decisão modular, cidades inteligentes	Execução, manutenção, planejamento	Sim (diversas técnicas de IA)
[28]	ML	Risco em canteiro	Execução	Parcial (sem SHM, mas com IA)
[13]	Robótica, BIM, DT	Shotcrete, automação robótica	Execução, manutenção	Sim (modelagem integrada e DT)
[41]	BIM, ML, DT	Gestão de infraestrutura civil	Todo o ciclo de vida	Sim (integrações BIM-DT-ML)
[14]	BIM, 3D printing	Gestão por fase do projeto	Planejamento, execução	Parcial (não especifica SHM/IA)
[12]	IoT, AI, BIM, Big Data, Circular Economy	Estratégias sustentáveis, regenerativas	Todo o ciclo de vida	Sim (DT, IA e Generative Design)
[42]	BIM, drones, RFID, laser scanning	Comparação prática x teórica	Projeto e execução	Parcial (menção a AI e ML)
[43]	AI, BIM, DT, IoT, smart wearables	Canteiro inteligente, conectividade	Execução, entrega, manutenção	Sim (enfoque total em integração digital)
[15]	BIM, CDE, CPS, Digital Ecosystem	Gestão de ativos e retrofit	Todo o ciclo de vida	Sim (IA, DT e interoperabilidade)
[44]	Bibliometria, “4S”, DT, HMI	Mapeamento de pesquisa e tendências	Todo o ciclo de vida	Sim (IA, DT, smart city)

4.5 Sustentabilidade e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A aplicação de tecnologias digitais avançadas como Inteligência Artificial (IA), Digital Twins, sensores inteligentes e Building Information Modeling (BIM) na engenharia civil tem revelado impactos relevantes não apenas em desempenho técnico, mas também em sustentabilidade e alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU [45]. Dos artigos analisados, quatro contribuíram diretamente com discussões ou aplicações voltadas à sustentabilidade estrutural, eficiência de recursos e mitigação de impactos ambientais [5,46–48].

As tecnologias estudadas favorecem a implementação de soluções mais resilientes e adaptativas para o ambiente construído. Destacam-se três dimensões dos ODS com maior aderência: o ODS 9 (indústria, inovação e infraestrutura), o ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e o ODS 13 (ação contra a mudança global do clima). O uso de gêmeos digitais, por exemplo, tem sido associado à melhoria da durabilidade estrutural, à manutenção preditiva e à redução de intervenções corretivas, o que diminui o consumo de recursos e a geração de resíduos ao longo do ciclo de vida da infraestrutura [48].

O monitoramento contínuo baseado em IA também permite estratégias de operação mais eficientes, com ajustes dinâmicos no uso de energia, ventilação e materiais, contribuindo para a redução de emissões de carbono e consumo energético em edificações e obras públicas [46]. Além disso, sensores acoplados a modelos de predição permitem antecipar falhas e evitar colapsos, ampliando a segurança de populações vulneráveis e reduzindo riscos em ambientes urbanos adensados — aspecto central do ODS 11 [5].

A integração entre blockchain, BIM, IoT e IA, ainda que em estágios iniciais, aparece como promissora na rastreabilidade de materiais, certificações ambientais e avaliação de pegadas de carbono em tempo real, indicando uma perspectiva de governança ambiental digital [47]. No entanto, poucos estudos tratam diretamente de indicadores padronizados ou de validação empírica em contextos reais, apontando uma lacuna para pesquisas futuras. O Quadro 2 resume as principais contribuições ambientais e seus respectivos ODS associados.

Quadro 2. as principais contribuições ambientais e seus respectivos ODS associados.

Artigo	Tecnologia Aplicada	Impacto Ambiental Tratado	ODS Associado	Indicadores Utilizados
[5]	UAV + Fotogrametria + YOLO	Redução de inspeções manuais e riscos operacionais	ODS 11, ODS 9	Precisão geométrica, número de anomalias
[46]	BIM + IoT em Facility Management	Eficiência energética, manutenção proativa	ODS 11, ODS 9	Dados de O&M, sensores de consumo energético
[47]	Blockchain + IoT + BIM	Rastreabilidade, transparência e controle ambiental	ODS 9, ODS 13	CO_2, segurança da informação, KPIs logísticos
[48]	Digital Twins	Planejamento urbano, segurança, clima, inclusão	ODS 3, ODS 9, ODS 11, ODS 13	Simulação de cenários, SDG *coverage map*

5. CONCLUSÃO

A Revisão Sistemática da Literatura evidenciou a rápida evolução da engenharia civil por meio da integração de tecnologias da Construção 4.0, com destaque para inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina (ML), sensores inteligentes, BIM e Digital Twins aplicados ao monitoramento de saúde estrutural (SHM). Os estudos analisados (2019–2024) demonstraram aplicações promissoras em predição de falhas, detecção de trincas por visão computacional, manutenção preditiva e gestão inteligente de ativos, com impacto direto na durabilidade, segurança e eficiência de infraestruturas. Tais contribuições reforçam a relevância das tecnologias digitais no apoio a políticas públicas e à sustentabilidade urbana, alinhando-se a ODS como o 9, 11 e 13.

Entretanto, persistem lacunas críticas como a ausência de explicabilidade algorítmica (XAI), a escassez de validações em campo, a falta de interoperabilidade entre plataformas e a concentração geográfica da produção científica. Para superar esses desafios, recomenda-se o avanço em estudos empíricos com dados reais, o desenvolvimento de métricas padronizadas, a incorporação de técnicas de XAI (como SHAP e LIME) e a ampliação das aplicações em contextos urbanos de países em desenvolvimento. A RSL conclui que o uso responsável e auditável de IA na engenharia civil é fundamental para consolidar a Construção 4.0 como eixo estruturante da inovação e da sustentabilidade no setor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade São Judas Tadeu e ao Instituto Ânima SOSIESC de Inovação pelo apoio institucional prestado durante a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] V. Asghari, M. Hossein Kazemi, M. Shahrokhishahraki, P. Tang, A. Alvanchi, S.-C. Hsu, Process-oriented guidelines for systematic improvement of supervised learning research in construction engineering, Adv. Eng. Inform. 58 (2023) 102215. https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102215.

[2] J. Garcia, G. Villavicencio, F. Altimiras, B. Crawford, R. Soto, V. Minatogawa, M. Franco, D. Martínez-Muñoz, V. Yepes, Machine learning techniques applied to construction: A hybrid bibliometric analysis of advances and future directions, Autom. Constr. 142 (2022) 104532. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104532.

[3] L. Rampini, F.R. Cecconi, Artificial intelligence in construction asset management: a review of present status, challenges and future opportunities, (2022). https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.043.

[4] A.O. Adeniran, F.S. Stephen, F.O. Babawole, M.O. Victoria, Adoption of Fourth Industrial Revolution Technologies in the Construction Sector: Evidence from Previous Studies, Int. J. Innov. Eng. 4 (2024) 1–18. https://doi.org/10.59615/ijie.4.3.1.

[5] E.T. Bartczak, M. Bassier, M. Vergauwen, CASE STUDY FOR UAS-ASSISTED BRIDGE INSPECTIONS, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. XLVIII-2-W3-2023 (2023) 33–39. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W3-2023-33-2023.

[6] W. He, J. Li, X. Kong, L. Deng, Multi-level physics informed deep learning for solving partial differential equations in computational structural mechanics, Commun. Eng. 3 (2024) 1–12. https://doi.org/10.1038/s44172-024-00303-3.

[7] S.O. Loya, E. Eze, I.A. Awodele, O. Sofolahan, O. Omoboye, Awareness and adoption readiness of machine learning technology in the construction industry of a developing country: a case of Nigeria, ITEGAM-JETIA 10 (2024) 50–62. https://doi.org/10.5935/jetia.v10i47.1072.

[8] H. Omrany, K.M. Al-Obaidi, A. Husain, A. Ghaffarianhoseini, Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions, Sustainability 15 (2023) 10908. https://doi.org/10.3390/su151410908.

[9] R. Marcondes, S.L.R. da Silva, O protocolo Prisma 2020 como uma possibilidade de roteiro para revisão sistemática em ensino de ciências, Rev. Bras. Pós-grad. 18 (2022) 1–19. https://doi.org/10.21713/rbpg.v18i39.1894.

[10] P.K.S. Bhadauria, Comprehensive review of AI and ML tools for earthquake damage assessment and retrofitting strategies, Earth Sci. Inform. (2024). https://doi.org/10.1007/s12145-024-01431-2.

[11] Y. Hooda, P. Kuhar, K. Sharma, N.K. Verma, Emerging Applications of Artificial Intelligence in Structural Engineering and Construction Industry, J. Phys. Conf. Ser. 1950 (2021) 012062. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1950/1/012062.

[12] T. Omotayo, T. Egbelakin, O. Ogunmakinde, A. Sojobi, eds., Innovations, Disruptions and Future Trends in the Global Construction Industry, Routledge, London, 2024. https://doi.org/10.1201/9781003372233.

[13] I. Kostavelis, L. Nalpantidis, R. Detry, H. Bruyninckx, A. Billard, S. Christian, M. Bosch, K. Andronikidis, H. Lund-Nielsen, P. Yosefipor, U. Wajid, R. Tomar, F.Ll. Martínez, F. Fugaroli, D. Papargyriou, N. Mehandjiev, G. Bhullar, E. Gonçalves, J. Bentzen, M. Essenbæk, C. Cremona, M. Wong, M. Sanchez, D. Giakoumis, D. Tzovaras, RoBétArmé Project: Human-robot collaborative construction system for shotcrete digitization and automation through advanced perception, cognition, mobility and additive manufacturing skills, Open Res. Eur. 4 (2024) 4. https://doi.org/10.12688/openreseurope.16601.1.

[14] J. Menegon, L.C.P. da Silva Filho, The Impact of Industry 4.0 Concepts and Technologies on Different Phases of Construction Project Lifecycle: A Literature Review, Iran. J. Sci. Technol. Trans. Civ. Eng. 47 (2023) 1293–1319. https://doi.org/10.1007/s40996-022-00989-5.

[15] A. Sawhney, M. Riley, I. Javier, Construction 4.0: An Innovation Platform for the Built Environment, 1st ed., Routledge, 2023. https://www.routledge.com/Construction-40-An-Innovation-Platform-for-the-Built-Environment/Sawhney-Riley-Irizarry/p/book/9781032653600 (accessed October 2, 2024).

[16] S. Alizadehsalehi, A. Hadavi, Synergies of Lean, BIM, and Extended Reality (LBX) for Project Delivery Management, Sustainability 15 (2023) 4969. https://doi.org/10.3390/su15064969.

[17] S.K. Baduge, S. Thilakarathna, J.S. Perera, M. Arashpour, P. Sharafi, B. Teodosio, A. Shringi, P. Mendis, Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications, Autom. Constr. 141 (2022) 104440. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104440.
[18] K. Khurshid, A. Danish, M.U. Salim, M. Bayram, T. Ozbakkaloglu, M.A. Mosaberpanah, An In-Depth Survey Demystifying the Internet of Things (IoT) in the Construction Industry: Unfolding New Dimensions, Sustainability 15 (2023) 1275. https://doi.org/10.3390/su15021275.
[19] M.A. Musarat, W.S. Alaloul, A.M. Khan, S. Ayub, N. Jousseaume, A survey-based approach of framework development for improving the application of internet of things in the construction industry of Malaysia, Results Eng. 21 (2024) 101823. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101823.
[20] X. Han, J. Zheng, L. Chen, Q. Chen, X. Huang, Semantic segmentation model for concrete cracks based on parallel Swin-CNNs framework, Struct. Health Monit. (2024) 14759217241228532. https://doi.org/10.1177/14759217241228532.
[21] J. Hu, Analysis on the application status and prospect of intellectualization and digitization in civil engineering, Appl. Comput. Eng. 24 (2023) 75–82. https://doi.org/10.54254/2755-2721/24/20230680.
[22] A. Ramezantitkanloo, D. Czepiżak, M. Pieńko, Problems of monitoring critical elements of scaffolding, Arch. Civ. Eng. LXX (2024) 233–254. https://doi.org/10.24425/ace.2024.151890.
[23] M.O. Adeagbo, S.-M. Wang, Y.-Q. Ni, Revamping structural health monitoring of advanced rail transit systems: A paradigmatic shift from digital shadows to digital twins, Adv. Eng. Inform. 61 (2024) 102450. https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102450.
[24] S.D. Datta, M. Islam, M.H.R. Sobuz, S. Ahmed, M. Kar, Artificial intelligence and machine learning applications in the project lifecycle of the construction industry: A comprehensive review, Heliyon 10 (2024). https://doi.org/10.1016/j.heliyon 2024.e26888.
[25] Y. Jia, M.R. Hosseini, B. Zhang, I. Martek, B. Nikmehr, J. Wang, A scientometric-content analysis of integration of BIM and IoT, in: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., IOP Publishing, 2022: p. 072002. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1101/7/072002/meta (accessed April 12, 2025).
[26] V.K. Reja, M. Sindhu Pradeep, K. Varghese, Digital Twins for Construction Project Management (DT-CPM): Applications and Future Research Directions, J. Inst. Eng. India Ser. A 105 (2024) 793–807. https://doi.org/10.1007/s40030-024-00810-8.
[27] L. Parida, S. Moharana, Current status and future challenges of digital twins for structural health monitoring in civil infrastructures, Eng. Res. Express 6 (2024) 022102. https://doi.org/10.1088/2631-8695/ad4aea.
[28] A.G. Correia, E. Gastine, How AI and IoT are transforming geotechnical site monitoring and construction, in: Geotech. Eng. Chall. Meet Curr. Emerg. Needs Soc., CRC Press, 2024.
[29] R. Zinno, S.S. Haghshenas, G. Guido, K. Rashvand, A. Vitale, A. Sarhadi, The State of the Art of Artificial Intelligence Approaches and New Technologies in Structural Health Monitoring of Bridges, Appl. Sci. 13 (2023) 97. https://doi.org/10.3390/app13010097.
[30] E.E. Tita, G. Watanabe, P. Shao, K. Arii, Development and Application of Digital Twin–BIM Technology for Bridge Management, Appl. Sci. 13 (2023) 7435. https://doi.org/10.3390/app13137435.
[31] A.K. Kaushik, R. Islam, S. Elbahy, M. Arif, Artificial Neural Network Application in Construction and the Built Environment: A Bibliometric Analysis, Buildings 14 (2024) 2423. https://doi.org/10.3390/buildings14082423.
[32] M. Nour El-Din, P.F. Pereira, J. Poças Martins, N.M.M. Ramos, Digital Twins for Construction Assets Using BIM Standard Specifications, Buildings 12 (2022) 2155. https://doi.org/10.3390/buildings12122155.
[33] O.S. Yousif, R. Zakaria, N. Wahi, E. Aminudin, A.H. Abdul Tharim, J.A. Gara, N.I.L. Umran, R. Khalid, N. Ismail, Monitoring the Construction Industry Towards a Construction Revolution 4.0 | IIETA, Int. J. Sustain. Dev. Plan. (2022). https://doi.org/10.18280/ijsdp.170228.
[34] A.A. Hussien, A.S. Adewumi, The built environment and industry/construction 4.0 technologies towards achieving SDGs, in: Elgar Companion Built Environ. Sustain. Dev. Goals, 2024. https://www.elgaronline.com/edcollchap/book/9781035300037/book-part-9781035300037-33.xml (accessed October 2, 2024).
[35] M. Pan, Y. Yang, Z. Zheng, W. Pan, Artificial Intelligence and Robotics for Prefabricated and Modular Construction: A Systematic Literature Review, J. Constr. Eng. Manag. 148 (2022) 03122004. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002324.
[36] N.M. Saeed, Recent advances in structural health monitoring: techniques, applications and future directions, Int. J. Reliab. Saf. 18 (2024) 55–85. https://doi.org/10.1504/IJRS.2024.139199.
[37] A.L.C. Ottoni, M.S. Novo, D.B. Costa, Deep Learning for vision systems in Construction 4.0: a systematic review, Signal Image Video Process. 17 (2023) 1821–1829. https://doi.org/10.1007/s11760-022-02393-y.

[38] W. Wang, L. Li, Z. Qu, X. Yang, Enhanced damage segmentation in RC components using pyramid Haar wavelet downsampling and attention U-net, Autom. Constr. 168 (2024) 105746. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105746.
[39] G. Cosoli, A. Mobili, E. Blasi, F. Tittarelli, M. Martarelli, G.M. Revel, Development and metrological characterization of cement-based elements with self-sensing capabilities for structural health monitoring purposes, Acta IMEKO 12 (2023) 1–12. https://doi.org/10.21014/actaimeko.v12i2.1420.
[40] W. Doghri, A. Saddoud, L. Chaari Fourati, Cyber-physical systems for structural health monitoring: sensing technologies and intelligent computing, J. Supercomput. 78 (2022) 766–809. https://doi.org/10.1007/s11227-021-03875-5.
[41] Y. Li, Y. Li, Z. Ding, Building Information Modeling Applications in Civil Infrastructure: A Bibliometric Analysis from 2020 to 2024, Buildings 14 (2024) 3431. https://doi.org/10.3390/buildings14113431.
[42] N. Perrier, A. Bled, M. Bourgault, N. Cousin, C. Danjou, R. Pellerin, T. Roland, Construction 4.0: A comparative analysis of research and practice, J. Inf. Technol. Constr. ITcon 29 (2024) 16–39. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.002.
[43] C.J. Turner, J. Oyekan, L. Stergioulas, D. Griffin, Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities, IEEE Trans. Ind. Inform. 17 (2021) 746–756. https://doi.org/10.1109/TII.2020.3002197.
[44] L. Zhang, Y. Li, Y. Pan, L. Ding, Advanced informatic technologies for intelligent construction: A review, Eng. Appl. Artif. Intell. 137 (2024) 109104. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109104.
[45] UNO, THE 17 GOALS | Sustainable Development, (2015). https://sdgs.un.org/goals (accessed February 27, 2024).
[46] A. Mannino, M.C. Dejaco, F. Re Cecconi, Building Information Modelling and Internet of Things Integration for Facility Management—Literature Review and Future Needs, Appl. Sci. 11 (2021) 3062. https://doi.org/10.3390/app11073062.
[47] A.E. Ntefua Saah, J. Choi, Blockchain technology in the AEC industry: Scientometric analysis of research activities, J. Build. Eng. 72 (2023) 106609. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106609.
[48] H. Omrany, A. Mehdipour, D. Oteng, Digital Twin Technology and Social Sustainability: Implications for the Construction Industry, Sustainability 16 (2024) 8663. https://www.mdpi.com/2071-1050/16/19/8663 (accessed April 12, 2025).

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-50

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

O BAMBU: CARACTERÍSTICAS E POTENCIALIDADES SUSTENTÁVEIS

SILVEIRA, Diego Paim[1]; OLIVEIRA, Taisa Raquel de Melo[2]; ALBUQUERQUE, Cinthia Maria Silva de[3]; SANTOS, Elias Portela[4]; EUFRÁSIO, Fernando Lucas Feitosa[5]

[1] UNICHRISTUS, Fortaleza, Brasil, diego.paim@unichristus.edu.br,
[2] UNICHRISTUS, Fortaleza, Brasil, taisa.raquel@yahoo.com
[3] UNICHRISTUS, Fortaleza, Brasil, cinthia.maria.silva.1317@hotmail.com
[4] UNICHRISTUS, Fortaleza, Brasil, eliasportelast@gmail.com
[5] UNICHRISTUS, Fortaleza, Brasil, feufrasiouniv@gmail.com

RESUMO

Nos últimos anos, a construção civil e a arquitetura têm buscado materiais e tecnologias construtivas sustentáveis que possam minimizar os impactos ambientais sem comprometer a qualidade e a funcionalidade das edificações. Por ser perene e de rápido crescimento e fácil regeneração, o bambu pode produzir por mais de trinta anos sem a necessidade de replantio. O objetivo deste artigo é fazer o levantamento das principais espécies de bambu encontradas no Brasil e analisar suas características físicas e potencialidades sustentáveis. A metodologia é predominantemente qualitativa, por meio de investigação exploratória de dados em bibliografia acadêmica. Verificou-se que o Brasil possui uma grande quantidade de espécies de bambu em seu território, distribuídas em diferentes condições climáticas, o que potencializa o desenvolvimento de programas de incentivo à produção de bambu. Contudo, ainda há desafios, como a falta de padronização nos processos de produção e limitações de ordem cultural. Conclui-se que, para ampliar o uso do bambu no Brasil, é necessária, primeiramente, uma mudança de paradigmas em todos os setores de pesquisa e desenvolvimento — na academia e na construção civil — até a formulação de políticas públicas e incentivos mais robustos voltados à pesquisa sobre o bambu, para acompanhar o crescimento da demanda por bambu no mercado interno e externo.

Palavras-chave: bambu; espécie de bambu; sustentabilidade; aplicabilidade do bambu.

ABSTRACT

In recent years, the construction and architecture sectors have sought sustainable construction materials and technologies that can minimize environmental impacts without compromising the quality and functionality of buildings. Because it is perennial, fast-growing, and easily regenerates, bamboo can be produced for more than thirty years without the need for replanting. The objective of this article is to survey the main bamboo species found in Brazil and analyze their physical characteristics and sustainable potential. The methodology is predominantly qualitative, through exploratory research of data from academic literature. It was found that Brazil has many bamboo species in its territory, distributed in different climatic conditions, which enhances the development of programs to encourage bamboo production. However, there are still challenges, such as the lack of standardization in production processes and cultural limitations. It is concluded that, in order to expand the use of bamboo in Brazil, it is necessary, first of all, to change paradigms in all research and development sectors — in academia and in civil construction — until the formulation of public policies and more robust incentives aimed at research on bamboo, to keep up with the growth in demand for bamboo in the domestic and foreign markets.

Keywords: bamboo; bamboo specie; sustainability; applicability of bamboo.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a construção civil e a arquitetura têm buscado materiais e tecnologias construtivas sustentáveis que possam minimizar os impactos ambientais sem comprometer a qualidade e a funcionalidade das edificações. Presente em diversas partes do mundo, o bambu pode ser utilizado para diversas finalidades, inclusive em projetos de arquitetura [1]. Segundo a *Intenational Bamboo and Rattan Organization*, o bambu movimenta cerca de 60 bilhões de dólares ao ano no mercado mundial [1].

Nesse contexto, o bambu tem emergido como um material promissor devido às suas características, como a rápida taxa de crescimento, alta resistência e flexibilidade. O interesse pelo uso do bambu não é apenas uma tendência moderna, mas uma redescoberta de um material que tem sido utilizado há séculos em diversas culturas ao redor do mundo [2]. Uma das principais discussões atuais no campo da arquitetura e construção é sobre os diferentes tipos de bambu e suas aplicações específicas em projetos arquitetônicos. Com uma variedade de espécies disponíveis, cada uma com propriedades únicas, o bambu pode ser utilizado de diversas maneiras, desde estruturas de suporte até elementos decorativos [3].

Este artigo, tem como objetivo é fazer o levantamento das principais espécies de bambu encontradas no Brasil e analisar suas características físicas e potencialidades sustentáveis. A metodologia é predominantemente qualitativa, por meio de investigação exploratória de dados em bibliografia acadêmica. As pesquisas partiram da investigação exploratória em bases de dados de referência acadêmica. Primeiramente é apresentado o bambu, em seguida o mapeamento das espécies e o cultivo do bambu no Brasil. Em seguida, uma revisão das regulamentações e normas brasileiras que fixam as diretrizes do uso de bambu. Após isso direcionou-se à pesquisa para identificar as potencialidades do bambu na sustentabilidade e, por fim, identificar e avaliar os desafios e potencialidades do bambu e as conclusões finais da pesquisa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O bambu

Conforme Minke [4], o termo “bamboo” foi introduzido pelo botânico sueco Carl von Linné em 1753. O bambu é uma gramínea herbácea como o arroz, o milho e a cana-de-açúcar, contudo, o que o difere destes é a lignina dos seus tecidos que se torna, após alguns anos, uma estrutura tão dura quanto a da madeira, porém mais flexível e leve. O bambu, em sua forma selvagem, pode ser encontrado em todos os continentes, especialmente em zonas quentes e locais de clima tropical e subtropical. Conforme Minke [4], o bambu pode ser dividido em rizomas e raízes, colmos, galhos, folhas, flores e frutos (Figura 1).

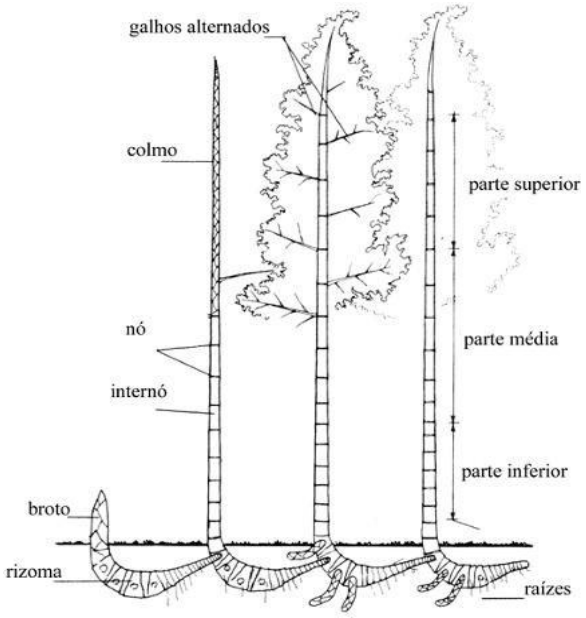


Figura 1 – Estrutura morfológica do bambu [6].

São reconhecíveis pela sua diversidade morfológica e seu entendimento é fundamental para o reconhecimento de suas diferentes espécies. Quanto à morfologia, a porção subterrânea do caule é denominada rizoma, podendo ser *rizoma paquimorfo* (Figura 2), quando se organiza em touceiras com altura de até dois metros, ou *rizoma leptomorfo*, quando são alastrantes (Figura 3). Minke [4] acrescenta que existem combinações dos dois rizomas, denominando-se metamorfo.

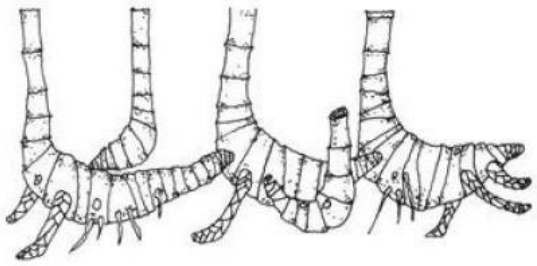


Figura 2 – Rizoma Paquimorfo [6].

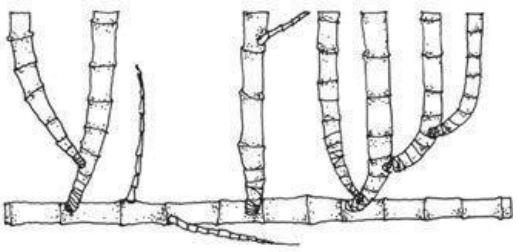


Figura 3 – Rizoma Leptomorfo [6].

Conforme Filgueiras e Viana [5] a parte aérea do caule é denominada colmo e "são formados por nós, entrenós e gemas, podendo ser sólidos, fistulosos ou medulosos, eretos, arqueados, apoiados ou escandentes". O caule tem variação quanto a espessura de suas paredes, que podem ser delgadas e frágeis ou espessas e rígidas; podem ser cilíndricos, sulcados ou achatados; possuem variação de cores entre verde, castanho e amarelo; o comprimento relativo dos entrenós ao longo do colmo e a morfologia da região nodal também apresentam variações como os padrões de ramificações dos colmos [5]. As folhas dos bambus são classificadas como gramíneas e podem apresentar diferentes morfologias (por exemplo, acuminiadas que são afinadas nas pontas) e funções (por exemplo, folhas fotossintetizantes ou das ramificações) [6].

2.2 Espécies brasileiras

Conforme o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (2004) "os bambus estudados e empregados com maior frequência no Brasil são espécies trazidas da Ásia pelos colonizadores portugueses e, mais recentemente, por imigrantes japoneses.". Devido sua fácil adaptação, cultivo e rápido crescimento, o bambu tem sido usado na indústria do papel, fabricação de móveis e objetos [7].

Estima-se que existam 1.200 espécies de bambu, das espécies catalogadas 750 são de origem asiática e 450 são encontradas nas Américas e, a maior diversidade é encontrada no Brasil [4]. Segundo Filgueiras e Viana [5] a lista de espécies brasileiras é de 258 espécies de bambus nativos divididos em duas espécies: *Olyreae* e *Bambuseae* e abrange cerca de 180 mil quilômetros quadrados de floresta no sudoeste da Amazônia legal [1]. Essa expansão de bambu cobre cerca de 40% das florestas acreanas e equivalem a aproximadamente 4,5 milhões de hectares com bambus nativos [1].

Na lista de espécies da flora brasileira, a triblo *Olyreae* é composta por bambus herábceaos e tem 17 gêneros e 93 espécies. Dentre as tribos, com maior gênero, é a *Pariana*, que possui 29 espécies, sendo onze delas endêmicas. Outra espécie encontrada no Brasil é a *Olyra* (vinte espécies) encontrada em áreas úmidas, geralmente, em matas primárias e secundárias. A *Raddia* (nove espécies) é o terceiro maior gênero e o Brasil é o maior centro de diversidade do gênero *A. R. esenbeckii*, está entre as espécies mais raras na natureza devido seu pequeno porte. A *Diandrolyra tatianae*, encontra-se ameaçada devido suas populações ocorrem em locais que sofrem com o desmatamento,o uso do fogo e a extração de madeira [5].

Na tribo *Bambuseae* e *Guadua*, é composta por bambus lignificados ou lenhosos que atingem mais de 30 metros de altura e 15 centímetros de diâmetro, apresentam 18 gêneros e 165 espécies. Dentre os gêneros, "*Chusquea* e *Merostachys*, ambos com 44 espécies, sendo 41 endêmicas. Estes são os dois maiores gêneros de *Bambuseae* no Brasil" [5]. O gênero

Merostachys, que possuem variadas espécies com grande potencial ornamental, a *Chusquea* também é encontrada em todas as regiões do país, especialmente em locais com maior altitude [5]. Para além das citadas acima, Filgueiras e Viana [5] apontam ainda as seguintes espécies distribuídas no território brasileiro, conforme na Tabela 1.

Tabela 1 – Espécies distribuídas no território brasileiro [5].

Espécie (gênero)	Estado/Região
Aulonemia	Norte
Atractantha e Colanthelia	Norte, Nordeste e Sudeste
Colanthelia	Sudeste e Sul
Myriocladus	Norte
Rhipidocladum	Norte, Centro-Oeste, Sul e Sudeste
Filgueirasia	Centro-Oeste
Cambajuva ulei	Sul
Apoclada	Sul e Sudeste
Athroostachys	Sudeste e Nordeste
Pariana	Nordeste
A. R. esenbeckii,	Centro-Oeste e Sudeste
Diandrolyra tatianae	Nordeste e Sudeste
Merostachys	Sul e Sudeste

Em determinadas condições ecológicas, algumas das espécies de bambu nativos brasileiros tornaram-se dominantes ou codominantes em partes da Amazônia, na Mata Atlântica e no Cerrado. Os estudos sobre bambus nativos brasileiros têm avançado em quantidade e qualidade, contudo, há carência de pesquisa relacionadas à conservação e avaliação dos recursos genéticos dos bambus brasileiros [5].

Para Miranda [1], a diversidade de espécies de bambu no Brasil, corresponde a cerca de 20% do total de bambus no mundo o que deveria favorecer a realização de pesquisas para o melhoramento genético da grama e conservação da espécie. Atualmente, segundo a autora, os esforços para a manutenção das espécies acontecem através da Embrapa em parceria com a Universidade de Brasília, desde 2013, com a produção *in vitro I* (Figura 4) que objetiva a produção de mudas de qualidade, em larga escala e reduz o tempo de custos e com mão-de-obra [1]. Além da produção *in vitro*, no Acre a produção de mudas de bambu ocorre em viveiros instalados em propriedades rurais, especialmente do gênero *Guadua*.



Figura 4 – produção *in vitro* [1].

2.3 Regulamentações e Normas Técnicas

No aspecto regulamentar no Brasil, a Lei Nº 12.484, de 8 de setembro de 2011, dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB) e dá outras providências. Em seu Art. 1º apresenta

como objetivo “o desenvolvimento da cultura do bambu no Brasil por meio de ações governamentais e de empreendimentos privados” e seus incentivos “destinam-se ao manejo sustentado das formações nativas e ao cultivo de bambu voltado para a produção de colmos, para a extração de brotos e obtenção de serviços ambientais, bem como à valorização desse ativo ambiental como instrumento de promoção de desenvolvimento socioeconômico regional.” [8]

Segundo o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, “bambu pode representar uma alternativa econômica sustentável à madeira e uma forma rentável de inclusão social” (Brasil, 2004). No Brasil, a regulamentação e normativas para o uso e gestão de bambu é definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Atualmente, as normas vigentes são [8]:

1. ABNT NBR 16828-1/2020: Estruturas de bambu - Parte 1: Projeto: Esta Norma estabelece os requisitos básicos para projeto de estruturas feitas com colmos de bambu, abordando as propriedades físicas e mecânicas, a servicibilidade e a durabilidade das estruturas de bambu. Esta Norma não é aplicável às estruturas de bambu laminado colado, nem às estruturas em que o bambu faz parte de compósitos. Esta Norma não inclui requisitos para evitar os estados-limite gerados por certos tipos de ações, como aquelas provenientes de sismos, impactos e explosões.

2. ABNT NBR 16828-2/2020: Estruturas de bambu - Parte 2: determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu: Esta norma especifica os métodos de ensaio para determinação das propriedades físicas e mecânicas do colmo ou de parte dele, para servirem de base ao projeto de estruturas de bambu. Esta Norma também especifica métodos de ensaio para avaliar as propriedades físicas do bambu: teor de umidade, massa por volume, retração; e as propriedades mecânicas: resistência à compressão paralela às fibras, resistência à flexão do colmo, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, resistência à tração paralela às fibras.

3. ABNT NBR 17043/2023: Varas de bambu para uso estrutural - colheita, tratamento preservativo e classificação pelo diâmetro: esta norma estabelece os requisitos referentes a colheita, tratamento preservativo e classificação pelo diâmetro de varas de bambu para uso estrutural. Esta norma aplica-se às varas de bambu para uso estrutural conforme a ABNT NBR 16828.

2.3 O bambu e as oportunidades para práticas sustentáveis

De acordo com Meza *et al*. [9] o bambu em sua forma natural (colmos ou varas) é um material que tem recebido atenção especial nas últimas décadas devido às suas características estruturais, sustentáveis e renováveis, além do seu potencial anual de sequestro de carbono e rápido crescimento. A principal vantagem do uso de colmos de bambu na construção civil é a redução das emissões de dióxido de carbono geradas por elementos estruturais convencionais feitos de aço, concreto e alumínio. Assim, o bambu pode diminuir a demanda por materiais de construção industrializados, promovendo ao mesmo tempo a atividade econômica regional. Além disso, o bambu é um recurso natural renovável e altamente sustentável – a planta cresce rapidamente, tornando-se um recurso abundante nas regiões tropicais e subtropicais do mundo.

A pesquisa por produtos e tecnologias de menor impacto ambiental e ecologicamente eficientes é promovida de forma célere na sociedade contemporânea. Para Nogueira *et al*. [10] o bambu representa uma alternativa inovadora para o agronegócio brasileiro e reforça que os avanços em programas de pesquisa e desenvolvimento científico são fundamentais para potencializar a utilização dessa matéria-prima visando a sustentabilidade e maximizar os benefícios socioeconômicos e ambientais. Corroborando com Nogueira, Figueira e Viana [5], colocam que:

> Os bambus são um dos recursos naturais que mais apresentam oportunidade para exploração econômica direta e sustentável. A industrialização da matéria prima no local é, sem dúvida, uma alternativa a ser explorada em contraponto à exportação da matéria bruta. Os bambus nativos representam uma oportunidade para pôr em prática o uso sustentável da biodiversidade nacional, colocando-a a serviço da sociedade brasileira do presente e do futuro [5].

Para Mahdavi *et al*. [11], o bambu destaca-se pela capacidade de sequestro de grande quantidade de carbono e pode ser incorporado no processo de industrialização de materiais de construção como a Madeira Laminada de Bambu o que contribuir para o entendimento do bambu como uma alternativa sustentável. Mink [4] coloca que essa capacidade está

ligada ao seu rápido crescimento acaba sendo mais eficiente que as demais plantas que possuem um manejo e crescimento mais lento. Conforme Minke [4] uma plantação de Guadua angustifolia consegue absorver 149.9 toneladas de carbono nos seus primeiros sete anos, sendo uma média de 21.41 toneladas de carbono por ano por hectare.

Por ter um crescimento rápido, o bambu pode ser utilizado para produção de biomassa [4]. Conforme Bondani [12] ressalta que, no Brasil já foram elaboradas pesquisas que validam a aplicabilidade do cultivo de bambu para a produção de biomassa e Teixeira *et al*. [13] acrescenta que "o uso comercial do bambu aumentou rapidamente nos últimos anos e está se popularizando como um excelente substituto para a madeira na produção de celulose, papel e carvão e na construção civil" e que pode ser utilizado como resíduos para a produção de bioenergia ou biocarvão. Os autores acrescentam, ainda, que o uso do biocarvão, como elemento de retenção de água (biochar), pode melhorar as propriedades do solo e pode resultar em menor perda de nutrientes [13].

Teixeira *et al*. [13], ponderam que experimentos com a aplicação de biocarvão no campo no Brasil ainda são raros, mas os existentes mostraram respostas promissoras no aumento da fertilidade e produtividade dos cultivos. Para os autores, o biocarvão de bambu possui potencial para ser utilizado como condicionador de solos para aumentar a retenção de água [13]. Minke [4] elenca, ainda, como os efeitos ambientalmente positivos decorrentes de bambu, a capacidade de redução de temperatura por meio de suas folhas que reduzem a temperatura através da evaporação da água e, regulação do fluxo hidráulico através da retenção de água em seu caule, o bambu serve como "reservatório" de água nas estações secas.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Este estudo adotou uma abordagem qualitativa, com caráter exploratório e propositivo, tendo como objetivo oferecer uma descrição, avaliação, ou o desenvolvimento de uma teoria. A pesquisa parte de uma investigação bibliográfica em base de dados digitais como Google Scholar e Elsevier, normativas publicadas pela Associação Brasileira de Normas técnicas, plataformas governamentais e livros de autores(as) referência. A estrutura metodológica foi organizada em quatro etapas: 1) levantamento teórico para contextualização morfológica do bambu; 2) pesquisa sobre os tipos de bambus mapeados no território brasileiro e em quais regiões são encontrados; 3) levantamento das normas nacionais que estabelecem os critérios para o uso do bambu e, 4) identificação de pesquisas que validam o bambu como tecnologia sustentável. A proposta considerou as características socioambientais do local, visando o manejo integrado das águas pluviais e à qualificação do espaço público. As estratégias adotadas buscaram requalificação paisagística que pudessem contribuir a adaptação do território às mudanças climáticas e a melhoria da qualidade de vida da comunidade local. Adotou-se o processo indutivo para a investigação acerca da disponibilidade do bambu no território brasileiro e identificação dos seus potenciais quando possível classificação quanto produto sustentável.

4. RESULTADOS

Tendo como objetivo principal do artigo a investigação da disponibilidade do bambu no território brasileiro e as suas características sustentáveis, os dados analisados apontam para um potencial mercado no cultivo do bambu e com muitas possiblidades ambientais, sociais e econômicas. Apesar do interesse pelo uso do bambu ter crescido nas últimas décadas no brasil, a cadeia produtiva ainda enfrenta desafios significativos especialmente quando o enfrentamento é com o processo estandardizado da construção civil que é adepta quase que exclusivamente do concreto ou, quando se aproxima de materiais naturais, prioriza o uso de madeiras com maior produção industrial como o pinus e o eucalipto nas construções. Quanto suas características físicas e mecânicas (resistência de tração, compressão ou flexibilidade), já foram desenvolvidos estudos que comprovam sua eficiência, conforme Tabela 2. Isso nos permitem refletir sobre as possibilidades de expansão do uso do bambu no setor da arquitetura e da construção civil visto que pode ser explorado de diversas formas como elementos estruturais, mobiliários, revestimentos etc. contudo, para que isso de fato aconteça é fundamental a ampliação da pesquisa no desenvolvimento de normas visto que, atualmente, no Brasil existem apenas três normas regulamentadoras.

Tabela 2 – Tabela síntese das características físicas e mecânicas do bambu [4].

Critério de Avaliação	Característica
Umidade Relativa	Em estado de crescimento, o teor de umidade pode ser superior a 70% na primeira parte do caule, caindo para aproximadamente 20% após quatro a seis anos, quando endurece

Contração durante a secagem	O comprimento da vara de bambu do estado verde ao estado lenhoso (quando o teor de água é de aproximadamente 20%) diminui entre 4% e 14%; em seu diâmetro, a contração fica entre 3% e 12%. O comprimento da *Guadua angustifolia* diminui entre 3% e 10%.
Resistência a Tração	Uma vara de bambu apresenta alta resistência à tração, especialmente em sua camada externa. Esta camada suporta até 40 kN/cm² (= 400 N/mm² = 400 MPa), atingindo a resistência do aço.
Resistência a Compressão	A resistência à compressão oferecida por um colmo depende do seu diâmetro e espécie (por exemplo, o *Guadua angustifólia* com 10 centímetros de diâmetro e 3,50 metros de complimento, com espessur de entrenó de 1,5 centímetros apresenta resistência de 70,4 kN (= 7,040 toneladas).

Diante das informações e dados apresentados, evidencia-se que o bambu possui atributos técnicos compatíveis para a aplicação em projetos de arquitetura, além de representar uma alternativa sustentável diante dos desafios ambientais contemporâneos. Para que seu uso se torne mais recorrente e viável em larga escala, é imprescindível que políticas públicas, incentivos à produção e investimentos em pesquisa sejam fortalecidos, ampliando a pesquisa, a normatização e a profissionalização da cadeia produtiva. Dessa forma, o bambu pode deixar de ser uma opção alternativa e consolidar-se como um material estratégico, capaz de contribuir para a inovação construtiva, a preservação ambiental e o desenvolvimento socioeconômico de forma integrada e resiliente.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se, portanto, que para que o Brasil possa se beneficiar do uso do bambu como prática sustentável na arquitetura, é imprescindível uma mudança de paradigmas em todos os setores envolvidos com pesquisa, desenvolvimento e aplicação deste recurso. Essa transformação deve abranger desde a introdução do estudo do bambu como tecnologia construtiva nos cursos de arquitetura e urbanismo e engenharia civil, bem como no setor de desenvolvimento e operacional da construção civil — incentivando estudos e a aplicabilidade do bambu em propostas arquitetônicas — até a formulação de políticas públicas e a criação de incentivos robustos voltados à pesquisa, ao cultivo e à popularização desse material. Nesse contexto, o investimento em pesquisas se mostra essencial para orientar ações estratégicas capazes de suprir a crescente demanda por bambu tanto no mercado interno quanto no exterior. O Brasil dispõe de condições favoráveis para essa expansão, visto que já tem áreas naturais de espécies como a *Guadua*, que apresentam características físicas semelhantes às da madeira convencional — resistência, leveza e flexibilidade — e um clima propício ao cultivo em todas as regiões. Além disso, o bambu se destaca por seu caráter renovável, pelos múltiplos usos e pelo potencial de contribuir para a recuperação de áreas degradadas. Dessa forma, consolida-se não apenas como uma alternativa produtiva viável para agricultores familiares, mas também como uma solução estratégica para o setor da construção civil que busca minimizar os impactos ambientais.

AGRADECIMENTOS

A equipe de autoras e autores agradecem ao Centro Universitário Christus - Unichristus pelo incentivo a pesquisa acadêmica através dos programas de Grupo de Estudo e Pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] MIRANDA, Elias. **Bambu é alternativa de renda na produção familiar.** Embrapa, 2018. Disponível em:< https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34230725/bambu-e-alternativa-de-renda-na-producao-familiar>. Acesso em: 17 de abril de 2025.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16828-2: **Estruturas de bambu - Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu**. São Paulo: Brasília, 2020.

[3] NUNES, Gabrielly. **O uso do bambu como material estrutural na construção civil**. Dissertação de Mestrado. Centro Universitário João Pessoa2021. Departamento de engenharia civil. Disponível em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/4366-17668-1-PB.pdf. Acesso em: 20 de junho de 2024.

[4] MINKE, Gernot. **Building with Bamboo: Design and Technology of a Sustainable Architecture**. 3 ed. Barcelona: Birkhäuser Basel, 2022.

[5] FILGUEIRAS, Tarciso, S., VIANA, Pedro, l. **Bambus brasileiros: morfologia, taxonomia, distribuição e conservação**. In: DRUMOND, Patricia Maria, WIEDMAN, Guilherme. Bambus no Brasil: da Biologia à Tecnologia. ISBN 9788589962223 1ª ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017.

[6] GUILHERME, Denilson O., RIBEIRO, Nathalia P., CEREDA, Marney, P. **Cultivo, manejo e colheita do bambu.** In: DRUMOND, Patricia Maria, WIEDMAN, Guilherme. Bambus no Brasil: da Biologia à Tecnologia. ISBN 9788589962223 1ª ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017.

[7] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Bambu pode ser alternativa a madeiras. Brasília, DF: Presidência da República, 2004. Disponível em:<https://www.gov.**br/mma/pt-br/noticias/bambu-pode-ser-alternativa-a-madeiras>. Acesso em: 15 de junho de 2024.

[8] BRASIL. Casa Civil. **Lei nº 12.484, de 8 de setembro de 2011.** Brasília, DF: Presidência da República, 2011. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12484.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2012.484%2C%20DE%208,Art.>. Acesso em: 15 de junho de 2024.

[9] MEZA, María Guadalupe Estrada, *et al*. **Design Exploration of Bamboo Shells Structures by Using Parametric Tools**. Applied Sciences, v. 12, n. 15, p. 7522, 2022.

[10] NOGUEIRA, Jênifer, S. *et al.* **Micropropagação de bambu em larga-escala: princípios, estratégias e desafios**. In: DRUMOND, Patricia Maria, WIEDMAN, Guilherme. Bambus no Brasil: da Biologia à Tecnologia. ISBN 9788589962223 1ª ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017.

[11] MAHDAVI *et al*. **A low-technology approach toward fabrication of Laminated Bamboo Lumber. Construction and Building Materials, v.29, p.257-265.** Elsevier, 2012. Disponível em:< https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811005952>. Acesso em: 17 de abril de 2025.

[12] BONDANI, Gilvano, E. *et al.* **Estabelecimento *in vitro* de *Bambusa Vulgaris Schrad*. ex J. C. Wendl e Dendrocalamnus apser (Shult. & Shult. F) Backer ex K. Heyne.** In: DRUMOND, Patricia Maria, WIEDMAN, Guilherme. Bambus no Brasil: da Biologia à Tecnologia. ISBN 9788589962223 1ª ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017.

[13] TEIXEIRA, Wenceslau, G. *et al.* **Retenção de água em carvão de bambu e madeira produzidos a diferentes temperaturas.** In: DRUMOND, Patricia Maria, WIEDMAN, Guilherme. Bambus no Brasil: da Biologia à Tecnologia. ISBN 9788589962223 1ª ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017.

[14] FLICK, Uwe. **Introdução à metodologia de pesquisa**. Porto Alegre: Penso, 2012. E-book. ISBN 9788565848138. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565848138/. Acesso em: 23 de maio de 2024.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-42

ÁREA TEMÁTICA: Sustentabilidade, Desempenho e Durabilidade

SISTEMAS SANITÁRIOS E PAPEL HIGIÊNICO: AVALIAÇÃO BIBLIOMÉTRICA DE DESEMPENHO, ENTUPIMENTOS E SUSTENTABILIDADE

RAZUK, Leonardo Waldeck Cunha[1]; ABOELKHEIR, Mostafa Galal[2]

[1] Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil – Universidade São Judas Tadeu (USJT), São Paulo – SP, Brasil, lrazuk23@gmail.com, n° do ORCID: 0009-0004-0974-2235
[2] Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil – Universidade São Judas Tadeu (USJT), São Paulo – SP, Brasil, prof.mostafamohamed@ulife.com.br, n° do ORCID: 0000-0002-5084-7379

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise bibliométrica qualitativa sobre o estado da arte das pesquisas em engenharia sanitária, com ênfase nos sistemas de descarga, papel higiênico, eficiência hidráulica, riscos de entupimento e abordagens sustentáveis para o saneamento. Foram examinados 18 documentos bibliográficos, todos disponíveis em acesso aberto e selecionados por sua relevância técnica e metodológica. A partir da leitura crítica e extração estruturada dos dados, os estudos foram agrupados em três eixos temáticos principais: (i) desempenho hidráulico, entupimentos e materiais associados; (ii) inovação tecnológica e validações experimentais; e (iii) sustentabilidade, ciclo de vida e gestão descentralizada. Os resultados mostram uma evolução metodológica significativa ao longo do período, com destaque para o uso crescente de análises de ciclo de vida (ACV), modelagens computacionais, testes laboratoriais padronizados e propostas de design sanitário alternativo. Além disso, observou-se uma ampliação do foco geográfico e da interdisciplinaridade dos estudos, com contribuições relevantes para políticas públicas, economia circular e tecnologias de baixo impacto ambiental. Esta análise fornece subsídios técnicos e críticos para o desenvolvimento de sanitários mais eficientes, seguros e alinhados aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

Palavras-chave: engenharia sanitária; entupimento; papel higiênico; ACV; inovação tecnológica; saneamento sustentável.

ABSTRACT

This paper presents a qualitative bibliometric analysis on the state of the art in sanitation engineering, focusing on flushing systems, toilet paper performance, hydraulic efficiency, clogging risks, and sustainable sanitation approaches. Eighteen open-access bibliographic documents published between 2010 and 2024 were selected for their methodological rigor and technical relevance. Through critical reading and structured data extraction, the studies were classified into three thematic axes: (i) hydraulic performance, clogging, and associated materials; (ii) technological innovation and experimental validation; and (iii) sustainability, life cycle, and decentralized management. The results highlight a methodological evolution over time, marked by the increasing use of Life Cycle Assessment (LCA), computational modeling, standardized laboratory tests, and alternative toilet designs. A broader geographic and interdisciplinary scope was also observed, with contributions to public policy, circular economy, and low-impact technologies. This analysis offers technical and critical insights for the development of more efficient, safe, and sustainable toilet systems aligned with the Sustainable Development Goals.

Keywords: sanitation engineering; clogging; toilet paper; LCA; technological innovation; sustainable sanitation.

1. INTRODUÇÃO

A gestão eficiente de sistemas sanitários urbanos e rurais representa um desafio persistente para a engenharia sanitária contemporânea, especialmente diante do aumento da demanda hídrica, da diversidade de contextos socioeconômicos e das novas exigências de sustentabilidade ambiental. Embora a bacia sanitária continue sendo um componente aparentemente simples da infraestrutura predial, ele é, na prática, um ponto crítico para a eficiência hidráulica, o risco de entupimentos e a gestão de resíduos sólidos no esgoto. O uso cotidiano do papel higiênico, muitas vezes ignorado em políticas públicas e normas técnicas, é um dos principais fatores associados a obstruções em redes coletoras, impactando tanto a operação do sistema quanto os custos de manutenção [1,2].

Pesquisas recentes destacam ainda que o design dos bacias sanitárias, o tipo de descarga, a qualidade do papel e até o comportamento do usuário influenciam diretamente o desempenho hidráulico e a probabilidade de bloqueios [3,4]. Além disso, iniciativas voltadas à redução do consumo de água, como as bacias de descarga ultrabaixa (ULFTs), podem comprometer a eficiência de transporte de sólidos, caso não sejam acompanhadas por adaptações no dimensionamento da rede ou no tipo de material descartado [2].

Nesse contexto, surgem também soluções tecnológicas e ecológicas inovadoras, como sistemas secos, sanitários de separação na fonte e modelos autolimpantes, que buscam alinhar o conforto do usuário à sustentabilidade ambiental, reduzindo impactos no ciclo de vida do sistema [5,6]. No entanto, a adoção desses sistemas ainda enfrenta limitações culturais, técnicas e institucionais, sobretudo em contextos urbanos de alta densidade ou regiões de baixa infraestrutura. Segundo a SABESP, são executadas anualmente mais de 60 mil desentupimentos no sistema de esgoto da região metropolitana de São Paulo, sendo 53% dessas intervenções apenas na capital paulista, e cerca de 80% dessas ocorrências é proveniente do descarte irregular de papeis higiênicos, lenços umedecidos, fraldas, e outros objetos, no sistema de esgoto [19,20].

O presente estudo tem como objetivo identificar tendências, lacunas e desafios atuais enfrentados pela engenharia sanitária, através de uma análise bibliométrica qualitativa que reúne e interpreta criticamente 18 documentos bibliográficos, com foco em três eixos temáticos principais: (1) desempenho hidráulico, entupimentos e materiais associados; (2) inovação tecnológica e avaliações experimentais; e (3) sustentabilidade, ciclo de vida e gestão descentralizada.

2. METODOLOGIA

Este estudo baseia-se em uma análise bibliométrica qualitativa, estruturada a partir de um conjunto selecionado de 18 documentos bibliográficos. Esses documentos, disponíveis em acesso aberto e em formato integral (PDF), foram escolhidos por abordarem temas críticos relacionados à engenharia sanitária, com ênfase em: desempenho hidráulico de bacias sanitárias, entupimentos por papel higiênico, testes laboratoriais de eficiência, e alternativas sustentáveis para gestão de efluentes e resíduos.

A investigação não segue os moldes de uma revisão sistemática convencional. Em vez disso, adotou-se uma abordagem interpretativa, voltada à identificação de padrões temáticos, lacunas metodológicas e contribuições recorrentes na literatura técnica. A triagem dos documentos respeitou três critérios principais:

(i) presença de palavras-chave diretamente relacionadas ao sistema sanitário (como “bacia sanitária”, “papel higiênico”, “entupimento”, “eficiência da descarga”, “ensaios laboratoriais”, “ciclo de vida”, entre outros);
(ii) clareza metodológica suficiente para permitir a extração de dados técnico-bibliográficos;
(iii) aplicabilidade ao contexto da sustentabilidade e operação de sistemas hidráulicos.

Cada documento foi submetido a um protocolo de leitura em três etapas complementares:

- Etapa 1 – Extração técnica padronizada: preenchimento de uma ficha com dados como o tipo de sistema sanitário estudado, o método de investigação (ensaio, modelagem, revisão ou estudo de caso), o local geográfico da aplicação e os principais termos-chave.
- Etapa 2 – Seleção de trechos relevantes: transcrição literal de citações que sintetizam a motivação da pesquisa, a abordagem metodológica e os principais achados de cada estudo.

- Etapa 3 – Síntese crítica temática: organização dos artigos em três eixos temáticos principais, definidos a partir da recorrência de tópicos e da similaridade metodológica e tecnológica entre os estudos analisados:

    1. Desempenho Hidráulico, Entupimentos e Materiais Associados
    2. Inovação Tecnológica e Avaliações Experimentais
    3. Sustentabilidade, Ciclo de Vida e Gestão Descentralizada

As informações gerais dos 18 documentos analisados estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Informações gerai dos documentos analisados

ID.	Título	Ano	País	Tipo de estudo
[1]	Solid Transfer in Low Flow Sewers, the Distance Travelled So Far Is Not Enough	2019	Irlanda	Artigo de periódico
[2]	Campus Study of the Impact of Ultra-Low Flush Toilets on Sewerage Networks and Water Usage	2021	Reino Unido	Artigo de periódico
[3]	Toilet paper perforation efficiency	2021	Portugal	Artigo de periódico
[4]	Environmental Life-Cycle Assessment of an Innovative Multifunctional Toilet	2021	Portugal	Artigo de periódico
[5]	Innovative Toilet Technologies for Smart and Green Cities	2015	Korea	Artigo de congresso
[6]	A Review of Dry Sanitation Systems	2020	Australia	Artigo de periódico
[7]	A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants – market supply potentials, technologies and bottlenecks	2020	Holanda	Artigo de periódico
[8]	A Comprehensive Review on Wastewater Nitrogen Removal and Its Recovery Processes	2023	China	Artigo de periódico
[9]	The cost of urban sanitation solutions: a literature review	2018	França	Artigo de periódico
[10]	Guide for Wastewater Management in Rural Villages in China	2011	EUA	Guia técnico
[11]	Plastic Pollution, Waste Management Issues, and Circular Economy Opportunities in Rural Communities	2021	Romênia	Artigo de periódico
[12]	Sustainable Sanitation Management Tool for Decision Making in Isolated Areas in Brazil	2019	Brasil	Artigo de periódico
[13]	What does it take to scale up rural sanitation	2012	Índia	Artigo de periódico
[14]	The geographical context of wastewater treatment and reuse: a benchmarking analysis for Spanish Mediterranean WWTPs	2019	Espanha	Artigo de periódico
[15]	Water End-Uses in Low-Income Houses in Southern Brazil	2014	Brasil	Artigo de periódico

[16]	Onsite sanitation systems and contamination of groundwater: A systematic review of the evidence for risk using the source-pathway-receptor model	2024	Reino Unido	Artigo de periódico
[17]	Sustainable Water Systems for the City of Tomorrow—A Conceptual Framework	2015	EUA	Artigo de periódico
[18]	Sanitation Services for the Urban Poor: Symposium Background Paper	2008	Holanda	Artigo de periódico

Fonte: Autores, 2025

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Eixo 1 - Desempenho Hidráulico, Entupimentos e Materiais Associados

A eficiência hidráulica dos sistemas sanitários segue sendo um dos pilares fundamentais da engenharia sanitária, especialmente diante das novas pressões por economia de água e sustentabilidade operacional. Neste eixo temático, os documentos analisados abordam de forma crítica a relação entre o volume de descarga das bacias sanitárias, as características físicas do papel higiênico utilizado e o impacto direto desses fatores sobre o risco de entupimentos em redes prediais e coletoras. A preocupação com a redução dos volumes de água por descarga, embora relevante do ponto de vista ambiental, tem revelado consequências operacionais importantes, especialmente no transporte de sólidos em redes com baixa declividade ou trechos com conexões mal executadas.

Estudos como os de McDermott et al. (2019) e Melville-Shreeve et al. (2021) mostram que sistemas com baixo volume de descarga (ULFTs) podem comprometer a capacidade de autolimpeza das tubulações, aumentando a frequência de obstruções, especialmente quando associados a características físicas pouco ideais do papel higiênico [1,2]. Por sua vez, Vieira et al. (2022) investigam experimentalmente a eficiência de perfuração de diferentes tipos de papel, evidenciando que o desempenho do material está mais associado à distância entre os cortes do que à sua composição fibrosa [3]. Já Rodrigues et al. (2021) reforçam que inovações sanitárias, como sistemas multifuncionais (ex: WashOne), devem considerar desde o projeto fatores de interação entre fluxo, resíduos sólidos e compatibilidade com o papel [4]. Além disso, os relatos de Kehrein et al. (2020) e Zhou et al. (2023) trazem elementos importantes sobre a gestão de sólidos em estações de tratamento, em uma perspectiva de ciclo de vida e reuso [7,8].

O Quadro 2 apresenta uma visão comparativa dos estudos mais representativos que abordam a eficiência hidráulica e os riscos de entupimento em sistemas sanitários. O Quadro reúne informações sobre os métodos utilizados, os contextos de aplicação e as principais contribuições técnicas identificadas:

Quadro 2 – Evidências Técnicas sobre Eficiência Hidráulica e Riscos de Entupimento em Sistemas Sanitários

Documento	Foco Principal	Contribuição-chave	Relevância para o Eixo
[1]	Redução de água e entupimentos	Baixo volume reduz eficiência de transporte sólido	Alta
[2]	ULFTs em campo real	Validação de desempenho sem aumento de entupimentos	Alta
[3]	Eficiência de perfuração	Distância dos cortes impacta diretamente a fragmentação	Média
[4]	ACV de bacias inovadora	Sistema multifuncional tem melhor desempenho ambiental	Média
[8]	Recuperação de nitrogênio	Relevância das cargas sólidas nos sistemas de membrana	Média
[7]	Economia circular em ETEs	Destino dos sólidos impacta todo o ciclo de esgoto	Alta

O estudo realizado por Melville-Shreeve et al. (2021) no campus da Universidade de Exeter estimou que o sistema com baixo volume de descarga pode economizar 2.287 m^3 de água ao ano, ou seja, aproximadamente £12.580/ao ano [1]. Destaca-se que, as bacias sanitárias utilizadas no estudo foram projetadas para funcionar com volume de descarga de 1,5 Lpf, valor muito inferior ao das bacias sanitárias do subtipo 4, produtos de menor volume previsto na norma, com volume nominal de 4 Lpf, sendo assim, pode-se dizer que o sistema de esgoto da universidade não foi projetado para produtos com volume tão baixo. Além disso, pontua-se que no a maior parte das manutenções realizadas no sistema da universidade foram causadas por problemas de vida útil e do descarte irregular de papel higiênico nas bacias sanitárias.

Este eixo reforça a necessidade de uma abordagem sistêmica no planejamento e avaliação de sistemas sanitários, considerando não apenas a redução no consumo de água, mas também os materiais utilizados e as condições físicas das redes. A relação entre descarga, papel higiênico e geometria da tubulação ainda carece de padronizações nos métodos de ensaio e de estudos longitudinais em campo. Há, portanto, uma oportunidade concreta para o desenvolvimento de pesquisas para aprimoramento das normas técnicas e de políticas públicas que incentivem soluções eficazes e integradas desde o projeto até a manutenção dos sistemas.

3.2 Eixo 2 - Inovação Tecnológica e Avaliações Experimentais

A busca por soluções mais eficientes e sustentáveis na engenharia sanitária tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas inovadores, cada vez mais respaldados por ensaios laboratoriais e simulações computacionais. Este eixo se debruça sobre as contribuições que aplicam metodologias experimentais, como testes de bancada, análises hidrodinâmicas, ensaios de resistência e modelagens numéricas, para avaliar o desempenho técnico de sanitários, redes e materiais associados.

Os estudos analisados revelam diferentes abordagens para medir e simular o comportamento real de fluxos, transferência de sólidos e degradação de materiais em condições controladas. McDermott et al. (2019), por exemplo, utilizaram rigs experimentais para entender como o baixo volume de descarga afeta a movimentação de sólidos nas redes [1]. Já Vieira *et al*. (2022) aplicaram testes padronizados de tração e simulação por elementos finitos (FEM) para mensurar a eficiência de perfuração de papéis higiênicos industriais, conectando o desempenho do material a problemas operacionais como entupimentos [3].

Rodrigues *et al*. (2021), por sua vez, fizeram uso da metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) em ambiente computacional, comparando o desempenho ambiental de um sistema inovador multifuncional (WashOne) com sanitários convencionais [4]. Já o estudo empírico de Melville-Shreeve et al. (2021) empregou sensores em tempo real e inspeções visuais para medir o impacto da substituição de bacias convencionais por modelos de descarga ultra-baixa em um campus universitário, reforçando a importância da experimentação em campo [2].

Além dos aspectos práticos e operacionais relacionados à eficiência hidráulica e ao risco de entupimentos, a literatura revisada destaca o papel central dos ensaios laboratoriais e das simulações computacionais como ferramentas de diagnóstico e aprimoramento de sistemas sanitários. Estudos com *rig-based testing*, modelagem por elementos finitos (FEM) e testes de desempenho de papel higiênico em condições controladas são recorrentes na amostra analisada. O Quadro 3 apresenta as principais metodologias empregadas nos estudos identificados, evidenciando seus focos, instrumentos e contribuições para o avanço técnico na área.

Quadro 3 – Aplicações Experimentais e Modelagens Computacionais em Estudos de Sistemas Sanitários

Documento	Tipo de Avaliação	Objeto do Estudo	Contribuição-Chave
[1]	Testes de bancada e revisão técnica	Transporte de sólidos	Risco de obstrução com baixos volumes
[3]	Ensaio laboratorial + Simulação FEM	Papel higiênico	Distância entre cortes afeta eficiência
[4]	Modelagem ACV cradle-to-grave	Sanitário inovador (WashOne)	Redução de impacto ambiental com uso frequente
[2]	Monitoramento em tempo real e inspeções	ULFTs em edifícios reais	Confirma viabilidade sem comprometer o sistema

Destaca-se que os sistemas de esgoto são os principais fatores limitantes para aplicação de novos produtos que busquem soluções técnicas inovadoras para reduzir o consumo de água das bacias sanitárias, uma vez que, embora os produtos apresentem funcionamento adequado laboratorialmente em condições padronizadas para teste, em campo, devido as condições de projeto e utilização dos usuários finais, pode-se verificar obstruções na tubulação com maior frequência. Desta forma, compreende-se que estes produtos inovadores devem ser utilizados em novos sistemas apenas, ou devem apresentar mecanismos que permitam compensar os impactos provenientes do uso e das limitações dos sistemas.

3.3 Eixo 3 – Sustentabilidade e Ciclo de Vida em Sistemas Sanitários

A incorporação de princípios de sustentabilidade na avaliação de sistemas sanitários vem ganhando força na literatura científica, especialmente a partir de 2016. Os estudos analisados abordam diferentes perspectivas da sustentabilidade: desde a aplicação da Análise de Ciclo de Vida (ACV) para estimar impactos ambientais e energéticos, até o uso de benchmarks regionais e modelos de custo-benefício em áreas urbanas e rurais. Há também um movimento visível no sentido de integrar critérios ambientais, sociais e econômicos na comparação entre sistemas centralizados e descentralizados, convencionais ou secos, de diferentes escalas.

Algumas contribuições se destacam por propor metodologias comparativas robustas, como é o caso de Rodrigues et al. (2021), que aplicaram a ACV conforme as normas ISO 14040 e 14044 para comparar uma bacia multifuncional com modelos tradicionais, demonstrando o peso ambiental dos componentes eletrônicos e os ganhos de longo prazo [4]. Já o estudo de Daudey (2018) contribui ao discutir os custos totais de diferentes tecnologias sanitárias em países de baixa e média renda, alertando para a ausência de padronização na mensuração de custos e a transferência de encargos financeiros aos usuários [9].

Por outro lado, trabalhos como o de Melville-Shreeve et al. (2021) e Rodríguez et al. (2019), embora não usem diretamente o termo ACV, exploram a sustentabilidade de sistemas sanitários sob a ótica do uso racional da água e da eficiência energética, oferecendo evidências práticas de que soluções de baixo consumo podem ser tecnicamente viáveis sem comprometer a operação das redes [2]. Haase et al. (2011) apresentaram diretrizes detalhadas para saneamento em vilas rurais chinesas, priorizando sistemas descentralizados de baixo custo e promovendo o reuso agrícola e a participação comunitária como pilares da sustentabilidade local [10]. Também chama atenção o estudo de Hashemi et al. (2015), ao propor sanitários com novas configurações de descarga e separação na fonte, com potencial de economia de água e fertilização de resíduos. O caráter prototípico e experimental dessas propostas, embora ainda limitado, aponta para tendências emergentes alinhadas aos ODS e à economia circular [5].

O Quadro 4 reúne evidências extraídas de 18 documentos bibliográficos que discutem, sob múltiplas perspectivas, os desafios e avanços associados à sustentabilidade e ao ciclo de vida em sistemas sanitários. Entre os enfoques recorrentes, destacam-se: a avaliação de impactos ambientais via Análise de Ciclo de Vida (ACV), a recuperação de recursos em Estações de Tratamento de Esgoto, os modelos descentralizados para áreas rurais e vulneráveis, e as tecnologias emergentes para redução do consumo de água e energia.

Quadro 4 – Abordagens Sustentáveis e Avaliações de Ciclo de Vida em Sistemas Sanitários

Documento	Enfoque Principal	Abordagem Metodológica	Aspectos de Sustentabilidade Avaliados	Contribuição-chave
[7]	Recuperação de recursos em ETEs	Revisão crítica com modelagem de mercado	Potencial de fornecimento de água, fósforo, biogás, entre outros	Alta – Economia circular e planejamento estratégico
[2]	ULFTs em campus universitário	Estudo empírico com sensores e monitoramento	Redução de consumo hídrico sem impactos na rede de esgoto	Alta – Sustentabilidade hídrica comprovada
[4]	Comparação ACV de bacia multifuncional	ACV segundo ISO 14040/14044	Impactos de materiais, energia, comportamento do usuário	Alta – Aplicação prática de LCA

[5]	Tecnologias para cidades verdes	Desenvolvimento de protótipos e diagnóstico	Separação na fonte, economia de água, compostagem	Média – Potencial inovador, mas sem validação em campo
[11]	Saneamento urbano para população pobre	Revisão crítica com foco em políticas públicas	Sustentabilidade, governança e continuidade dos serviços	Alta – Inclusão social e planejamento
[1]	Baixo fluxo e transporte de sólidos	Revisão + testes de bancada	Relação entre consumo hídrico e eficiência do sistema	Alta – Base técnica para dimensionamento
[9]	Custos de sistemas sanitários	Revisão sistemática de literatura	Custo do ciclo de vida, FSM, comparação entre sistemas	Alta – Referência para planejamento financeiro

Do ponto de vista ambiental, Mihai et al. (2021) alertam para o impacto da má gestão de resíduos sanitários em áreas rurais, relacionando poluição plástica e contaminação do solo à ausência de infraestrutura adequada, e apontam mecanismos de economia circular como alternativas viáveis de mitigação [12].

Alguns estudos se debruçam sobre os modelos participativos e comunitários de gestão sustentável, voltados a contextos com baixa infraestrutura [13,14], bem como as análises críticas dos custos associados a diferentes soluções [9]. A perspectiva geográfica e energética também é considerada por autores como Rodríguez et al. (2019), que analisam o reúso agrícola em regiões mediterrâneas [15], e Marinoski et al. (2014), que exploram o potencial de reúso doméstico em habitações populares brasileiras [16]. Mbae et al. (2024) demonstram, por meio de revisão sistemática, que sistemas individuais de saneamento (OSS) frequentemente estão associados à contaminação de aquíferos, especialmente em solos permeáveis ou com lençol freático superficial, exigindo cuidado adicional no seu dimensionamento e fiscalização [17].

Nesse sentido, Ma *et al*. (2015) propõem um framework sistêmico para cidades do futuro, defendendo a separação de fluxos hídricos, o reuso localizado e a análise emergética como caminhos para ampliar a resiliência e a sustentabilidade dos sistemas urbanos de água [18].

5. CONCLUSÃO

A análise bibliométrica realizada a partir de 18 documentos evidenciou três grandes eixos de pesquisa sobre sistemas sanitários contemporâneos: (1) Desempenho Hidráulico, Entupimentos e Materiais Associados; (2) Inovação Tecnológica e Avaliações Experimentais; e (3) Sustentabilidade, Ciclo de Vida e Gestão Descentralizada.

Os estudos revisados mostram que o entupimento de redes está fortemente relacionado ao volume de descarga, tipo de papel higiênico e configuração da tubulação. Por outro lado, ensaios de laboratório e simulações numéricas têm contribuído para o desenvolvimento de soluções mais eficientes, como bacias de baixo consumo e sanitários secos. No campo da sustentabilidade, destacam-se abordagens integradas que incluem reuso de recursos, análise de ciclo de vida e adaptação a contextos vulneráveis.

Apesar dos avanços, ainda persistem lacunas importantes, como a padronização de testes com papel higiênico e a escassez de dados sobre o uso real dos sistemas. A pesquisa futura deve investir em soluções aplicáveis, inclusivas e ambientalmente responsáveis, considerando as múltiplas dimensões do saneamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade São Judas Tadeu e ao Instituto Ânima SOSIESC de Inovação pelo apoio institucional prestado durante a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] R. McDermott, A. Strong, P. Griffiths, **Solid Transfer in Low Flow Sewers, the Distance Travelled So Far Is Not Enough,** JEP 10 (2019) 164–207. https://doi.org/10.4236/jep.2019.102011.

[2] P. Melville-Shreeve, S. Cotterill, A. Newman, D. Butler, **Campus Study of the Impact of Ultra-Low Flush Toilets on Sewerage Networks and Water Usage**, Water 13 (2021) 419. https://doi.org/10.3390/w13040419.

[3] J.C. Vieira, A.C. Vieira, A.D.O. Mendes, A.M. Carta, P.T. Fiadeiro, A.P. Costa, **Toilet paper perforation efficiency**, BioRes 17 (2021) 492–503. https://doi.org/10.15376/biores.17.1.492-504.

[4] C. Rodrigues, J. Almeida, M.I. Santos, A. Costa, S. Além, E. Rufo, A. Tadeu, F. Freire, **Environmental Life-Cycle Assessment of an Innovative Multifunctional Toilet**. Energies, v. 14, n. 8, p. 2307, 19 abr. 2021.

[5] S. Hashemi, M. Han, T. Kim, Y. Kim, **Innovative Toilet Technologies for Smart and Green Cities**. Proceedings of 8th Conference of the International Forum on Urbanism (IFoU). **Anais**... Em: 8TH CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL FORUM ON URBANISM (IFOU). Incheon, Korea: MDPI, 13 jun. 2015. Disponível em: <http://sciforum.net/conference/ifou/paper/2756>. Acesso em: 21 abr. 2025

[6] A. Aburto-Medina, E. Shahsavari, L.S. Khudur, S. Brown, A.S. Ball, **A Review of Dry Sanitation Systems**. Sustainability, v. 12, n. 14, p. 5812, 19 jul. 2020.

[7] P. Kehrein, M. Van Loosdrecht, P. Osseweijer, M. Garfí, J. Dewulf, J. Posada, **A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants – market supply potentials, technologies and bottlenecks**. Environmental Science: Water Research & Technology, v. 6, n. 4, p. 877–910, 2020.

[8] Y. Zhou, Y. Zhu, J. Zhu, C. Li, G. Chen, **A Comprehensive Review on Wastewater Nitrogen Removal and Its Recovery Processes**, International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 20, n. 4, p. 3429, 15 fev. 2023.

[9] DAUDEY, L. The cost of urban sanitation solutions: a literature review. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 8, n. 2, p. 176–195, 1 jun. 2018.

[10] P.H. Haase, J. Zhao, S. Wang, C. Godavitarne, **Guide for Wastewater Management in Rural Villages in China**. World Bank, dez. 2011. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10986/26870>. Acesso em: 21 abr. 2025

[11] VERHAGEN, J.; RYAN, P. **Sanitation Services for the Urban Poor : Symposium Background Paper**. 2008. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Sanitation-Services-for-the-Urban-Poor-%3A-Symposium-Verhagen-Ryan/c7b441c7933033bd12905be8c634e10445b650a2?p2df>. Acesso em: 21 abr. 2025

[12] F.-C. Mihai, S. Gündoğdu, L.A. Markley, A. Olivelli, F.R. Khan, C. Gwinnett, J. Gutberlet, N. Reyna-Bensusan, P. Llanquileo-Melgarejo, C. Meidiana, S. Elagroudy, V. Ishchenko, S. Penney, Z. Lenkiewicz, M. Molinos-Senante, **Plastic Pollution, Waste Management Issues, and Circular Economy Opportunities in Rural Communities**, Sustainability 14 (2021) 20. https://doi.org/10.3390/su14010020.

[13] F.J.C. Magalhães Filho, A.A.F.S.L. De Queiroz, B.S. Machado, P.L. Paulo, **Sustainable Sanitation Management Tool for Decision Making in Isolated Areas in Brazil.** International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 16, n. 7, p. 1118, 28 mar. 2019.

[14] E. Pérez, J. Cardosi, A.C. Kumar, Y. Coombes, A. Robiarto, D. Setiwan, C. Kullmann, J. Devine, A. Grossman, U. Singh, N. Mukherjee, M. Prakash, D. Wartono, **What does it take to scale up rural sanitation**. 1 jul. 2012. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/What-does-it-take-to-scale-up-rural-sanitation-Cardosi-Kumar/b63687777ed897d3362bcbde8d8e679e9a0fb8b1>. Acesso em: 21 abr. 2025

[15] P. Rodríguez, D. Palma, M. Poch, M.À. Cugueró-Escofet, D. Sauri, **The geographical context of wastewater treatment and reuse: a benchmarking analysis for Spanish Mediterranean Wastewater Treatment Plants**. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, n. 82, 22 jul. 2019.

[16] A. Marinoski, A. Vieira, A. Silva, E. Ghisi, **Water End-Uses in Low-Income Houses in Southern Brazil.** Water, v. 6, n. 7, p. 1985–1999, 8 jul. 2014.

[17] M. Mbae, P. Hansen, C. Way, F. Mills, J. Willetts, T. Foster, B. Evans, **Onsite sanitation systems and contamination of groundwater: A systematic review of the evidence for risk using the source-pathway-receptor model.** PLOS Water, v. 3, n. 7, p. e0000167, 29 jul. 2024.

[18] X. Ma, X. Xue, A. González-Mejía, J. Garland, J. Cashdollar, **Sustainable Water Systems for the City of Tomorrow—A Conceptual Framework.** Sustainability, v. 7, n. 9, p. 12071–12105, 1 set. 2015.

[19] SABESP. Sabesp realiza 60 mil desentupimentos nas redes de esgotos devido a mal uso das instalações. **Portal Tratamento de Água**, 2018. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/sabesp-desentupimentos-redes-esgoto/#:~:text=Sabesp%20realiza%2060%20mil%20desentupimentos,a%20mal%20uso%20das%20instalações> Acesso em: 21 abr. 2025.

[20] **SABESP.** Sabesp alerta que 80% dos entupimentos na rede de esgoto são causados por descarte irregular de lixo, 2023. Disponível em: <https://www.sabesp.com.br/a-sabesp/central-noticias/noticias/sabesp-alerta-que-80-dos-entupimentos-na-rede-de-esgoto-sao-causados-por-descarte-irregular-de-lixo>. Acesso em: 21 abr. 2025.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-19

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

ANÁLISE DE SOLICITAÇÕES DE ADITIVOS DE CUSTOS E IMPACTOS ORÇAMENTÁRIOS EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

YUKIHARA, Caio[1]; GOBBI, Andressa[2]

[1] Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, caio.yukihara@gmail.com, 0009-0000-0160-5165
[2] Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, andressagobbi@ufpr.br, 0000-0002-6696-3331

RESUMO

Este estudo justifica-se pela relevância de aprimorar a gestão de custos e prazos na construção civil, especialmente em obras privadas, onde há uma lacuna na literatura atual. O objetivo geral é analisar as causas e impactos dos aditivos contratuais em três projetos-piloto, visando identificar falhas no planejamento que resultam em alterações no orçamento e cronograma. Os objetivos específicos incluem a classificação dos tipos de aditivos e a mensuração de seus impactos financeiros. A metodologia combinou revisão bibliográfica, levantamento de dados por meio do ERP (*Enterprise Resource Planning*) da empresa e análise estatística de 278 solicitações de aditivos para a identificação das causas raízes. Os resultados evidenciaram que subestimação de quantitativos e serviços não previstos foram as principais causas dos aditivos, com impactos variando conforme a etapa da obra, como em fundação, equipamentos e canteiro de obras. Conclui-se que o aprimoramento dos processos de orçamentação e planejamento é indispensável para reduzir divergências entre projeto e execução, contribuindo para maior eficiência e competitividade no setor. A principal contribuição deste estudo consiste em preencher uma lacuna específica da literatura ao analisar, de forma empírica, o comportamento dos aditivos contratuais em obras privadas, ampliando o conhecimento científico sobre práticas gerenciais fora do contexto da administração pública.

Palavras-chave: Construção Civil; Aditivos; Orçamento; Planejamento.

ABSTRACT

This study is justified by the importance of improving cost and schedule management in the construction industry, especially in private projects where a gap exists in the current literature. The overall objective is to analyze the causes and impacts of contractual additives in three pilot projects, aiming to identify planning failures that result in changes to the budget and schedule; the specific objectives include classifying the types of additives and measuring their financial impacts. The methodology combined a bibliographic review, data collection through the company's ERP (Enterprise Resource Planning) system, and statistical analysis of 278 additive requests to identify the root causes. The results revealed that the underestimation of quantities and unaccounted-for services were the main causes of the additives, with impacts varying according to the stage of the project, such as foundation, equipment, and construction site setup. It is concluded that improving budgeting and planning processes is essential to reduce discrepancies between design and execution, thereby enhancing efficiency and competitiveness in the sector. The main contribution of this study lies in filling a specific gap in the literature by empirically analyzing the behavior of contractual change orders in private construction projects, thereby expanding scientific knowledge on management practices outside the context of public administration.

Keywords: Construction; Additives; Budget; Planning.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Cavalcanti [1], a construção civil exerce papel fundamental no desenvolvimento da infraestrutura brasileira, sendo responsável por obras que impactam diretamente o bem-estar da sociedade. Apesar da relevância do setor, muitos empreendimentos enfrentam dificuldades relacionadas ao controle de custos e prazos, ocasionadas por falhas no planejamento e no gerenciamento dos contratos. O sucesso de uma obra depende do cumprimento do orçamento e do cronograma, o que exige a adoção de práticas eficientes de gestão desde a fase inicial do projeto.

Muianga, Granja e Ruiz [2] elencam que os principais desafios enfrentados são os aditivos contratuais, que representam alterações no contrato original, geralmente associadas a mudanças de escopo, erros de projeto ou condições imprevistas durante a execução. Tais modificações, quando recorrentes, comprometem a rentabilidade do projeto e evidenciam fragilidades na etapa de planejamento.

Este estudo tem como objetivo analisar as principais causas de aditivos contratuais em três obras classificadas como projetos piloto, identificando seus impactos sobre o orçamento. Ao compreender as origens desses desvios, busca-se contribuir com melhorias no processo de orçamentação e no gerenciamento de contratos, promovendo maior eficiência e previsibilidade na execução de obra

O tema dos aditivos contratuais é amplamente debatido na construção civil, com maior foco em obras públicas. Contudo, há uma lacuna de estudos voltados especificamente para obras privadas. Uma pesquisa realizada nas bases *Web of Science* e *Science Direct*, com as palavras-chave "*cost overrun*", "*time overrun*" e "*construction"*, delimitada para os últimos 10 anos, resultou em 1.235 artigos. O recorte temporal dos últimos 10 anos (2014-2024) foi adotado para assegurar atualidade das informações. O filtro por acesso livre e idioma inglês priorizou materiais de fácil consulta para futuras pesquisas e maior disseminação científica, enquanto a exclusão de artigos de revisão e a leitura do resumo permitiram concentrar a análise em pesquisas primárias, com dados empíricos diretamente aplicáveis ao contexto estudado. A remoção de duplicidades assegurou a unicidade dos registros analisados. Após os filtros, restaram 48 estudos aderentes ao tema, como exposto na Tabela 1.

Tabela 1 – Processo de filtragem do banco de dados.

Base de dados (*Web of Science* e *Science Direct*)		Trabalhos encontrados
Palavra-chave	*Cost overrrun* OR *time overrun* AND *construction*	1235
Total de pesquisas ainda sem filtro		1235
Filtros	2014 – 2024	948
	Acesso livre	417
	Inglês	413
	Exceto artigos de revisão	391
	Leitura do resumo	50
	Exceto duplicidades	48
Total das pesquisas aderentes		48

A escassez de estudos sobre obras privadas evidencia a necessidade de aprofundamento. Apesar da ampla disponibilidade de estudos sobre aditivos contratuais em obras públicas, observa-se uma significativa carência de análises voltadas ao setor privado. Em obras privadas, as dinâmicas contratuais, os critérios de aditivação e as práticas gerenciais diferem substancialmente, especialmente pela ausência de normativas como a Lei de Licitações e Contratos Administrativos. A análise do banco de dados obtido (Tabela 1) confirmou essa lacuna, mostrando que, entre os estudos analisados, há predominância de investigações em obras públicas e foco limitado em empreendimentos residenciais verticais. Assim, esta pesquisa busca contribuir com uma análise específica sobre as causas e impactos de aditivos contratuais no setor privado, segmento ainda pouco abordado na literatura. O controle de custos e prazos eficiente é importante para a competitividade do setor privado, dessa forma, compreender os aditivos pode gerar melhorias na gestão de projetos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A elaboração de orçamentos e a gestão de aditivos contratuais são etapas fundamentais na condução de projetos de construção civil. Estas práticas não apenas asseguram a viabilidade econômica do empreendimento, como também contribuem para o controle e planejamento das atividades. A seguir, são apresentados os principais conceitos teóricos

relacionados ao tema, organizados em: tipos de orçamento, fases de elaboração do orçamento, contratação de mão de obra e gestão de aditivos contratuais.

2.1 Elaboração do orçamento na construção civil

Segundo Oliveira [3], o orçamento é uma importante ferramenta na engenharia de custos, pois viabiliza o planejamento financeiro e auxilia na tomada de decisão, tanto para viabilidade quanto para a execução da obra. Tavares [4] acrescenta que um orçamento bem elaborado contribui para o sucesso do projeto, enquanto orçamentos mal estruturados comprometem o controle de custos, cronogramas e a qualidade final da entrega.

A competitividade do setor exige que empresas elaborem seus orçamentos com precisão, antecipando riscos e assegurando rentabilidade. A ausência de conhecimento técnico pode levar à formulação de propostas abaixo do preço de mercado, acarretando prejuízos financeiros e problemas na execução [3].

De acordo com Oliveira [3], os tipos de orçamento podem ser classificados em três categorias principais: estimativa de custos, orçamento preliminar e orçamento analítico. Cada um atende a diferentes necessidades e níveis de detalhamento do projeto.

Weise *et al.* [5] resume que a estimativa de custos é usada em fases iniciais, com base em índices como o Custo Unitário Básico (CUB), fornecendo uma previsão aproximada com margem de erro de até ± 30%. No entanto, essa abordagem não contempla itens como fundações, urbanização e encargos tributários.

O orçamento preliminar apresenta maior detalhamento, sendo utilizado com base em dados do projeto básico e indicadores como a TCPO da Editora PINI [3]. Ele estima quantitativos macros e insumos, resultando em uma margem de erro menor (± 20%).

Conforme Tavares [4], o orçamento analítico é o mais preciso e detalhado, sendo elaborado com base em todos os projetos executivos, memoriais e cotações de preços. Engloba a listagem completa dos serviços, seus quantitativos, custos unitários e totais, distinguindo custos diretos (materiais, mão de obra, equipamentos) e indiretos (administração, segurança, logística). Sua estrutura, geralmente em planilha, possibilita o controle detalhado de cada etapa da obra.

2.2 Contratação de mão de obra

Segundo Maçahiko [6], a contratação da mão de obra interfere diretamente na composição orçamentária e no desempenho da obra. Há duas formas principais de contratação: com fornecimento apenas da mão de obra, ou de mão de obra acompanhada dos materiais, ferramentas e equipamentos.

Para Lucena e Ribeiro [7], a terceirização tem se mostrado uma estratégia vantajosa, sobretudo para empresas com escopos menores, permitindo maior especialização, mecanização e controle de produtividade. No entanto, os contratos devem prever responsabilidades claras quanto à segurança, prazo e qualidade, uma vez que descumprimentos podem gerar prejuízos aos contratantes e usuários finais do empreendimento.

A mão de obra própria, por outro lado, é regida pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e costuma ser adotada por empresas que desejam manter maior controle sobre os profissionais. Apesar disso, essa modalidade enfrenta desafios como a baixa flexibilidade para realocação de equipes, maior responsabilidade jurídica e, muitas vezes, menor produtividade se comparada à mão de obra terceirizada [7].

2.3 Aditivos contratuais em obras de construção civil

Segundo Corso [8], aditivos contratuais são modificações formais em contratos de obras, que alteram prazos, valores ou escopos previamente acordados. São eventos recorrentes tanto em obras públicas quanto privadas, e geralmente decorrem de falhas no planejamento, inconsistências nos projetos, alterações de escopo ou fatores externos imprevisíveis.

A falta de compatibilização entre os projetos e a execução da obra, assim como a má coordenação entre os agentes envolvidos, são causas recorrentes de aditivos. Quando identificados tardiamente, seus impactos financeiros são mais

severos, conforme destacado no PMBOK [9], que mostra como os custos das mudanças aumentam exponencialmente ao longo do ciclo do projeto, como mostra a Figura 2. Essa realidade evidencia a importância de um planejamento detalhado, com estimativas realistas e definição clara do escopo.

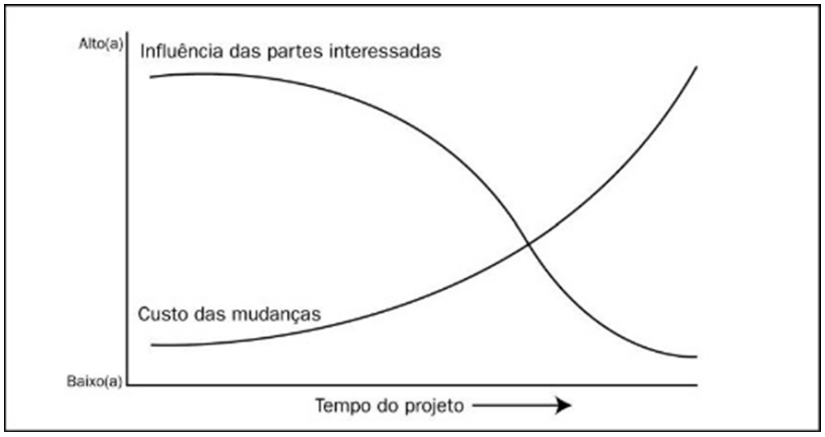


Figura 2 – Custos das mudanças ao longo do projeto [9].

Em levantamento feito por Oliveira e Souto [10] sobre 465 obras públicas em Minas Gerais, apenas 179 não apresentaram aditivos. A maioria teve prorrogação de prazo, aumento de valor ou ambos. A falta de detalhamento nos projetos e a ausência de análise prévia do canteiro foram apontadas como falhas comuns. Na cidade de Belo Horizonte, entre 2009 e 2014, 96% das obras públicas analisadas por Santos, Starling e Andery [11] tiveram prorrogação de prazo e 72% sofreram aumento de valor contratual, indicando um padrão sistemático de falhas no planejamento.

Na análise de contratos da UFRRJ entre 2017 e 2021, as causas dos aditivos de valor foram categorizadas em: alterações de projeto (33%), imprevistos ou força maior (22%), pandemia da Covid-19 (16%), melhoria da qualidade (11%), atraso de fornecedores (9%) e outros motivos. Esse levantamento demonstra que fatores internos (como erros de projeto) quanto externos (como a pandemia) influenciam a necessidade de revisões contratuais [10]. Estudos internacionais também corroboram essas evidências, ao serem analisados o ciclo da construção civil na província de Al-Najaf, identificaram que a maioria das ordens de mudança ocorre durante a fase de execução (36,2%) e 24,7% na fase de projeto [11]. As principais causas foram falhas de projeto, escopo mal definido e condições imprevistas de obra, o que reforça a importância de maior detalhamento nas etapas iniciais do projeto.

Diversas causas para os aditivos foram listadas e analisadas por autores como Santos, Starling e Andery [12], entre elas destacam-se:

- **Fatores climáticos e força maior**, como chuvas atípicas ou desastres naturais [13];
- **Condições de subsolo inesperadas**, devido a sondagens insuficientes ou mal interpretadas [14];
- **Mudanças e indefinições de escopo**, que refletem falta de clareza no planejamento inicial [14];
- **Serviços não previstos ou quantitativos subestimados**, originados por falhas no orçamento ou no projeto [14];
- **Paralisações de obra**, causadas por atrasos no fornecimento ou falta de recursos no canteiro [13];
- **Atualizações de preços e inflação de insumos**, que tornam os valores previstos inicialmente defasados [8];
- **Falhas em projetos ou projetistas inexperientes**, resultando em incompatibilidades e retrabalhos [14];
- **Gestão ineficaz do tempo e dos custos**, dificultando o controle e a antecipação de riscos [14].

Complementarmente, uma análise sistemática abrangendo 405 artigos publicados entre 2000 e 2024 identificou 66 fatores globais interconectados que influenciam o aumento de custos em obras de construção civil [15]. O estudo evidenciou a importância da gestão integrada de fatores técnicos, contratuais e externos no controle orçamentário e como principal resultado, foram mapeados sete fatores centrais com alta influência no aumento de custos: falhas no planejamento e cronograma, imprecisões na estimativa de custos, ineficiências de projeto, condições climáticas adversas, indefinição de escopo, ambiguidades contratuais e condições imprevistas em campo. A pesquisa contribui ainda ao demonstrar, de forma quantitativa, como esses fatores interagem no ciclo do projeto, onde o mapeamento dos fatores críticos permite direcionar ações preventivas às etapas mais suscetíveis, como planejamento e projeto, além de reforçar o controle sobre definição de escopo e cláusulas contratuais [15].

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo foi estruturada em quatro etapas, conforme ilustrado na Figura 3. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre aditivos contratuais e controle orçamentário na construção civil, permitindo identificar conceitos-chave e lacunas na literatura. Essa fundamentação teórica orientou as demais etapas da pesquisa.

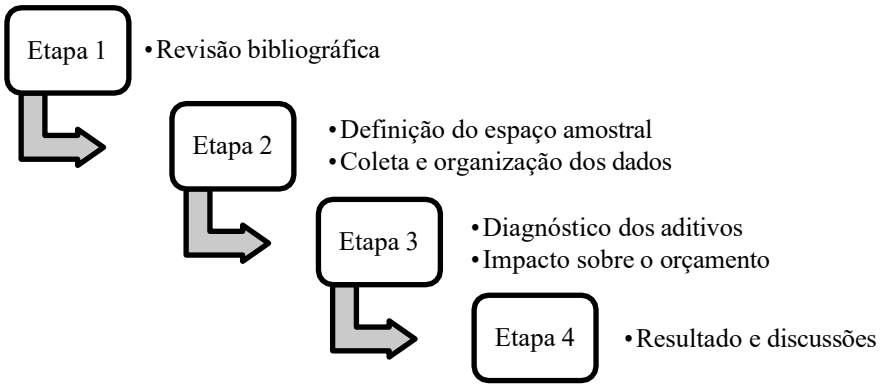


Figura 3 – Fluxograma da metodologia.

Na segunda etapa, definiu-se o espaço amostral por meio da seleção de três obras representativas da empresa em que o autor atua. As obras foram escolhidas por apresentarem diferentes tipologias construtivas, localizações geográficas diversas e significativo volume de aditivos, sendo consideradas projetos-piloto. A Obra 1, em Joinville (SC), adota alvenaria estrutural com blocos cerâmicos no padrão MCMV. A Obra 2, situada em Curitiba (PR), é de médio padrão e utiliza blocos de concreto. A Obra 3, em Londrina (PR), foi executada com paredes de concreto moldadas *in loco*.

A terceira etapa consistiu na coleta e organização dos dados por meio do sistema ERP da empresa. Cada solicitação de aditivo é formalizada por meio de um formulário padronizado, que contempla desde a identificação do solicitante até a justificativa detalhada da ocorrência, utilizando a técnica dos "5 Porquês" [16] para identificação da causa raiz. As informações foram organizadas manualmente em uma planilha eletrônica, estruturada para permitir o cruzamento de dados por obra, setor, etapa e impacto financeiro, como ilustra a Tabela 2.

Tabela 2 – Cabeçalho da planilha eletrônica.

Solicitação	Obra	Data	Tema	Etapa	Motivo principal	Causa raiz	Plano de ação	Impacto sobre o orçamento	Causa do aditivo	Setor responsável

Por fim, a quarta etapa envolveu o diagnóstico das solicitações de aditivo e a mensuração de seus impactos no orçamento das obras. Foram analisadas 278 solicitações entre janeiro de 2023 e junho de 2024, categorizadas conforme o setor responsável e a tipologia da causa, baseada na classificação de Santos, Starling e Andery [12]. Para quantificar o impacto de cada aditivo, utilizou-se a Equação 1, onde o impacto sobre o orçamento é definido pela razão entre o custo aditivado e o orçamento original. Essa abordagem permitiu analisar criticamente os fatores que contribuem para os desvios orçamentários, apontando oportunidades de melhoria nos processos de planejamento e controle de custos da empresa.

$$ISO = \frac{CSA}{OR} \quad (1)$$

onde:
ISO = Impacto sobre o orçamento (%)
CSA = Custo da Solicitação de Aditivo (R$)
OR = Orçamento Original (R$)

4. RESULTADOS

4.1 Divisão por causa de aditivo

A partir da análise e classificação de 278 solicitações de aditivos provenientes de três obras distintas, foi possível sistematizar os dados conforme categorias previamente estabelecidas na literatura, em especial com base no levantamento de causas proposto por Santos, Starling e Andery [12]. As solicitações foram classificadas conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Principais causas dos aditivos de custo.

Causa	Obra 1		Obra 2		Obra 3		Total	Impacto sobre o orçamento
	Quantidade	Impacto sobre o orçamento	Quantidade	Impacto sobre o orçamento	Quantidade	Impacto sobre o orçamento	Quantidade	Impacto sobre o orçamento
Levantamento de quantitativos de serviços subestimados na planilha	38	3,32%	5	0,13%	24	1,39%	67	4,84%
Serviços não previstos no orçamento ou ausência de itens na planilha	13	1,05%	-	-	40	1,25%	53	2,29%
Condições de subsolo inesperadas	6	0,53%	3	0,26%	6	0,61%	15	1,40%
Falhas em projetos ou projetistas inexperientes	8	0,39%	3	0,16%	22	0,56%	33	1,11%
Controle de custos ineficaz	10	0,55%	-	-	12	0,50%	22	1,06%
Total	**75**	**5,83%**	**11**	**0,56%**	**104**	**4,31%**	**190**	**10,70%**

A Tabela 3 apresenta a frequência relativa das principais causas de aditivos contratuais. Destaca-se a elevada incidência de serviços não previstos e erros no levantamento de quantitativos, observados em todas as três obras. Foram registrados 120 aditivos relacionados a essas falhas, resultando em um impacto acumulado de 7,13% sobre os custos inicialmente estimados.

Entre os quantitativos subestimados, destaca-se o aumento no consumo de concreto nas fundações da Obra 1. A presença de solo mole exigiu o alargamento das estacas tipo hélice contínua, aumentando significativamente o volume de concreto orçado. Outro exemplo refere-se à subestimação do tempo de locação de equipamentos, o que impactou diretamente a logística da obra, sobretudo diante dos atrasos acumulados.

Na análise dos impactos financeiros, verificou-se que todas as obras enfrentaram dificuldades associadas a condições geotécnicas não previstas. A presença de rochas e solos excessivamente moles, não identificados nas etapas preliminares de sondagem gerou um acréscimo de 1,40% nos orçamentos, exigindo escavações mais complexas, remoções adicionais e readequações nas fundações originalmente projetadas.

Outro fator relevante na Obra 3 foi a ocorrência de mudanças de escopo durante a execução, totalizando 23 solicitações gerando um acréscimo de 0,73% no orçamento. Tais alterações decorreram da ausência de projetos executivos concluídos na fase orçamentária, levando a revisões durante a execução. Como exemplos, citam-se a alteração na cota de implantação dos blocos e a substituição do pavimento da calçada perimetral, inicialmente especificado com blocos intertravados e posteriormente alterado para concreto vassourado.

Além disso, foram identificadas falhas de projeto associadas à atuação de profissionais inexperientes, resultando em 33 solicitações de aditivo e um impacto financeiro adicional de 1,11%. Entre as falhas, destacam-se omissões relevantes, como a ausência de tela de aço em pisos de concreto, além de incompatibilidades entre os materiais especificados e os disponíveis comercialmente.

De modo geral, os resultados encontrados apresentam consonância com estudos prévios realizados no contexto nacional, que apontaram que a subestimação de serviços e a ausência de itens no orçamento são causas predominantes de aditivos em obras públicas, o que também foi observado neste estudo para obras privadas. Adicionalmente, condições geotécnicas não previstas se confirmaram como um fator crítico, como já apontado por Alvarenga (2019) [14]. Oliveira e Souto (2024) [10] também observaram concentração de aditivos nas etapas iniciais da obra, o que reforça a importância de aprimorar o planejamento orçamentário e o detalhamento técnico, independentemente do regime contratual.

4.1 Divisão por etapa de orçamento

Após a análise e classificação das 278 solicitações de aditivo das três obras estudadas, observou-se que os principais impactos no orçamento se concentraram em etapas específicas da execução. A divisão por etapas permitiu identificar os serviços mais suscetíveis a alterações de custo, como detalhado na Tabela 4.

Tabela 4 – Etapas que mais sofreram aditivos de custo.

Etapa	Obra 1		Obra 2		Obra 3		Total	
	Quantidade	Impacto sobre o orçamento	Quantidade	Impacto sobre o orçamento	Quantidade	Impacto sobre o orçamento	Quantidade	Impacto sobre o orçamento
Equipamentos	14	1,78%	1	0,01%	9	0,44%	24	2,24%
Fundação	16	1,11%	5	0,30%	7	0,47%	28	1,88%
Canteiro de obras	9	0,45%	2	0,03%	14	0,71%	25	1,18%
Supraestrutura	8	1,04%	-	-	10	0,13%	18	1,17%
Muros de arrimo	2	0,01%	1	0,06%	12	0,76%	15	0,83%
Terraplanagem	3	0,31%	1	0,10%	1	0,37%	5	0,77%
Alvenaria estrutural	11	0,65%	3	0,08%	2	0,01%	16	0,75%
Fiada falsa	2	0,19%	2	0,06%	3	0,21%	7	0,45%
Rede elétrica	-	-	-	-	9	0,42%	9	0,42%
Segurança do trabalho	-	-	-	-	6	0,41%	6	0,41%
Total	**65**	**5,54%**	**15**	**0,64%**	**73**	**3,93%**	**153**	**10,11%**

Na categoria de equipamentos, houve 24 solicitações de aditivo, representando um impacto de 2,24% no orçamento. A locação do manipulador telescópico se mostrou subestimada, embora sua relevância operacional fosse alta, sendo utilizada no transporte de peças como lajes pré-moldadas e coberturas. Além disso, houve necessidade de estender a permanência de equipamentos como mini escavadeiras e minicarregadeiras para tarefas de limpeza e movimentação não previstas inicialmente.

A fundação foi uma das etapas mais impactadas, com 28 solicitações de aditivos e incremento de 1,88% nos custos. A Obra 1 concentrou mais da metade (16 solicitações e 1,11% de impacto). Problemas de sondagem, sobre consumo de concreto em estacas do tipo hélice contínua, falhas em equipamentos e necessidade de reforços estruturais não previstos exigiram ajustes frequentes.

A implantação do canteiro de obras respondeu por 25 solicitações, gerando um acréscimo de 1,18% no orçamento global. Esse número expressivo demonstra deficiências no planejamento inicial, sobretudo quanto à infraestrutura básica (armazenamento, sanitários e acessos logísticos) e à gestão de segurança. Ocorreram diversos retrabalhos relacionados à

instalação dos sistemas de segurança, especialmente no monitoramento, devido a danos frequentes causados por má movimentação de máquinas.

Na supraestrutura' houve 18 aditivos (1,17%). A Obra 1 concentrou 1,04% do impacto total, evidenciando falhas na estimativa da taxa de aço das lajes e no quantitativo de escoramento. A necessidade de telas de aço adicionais para o piso térreo, ausentes nos projetos originais, reforça o déficit de detalhamento nos documentos técnicos iniciais.

Os muros de arrimo da Obra 3 somaram 12 aditivos, totalizando um impacto de 0,76%. Em contraste, as Obras 1 e 2 somaram apenas três solicitações (0,07%). As fortes chuvas e enxurradas exigiram alterações no método de drenagem e reforço do projeto inicial, elevando significativamente os custos.

A etapa de terraplanagem gerou cinco solicitações e aumento de 0,77% nos custos. Problemas como a remoção não prevista de material rochoso e substituição de solo inadequado demonstram falhas no estudo prévio do solo. Esses desafios evidenciam a importância de uma investigação geotécnica mais minuciosa.

A etapa de alvenaria estrutural também apresentou alta incidência de aditivos, com 16 solicitações (0,75%). A Obra 1 teve o maior impacto individual, com 11 aditivos (0,65%). A principal falha foi a ausência de margem de perda para blocos estruturais, levando à insuficiência de estoque e consequente necessidade de complementação via aditivos.

A análise dos impactos por etapa também se alinha a achados da literatura. Oliveira e Souto (2024) [10] identificaram maior incidência de aditivos em etapas fundamentais como fundação e canteiro de obras, o que foi igualmente constatado neste estudo. Em complemento, Corso (2022) [8] evidenciou a subestimação de equipamentos e insumos como causas relevantes em empreendimentos residenciais, reforçando a necessidade de maior rigor nos quantitativos logísticos. Esses paralelos demonstram que, mesmo em obras privadas, as deficiências de planejamento e orçamento seguem padrões similares aos já observados em outros contextos analisados na literatura.

CONCLUSÃO

A análise das solicitações de aditivos nas três obras investigadas evidenciou a complexidade da gestão orçamentária na construção civil e destacou os principais fatores que contribuem para desvios de custo ao longo da execução. Entre os fatores mais recorrentes, sobressaem-se a subestimação de serviços, as interferências do subsolo, falhas nos projetos complementares e mudanças de escopo.

Com base na análise de dados reais de três obras residenciais privadas, o estudo identificou padrões específicos de falhas orçamentárias e etapas críticas mais suscetíveis a aditivos, oferecendo evidências quantitativas. As estratégias identificadas como a compatibilização de projetos, a orçamentação mais precisa e o aprofundamento das investigações geotécnicas são confirmadas empiricamente como pontos de maior vulnerabilidade em empreendimentos privados verticais. Além de reforçar boas práticas de gestão, os resultados contribuem cientificamente ao quantificar os impactos financeiros decorrentes dessas falhas, permitindo que empresas adotem ações corretivas direcionadas às fases de projeto, planejamento e execução.

Portanto, conclui-se que a redução dos aditivos contratuais não depende de soluções isoladas, mas sim de um conjunto de boas práticas que fortaleçam o planejamento, a comunicação e o controle técnico-financeiro dos projetos. A implementação consistente dessas medidas pode não apenas evitar custos adicionais, mas também contribuir para maior previsibilidade e eficiência na execução das obras.

REFERÊNCIAS

[1] CAVALCANTI, Y. DA S**. Aplicação de um indicador de performance (KPI) na construção civil por meio da análise do desvio de custo acumulado em uma obra pública**. Monografia de graduação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020.

[2] MUIANGA, E. A. D.; GRANJA, A. D.; RUIZ, J. DE A. (2015). **Desvios de custos e prazos em empreendimentos da construção civil: categorização e fatores de influência**. Ambiente Construído 15:79-97.

[3] OLIVEIRA, P. W. B. A. DE. **Elaboração de orçamento de obras na construção civil**. Monografia de graduação (Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, 2017.

[4] TAVES, G. G. **Engenharia de custos aplicada à construção civil**. Monografia de graduação (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

[5] WEISE, A. D.; MORO, M. F.; REIS, C. C. C. DOS; FLORES, S. DE A. (2018). **Custo Unitário Básico na Indústria da Construção Civil: Influência de Indicadores Econômicos na Composição do Cub**. Revista FSA 15: 113–131.

[6] MAÇAHIKO, Tisaka. **Orçamento na Construção Civil**: consultoria, projeto e execução. São Paulo: Pini, 2006.

[7] LUCENA, M. C. DE; RIBEIRO, A. C. J. **Influência da contratação da mão de obra na Produtividade de Empreendimentos na Construção civil**. Monografia de graduação (Engenharia Civil) - Rede de Ensino Doctum, 2022.

[8] CORSO, F. L. **Análise de desvios de orçamento em instalações elétricas e hidrossanitárias em uma obra residencial na cidade de Porto Alegre**. Monografia de graduação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022.

[9] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (GUIA PMBOK)**. Pennsylvania: PMI, 2021.

[10] OLIVEIRA, D. R. DE; SOUTO, E. DO N. DE. (2024). **Análise dos aditivos de prazo e valor dos contratos de obras em uma instituição de ensino federal**. Revista Foco, 17: 3400.

[11] ALRAIE, A. A.; ALI KADHUM, A. M.; SHABBAR, R. (2022). **Causes of change orders in the cycle of construction project: A case study in Al-Najaf province.** *Open Engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 799-807.

[12] SANTOS, H. DE P.; STARLING, C. M. D.; ANDERY, P. R. P. (2015). **Um estudo sobre as causas de aumentos de custos e de prazos em obras de edificações públicas municipais.** Ambiente Construído 15: 225-242.

[13] PEREIRA, E. S. S. **Fatores associados ao atraso na entrega de edifícios residenciais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, p. 204, 2012.

[14] ALVARENGA, F. C. **Análise das causas de aditivos de custo e prazo em obras públicas de instituições federais de ensino**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, 2019.

[15] ABDELALIM, A. M.; SALEM, M.; SALEM, M.; AL-ADWANI, M.; TANTAWY, M. (2025) **An Analysis of Factors Contributing to Cost Overruns in the Global Construction Industry**. *Buildings*, *15*, 18.

[16] LIKER, J. K.; FRANZ, J. K. **O modelo Toyota de melhoria contínua**. Porto Alegre: Grupo A, 2013.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-18

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA NA PRIORIZAÇÃO DE MANUTENÇÃO EM INFRAESTRUTURAS UNIVERSITÁRIAS: ESTUDO DE CASO EM UMA EDIFICAÇÃO DE ENSINO SUPERIOR NA CIDADE DE QUIXADÁ- CE.

SILVA, Mariany dos Santos[1]; ARAGÃO, Matheus Assayag Almeida[2]; COSTA, Rômulo Garcia[3] ; LIMA, Maria Laura Rabelo[4] ; SOUZA, Rayanderson Saraiva de[5]

[1] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, mariany.santos.silva07@aluno.ifce.edu.br;
[2] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, matheus.assayag.almeida07@aluno.ifce.edu.br;
[3] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, romulo.garcia07@aluno.ifce.edu.br;
[4] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, laura.rabelo09@aluno.ifce.edu.br;
[5] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, rayanderson.saraiva@ifce.edu.br, 0000-0001-5150-9673.

RESUMO

A gestão da infraestrutura física em instituições públicas de ensino superior exige decisões técnicas fundamentadas em critérios objetivos de priorização, sobretudo quando há limitações orçamentárias para reformas. Este estudo tem como objetivo aplicar o método FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) como ferramenta de apoio à gestão das manutenções prediais em uma universidade localizada no município de Quixadá–CE, atualmente em processo de requalificação, buscando avaliar a coerência entre as intervenções executadas e as reais demandas técnicas identificadas. A metodologia envolveu levantamento em campo, identificação dos modos de falha e análise de criticidade a partir dos parâmetros do FMEA. Com base nessas informações, foi elaborada uma matriz de risco, posteriormente confrontada com as ações realizadas durante a reforma. Os resultados revelaram que parte das intervenções contempla os elementos críticos, mas outras demandas relevantes foram negligenciadas. Conclui-se que o FMEA se mostra uma ferramenta eficaz para orientar decisões racionais, otimizar recursos e contribuir para a durabilidade das edificações públicas.

Palavras-chave: FMEA; Gestão predial; Risco; Manutenção predial.

ABSTRACT

Managing physical infrastructure in public higher education institutions requires technical decisions based on objective prioritization criteria, especially when budgetary constraints exist for renovations. This study aims to apply the FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) method as a tool to support building maintenance management at a university located in the municipality of Quixadá, Ceará, currently undergoing renovation, seeking to assess the consistency between the interventions performed and the actual technical demands identified. The methodology involved a field survey, identification of failure modes, and criticality analysis based on FMEA parameters. Based on this information, a risk matrix was developed and then compared with the actions taken during the renovation. The results revealed that some of the interventions addressed critical elements, but other relevant demands were neglected. The conclusion is that FMEA is an effective tool for guiding rational decisions, optimizing resources, and contributing to the durability of public buildings.

Keywords: FMEA; Building management; Risk; building maintenance.

1. INTRODUÇÃO

As edificações públicas de ensino superior são fundamentais para a formação acadêmica e o desenvolvimento social, exigindo condições de segurança, conforto e funcionalidade. Contudo, a escassez de recursos e a falta de planejamento técnico frequentemente resultam em intervenções pontuais, que nem sempre atendem às reais prioridades estruturais [1].

A manutenção predial desempenha papel estratégico na preservação do desempenho das edificações ao longo do tempo, contribuindo para a segurança, funcionalidade e redução de custos com correções emergenciais. Quando bem planejada, permite antecipar falhas, otimizar recursos e garantir que as condições de uso estejam alinhadas às exigências normativas e às necessidades dos usuários. Nesse contexto, ferramentas como o método *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) se destacam por possibilitar a priorização técnica com base em critérios como severidade, ocorrência e detecção, sendo cada vez mais aplicadas na engenharia [2].

Este artigo aplica o FMEA em uma edificação universitária em reforma em Quixadá-CE, com o intuito de avaliar a coerência entre as intervenções realizadas e as demandas técnicas identificadas. O objetivo é demonstrar o potencial do FMEA na gestão racional dos recursos e na ampliação da vida útil das edificações públicas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manutenção e gestão predial em instituições públicas

A manutenção predial é uma atividade fundamental para assegurar a durabilidade, funcionalidade e segurança das edificações, especialmente no setor público, onde os recursos são, em geral, limitados e a demanda por uso contínuo é elevada. Em instituições de ensino, a precarização das instalações pode comprometer diretamente as atividades acadêmicas. Segundo Santos, Lima e Oliveira [3], é essencial a adoção de práticas sistematizadas de manutenção e conservação das estruturas físicas em instituições de ensino, especialmente diante da precarização das instalações e da limitação de recursos.

Existem três categorias clássicas de manutenção: a corretiva, que atua após a ocorrência da falha; a preventiva, baseada em inspeções programadas e ações de rotina; e a preditiva, fundamentada em monitoramentos contínuos e análises de desempenho. Como destacam Borges, Silva e Carvalho [4], os tipos de manutenção – corretiva, preventiva e preditiva – desempenham papéis complementares na preservação da edificação, quando aplicados de forma estratégica. Em contextos como o das universidades públicas, os ciclos de investimento em infraestrutura costumam ser irregulares, a manutenção preventiva e preditiva ainda é pouco aplicada, resultando em ações pontuais, de caráter corretivo. Como destacam Santos *et al*. [5], a ausência de planejamento técnico contínuo favorece o agravamento das falhas e o aumento dos custos com reformas emergenciais.

2.2 Priorização técnica de intervenções

A definição de prioridades em intervenções prediais deve considerar não apenas a condição aparente dos elementos construtivos, mas também o risco associado à sua falha, sua criticidade funcional e o custo-benefício da intervenção. Ferreira e Melo [6] observam que a adoção de ferramentas de apoio à decisão, baseadas em risco e criticidade, contribui para maior racionalidade nas escolhas de intervenções em obras públicas.

Métodos como o FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) permitem hierarquizar intervenções com base em parâmetros como severidade, frequência de ocorrência e dificuldade de detecção das falhas. Ao atribuir valores a esses critérios, é possível calcular o Número de Prioridade de Risco (NPR), que funciona como um indicador para orientações corretivas de forma objetiva e eficiente. Conforme apontado por Lima e Rocha [7], o uso de métodos estruturados de priorização evita a subjetividade na escolha das intervenções e aumenta a transparência do processo decisório. Essa abordagem é particularmente relevante em reformas de edificações públicas, onde a escassez de recursos impõe a necessidade de aplicar esforços onde os riscos são significativos.

2.3 FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

O FMEA surgiu em setores industriais com altos níveis de exigência quanto à segurança, sendo posteriormente incorporado a outras áreas, inclusive à engenharia civil, com destaque para a manutenção e inspeção predial [8].

A técnica se baseia na identificação dos modos de falha de um sistema e na análise de três parâmetros principais: a severidade do efeito gerado pela falha (S), a frequência com que pode ocorrer (O) e a dificuldade de sua detecção (D). A multiplicação desses fatores resulta no NPR, que orienta a definição das intervenções mais urgentes [9].

Em edificações públicas, o FMEA representa uma ferramenta estratégica para fundamentar as decisões, favorecendo uma gestão eficiente e baseada em critérios objetivos. Quando aplicado em universidades, contribui para alinhar os recursos disponíveis às falhas mais críticas, aumentando a durabilidade e a confiabilidade.

De acordo com Silva (2007) [10], os principais propósitos do FMEA incluem:

a) Identificar falhas potenciais nos elementos que compõem um sistema;

b) Avaliar os efeitos causados por essas falhas;

c) Reduzir a chance de falhas em novos projetos;

d) Minimizar falhas em sistemas já em funcionamento;

e) Melhorar a confiabilidade com base na análise de ocorrências anteriores;

f) Reduzir erros e elevar a qualidade em processos organizacionais.

O modelo de formulário FMEA, conforme apresentado no quadro 1, serve como implementação dessa análise em diferentes contextos.

Quadro 1- modelo de formulário FMEA.

Etapas do processo	Modo de falha	Causas de falha	Probabilidade de ocorrência	Probabilidade de detecção	Gravidade	Número de prioridade de risco (NPR)
1						

A ferramenta FMEA avalia os riscos de forma quantitativa utilizando os três índices a seguir: severidade (S), ocorrência (O) e Detecção (D), define os riscos da seguinte maneira:

Severidade (S): avalia o grau de impacto que a falha pode causar caso venha a ocorrer. Considera consequências para a segurança estrutural, funcionalidade da edificação e o conforto dos usuários. Quanto maior a severidade, mais crítica é a falha.

Ocorrência (O): refere-se à probabilidade ou frequência com que a falha tende a se manifestar. Leva em conta fatores como histórico de degradação, condições de uso e características dos sistemas construtivos.

Detecção (D): indica a dificuldade de identificar a falha antes que ela provoque efeitos indesejáveis. Quanto mais difícil for detectá-la por meio de inspeção, manutenção ou monitoramento, maior será a sua nota neste critério.

Quadro 2 - Critérios de falha.

Índice	Severidade	Ocorrência	Detecção
1	Mínima - falha quase imperceptível	Remota – dificilmente ocorre ao que leva a falha	Muito Grande - Certamente será detectado
2-3	Pequena - ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento do cliente	Pequena – ocorre em pequena escala	Grande - Grande probabilidade de ser detectado
4-5-6	Moderada - Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente	Moderada – às vezes ocorre a causa que leva a falha	Moderada - Provavelmente será detectado
7-8	Alta – o sistema deixa de funcionar e grande descontentamento do cliente	Alta – ocorre a falha com certa frequência	Pequena - Provavelmente não será detectado
9-10	Muito Alta - idem ao anterior, porém afeta a segurança	Muito Alta –ocorre em vários momentos	Muito Pequena - não será detectado

Além dos critérios de avaliação individuais, o método FMEA utiliza o NPR como indicador quantitativo para hierarquização das falhas identificadas. Esse valor é obtido por meio da multiplicação dos índices atribuídos à Severidade (S), à Ocorrência (O) e à Detecção (D), conforme a equação:

$$NPR = S \times O \times D \quad (1)$$

onde:
S= severidade
O= ocorrência
D= detecção

Valores elevados de NPR indicam falhas com maior criticidade, exigindo atenção prioritária na definição de ações corretivas e preventivas [11]. A análise por meio do FMEA possibilita compreender não apenas os modos de falha potenciais, mas também suas causas prováveis e consequências associadas. A partir dessa abordagem, torna-se possível propor estratégias técnicas para mitigar riscos, reduzir recorrências e direcionar os recursos de manutenção de forma mais eficaz. Desse modo, o método viabiliza

a construção de um índice estruturado, que subsidia a tomada de decisão sobre as intervenções urgentes em função do impacto, da frequência e da capacidade de identificação das falhas [12].

A qualidade de uma intervenção não se limita à execução, mas depende da coerência entre o diagnóstico técnico e as ações realizadas. Segundo Costa e Lima [13], o FMEA contribui para hierarquizar tecnicamente os elementos críticos da edificação, priorizando os que mais afetam a segurança e funcionalidade. Costa *et al*. [14] ressaltam que a falta de alinhamento entre diagnóstico e execução pode gerar desperdícios e recorrência de falhas.

Na edificação analisada, a inspeção técnica revelou problemas como umidade ascendente, corrosão em armaduras expostas, fissuras, trincas em revestimentos, desplacamento de pintura, bolor e deformações em beirais. Também foram observadas passagens inadequadas de tubulações, comprometendo o desempenho das paredes. Entretanto, as ações realizadas até o momento cobrem apenas parte dessas demandas. Apesar de melhorias pontuais, falhas críticas seguem sem tratamento, sugerindo um desalinhamento técnico na priorização da reforma. Silva, Andrade e Moura [15] destacam que a priorização correta, orientada por ferramentas como o FMEA, é essencial para garantir intervenções eficazes.

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de pesquisa

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e caráter exploratório, Com objetivo de analisar a coerência entre as ações executadas na reforma de uma instituição de ensino superior na cidade de Quixadá e as prioridades estabelecidas pelo método FMEA. A investigação foi conduzida em quatro etapas principais.



Figura 1 – Quixadá, Ceará: Localização Geográfica. [16]

3.2 Etapas da pesquisa



Figura 2 – Etapas para a realização do estudo de caso.

Esta pesquisa de natureza aplicada com abordagem qualitativa foi desenvolvida em quatro etapas integradas:

(i) Visita técnica à edificação em reforma para levantamento das manifestações patológicas e registro fotográfico.

(ii) Realização de entrevistas semiestruturadas para compreender os critérios adotados na execução das intervenções.

(iii) Construção de uma matriz FMEA, na qual foram identificados modos de falha e atribuídos índices de severidade, ocorrência e detecção, possibilitando o cálculo do NPR.

(iv) Análise comparativa entre a matriz de riscos e as ações realizadas na obra, permitindo identificar convergências e lacunas e propor recomendações para aprimorar a priorização técnica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Diagnóstico técnico da edificação

A partir das visitas técnicas realizadas, foi possível identificar doze modos de falha distintos na edificação analisada, relacionados a manifestações patológicas com potencial de comprometer a segurança estrutural, o desempenho funcional e a durabilidade do edifício. Entre os principais problemas observados estão: perda de seção transversal de armaduras em pilares, desplacamento de concreto, trincas em revestimentos, fissuras em alvenarias e desplacamento de pintura . Essas falha apresentam variações significativas quanto aos índices, os quais foram utilizados para calcular o Risco NPR, conforme FMEA.

Problemas como a corrosão das armaduras expostas, identificadas em diversos pilares, foram classificados com alta severidade (nota 10), alta ocorrência (nota 9) e baixa probabilidade de detecção (nota 8), resultando em NPR igual a 720 o maior entre todos os casos avaliados. Essa condição representa risco estrutural e exige ação imediata, dada sua influência direta na estabilidade da edificação.

4.2 Aplicação do FMEA

A análise FMEA possibilitou a quantificação dos riscos por meio da combinação dos índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D). Os modos de falha com maiores valores de NPR foram a perda de seção transversal de armadura (NPR = 720), o deslocamento de concreto em pilares (NPR = 720) e o comprometimento do cobrimento de elementos estruturais (NPR = 512). Por outro lado, falhas como bolhas no emassamento (NPR = 48), desplacamento da pintura

(NPR = 80) e fissuras em alvenarias (NPR = 140) apresentaram os menores valores, o que indica impacto menos crítico em termos estruturais e funcionais.

Entretanto, mesmo os modos de falha com menor NPR não devem ser negligenciados, pois podem representar falhas recorrentes e contribuir para o desgaste precoce do edifício se não forem corrigidas de forma sistemática Essa ferramenta proporcionou uma hierarquização técnica eficaz, permitindo identificar os modos de falha com maior risco à funcionalidade da edificação.

A Tabela 1 a seguir apresenta a matriz FMEA aplicada na análise das manifestações patológicas identificadas durante a visita técnica.

Quadro 3 - Aplicação do formulário FMEA.

(Continua)

Etapas do processo	Modo de falha	Causas de falha	Probabilidade de ocorrência	Probabilidade de detecção	Gravidade de falha	Número de prioridade de risco (NPR)
1	Perda de seção transversal de armadura em pilares	Despassivação e corrosão	9	8	10	720
2	Desplacamento de concreto em pilares	Uso, sobrecarga e carbonatação	9	8	10	720
3	Cobrimento comprometido de elementos estruturais	Uso, intempéries e materiais	8	8	8	512
4	Flechas excessivas em vigas	Uso, sobrecarga e material	6	7	8	336
5	Cortes em elementos estruturais	Uso e negligência	4	7	7	196
6	Sistema elétrico comprometido	Uso e dimensionamento	4	5	9	180

Quadro 3 - Aplicação do formulário FMEA.

(Conclusão)

Etapas do processo	Modo de falha	Causas de falha	Probabilidade de ocorrência	Probabilidade de detecção	Gravidade de falha	Número de prioridade de risco (NPR)
7	Sistema hidráulico insuficiente	Uso e dimensionamento	4	5	8	160
8	Trincas em revestimentos cerâmicos	Uso, recalque e execução	5	10	3	150
9	Desagregamento do revestimento de argamassa	Infiltração	7	7	3	147
10	Fissuras em alvenarias	Recalque e sobrecarga	5	7	4	140
11	Desplacamento da pintura	Infiltração, sol e uso	8	10	1	80
12	Bolhas no emassamento	Infiltração e execução	6	8	1	48

4.3 Intervenções executadas na reforma

As intervenções realizadas até o momento contemplam ações como aplicação de revestimento cerâmico até 1,50 m nas paredes internas e externas, reforço estrutural em grande parte dos pilares com cerâmica externa, retelhamento pontual, emassamento e pintura interna das salas. Tais medidas respondem, ainda que parcialmente, às falhas observadas, com foco na recuperação estética, proteção superficial e reforço de elementos estruturais.

Entretanto, algumas práticas carecem de fundamentação técnica mais precisa, especialmente no que se refere ao reforço dos pilares. Há indícios de ausência de dimensionamento adequado das armaduras e do concreto, bem como de falhas na execução e preparo das superfícies para recebimento de novos revestimentos. Esses aspectos, embora não invalidam os esforços de intervenção, podem comprometer a durabilidade e a efetividade das soluções aplicadas.

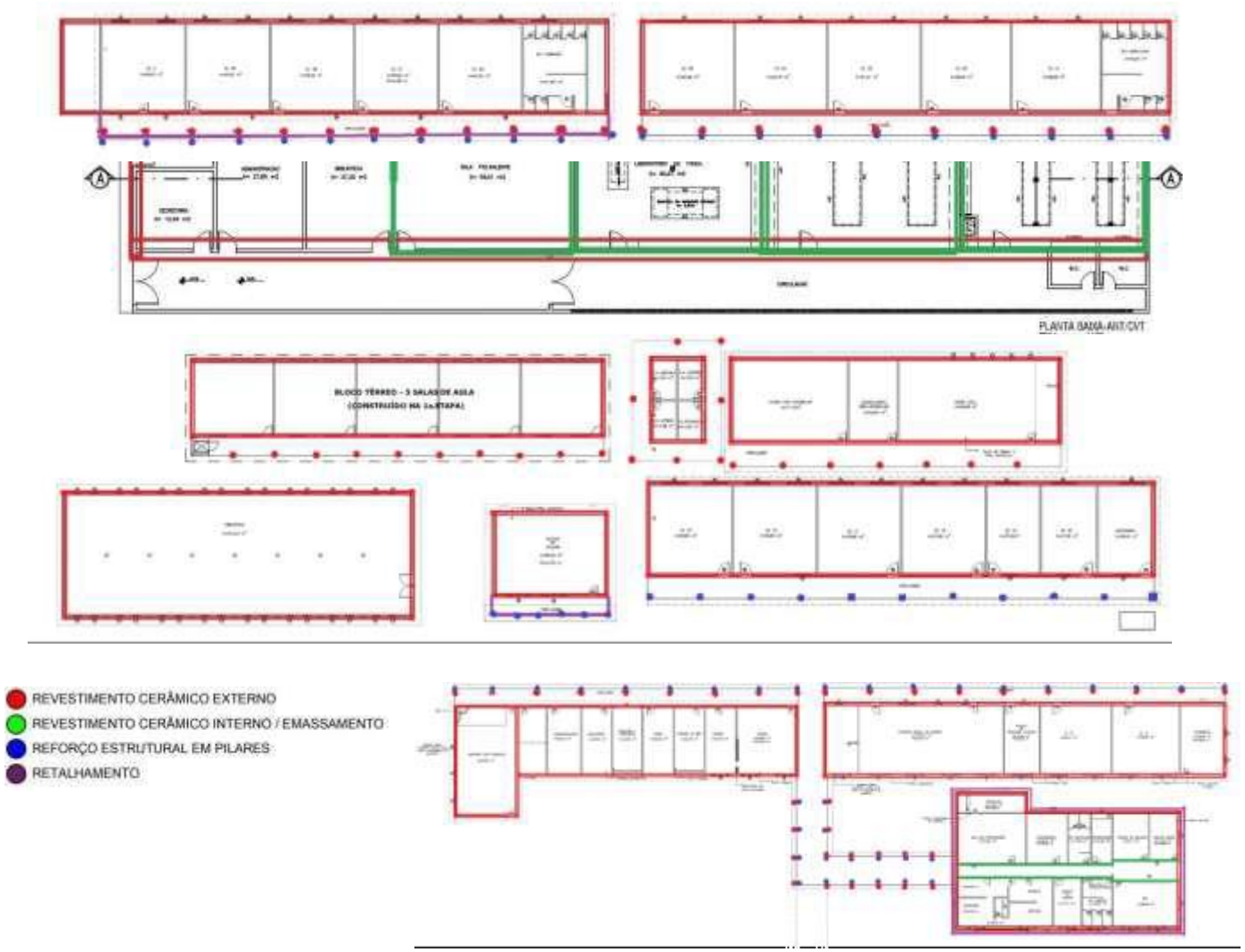


Figura 3 – Planta baixa da edificação.

i. Revestimento cerâmico, emassamento e pintura nas paredes internas.

Essa estratégia contribui para mitigar a ascensão capilar da umidade e protege a base das alvenarias contra impactos e desgaste por uso contínuo. A seguir, a Figura 4 apresenta o comparativo visual do estado das paredes antes e após a aplicação do revestimento cerâmico. A repintura das paredes internas colaborou para a renovação estética e a proteção contra agentes agressivos, minimizando os efeitos de umidade e bolor, demonstrando a condição das paredes internas antes e depois da pintura. O emassamento contribuiu para corrigir imperfeições superficiais nas paredes, eliminando bolhas e áreas desagregadas, além de preparar a superfície para o acabamento.



Figura 4 – Área interna (2025).

ii. Retelhamento em áreas pontuais e revestimento cerâmico externo.

O retelhamento tem papel fundamental na prevenção de infiltrações, reduzindo significativamente o risco de umidade nas lajes e nas paredes internas. A Figura 5 ilustra o antes e o depois da intervenção nas áreas em que o retelhamento foi executado.



Figura 5 – Área externa (2025).

iii. Reforço estrutural nos pilares.

A aplicação de reforço com elementos cerâmicos nos pilares foi essencial para restaurar a integridade estrutural e aumentar a durabilidade frente à corrosão identificada. A Figura 6 apresenta os pilares antes e após o reforço estrutural executado durante a reforma.



Figura 6 – Entrada (2025).

4.4 Comparação entre prioridades técnicas e intervenções executadas.

Ao comparar os modos de falha priorizados pelo FMEA com as intervenções efetivamente realizadas, observa-se certa divergência. Embora os pilares comprometidos tenham recebido reforço estrutural (ações compatíveis com os maiores valores de NPR), falhas relevantes como fissuras em alvenarias, trincas no piso cerâmico, cortes indevidos para passagem de dutos e corrosão em vigas com armaduras expostas permanecem sem tratamento adequado.

Como apontam Lima e Rocha [17], essa divergência entre o diagnóstico técnico e a execução das intervenções ocorre, em grande parte, devido a limitações orçamentárias, ausência de gestão integrada e falhas na priorização baseada em risco. A não intervenção em falhas com elevada severidade pode comprometer a durabilidade e a segurança do edifício no médio e longo prazo.

A seguir, o quadro 4, apresenta a comparação entre os modos de falha identificados por meio do método FMEA e as intervenções executadas na reforma, evidenciando discrepâncias entre as prioridades técnicas e as ações realizadas.

Quadro 4- Comparativo entre modos de falha e manutenção executadas.

(continua)

N°	Modo de falha	NPR	Intervenção recomendada	Intervenção executada?
1	Perda de seção transversal de armadura em pilares	720	Reforço estrutural	SIM
2	Desplacamento de concreto em pilares	720	Recuperação das seções	SIM
3	Cobrimento comprometido de elementos estruturais	512	Reparo estrutural e proteção superficial	PARCIAL
4	Flechas excessivas em vigas	336	Substituição ou escoramento estrutural	NÃO
5	Cortes em elementos estruturais	196	Fechamento e reposicionamento	NÃO

Quadro 4- Comparativo entre modos de falha e manutenção executadas.

(conclusão)

N°	Modo de falha	NPR	Intervenção recomendada	Intervenção executada?
6	Sistema elétrico comprometido	180	Redimensionamento completo dos circuitos e quadro	NÃO
7	Sistema hidráulico insuficiente	160	Redimensionamento e substituição das tubulações e componentes	NÃO
8	Trincas em revestimentos cerâmicos	150	Remoção e substituição	NÃO
9	Desagregamento do revestimento de argamassa	147	Remoção e execução	SIM
10	Fissuras em alvenarias	140	Reparo com argamassa	NÃO
11	Desplacamento da pintura	80	Lixamento, selador e nova pintura	SIM
12	Bolhas no emassamento	48	remoção e reaplicação	SIM

5. CONCLUSÃO

O método FMEA mostrou-se uma ferramenta eficaz e aplicável ao contexto da engenharia civil, ao permitir identificar, hierarquizar e analisar os riscos associados a falhas construtivas em edificações públicas. Com base nos critérios de severidade, ocorrência e detecção, foi possível elaborar uma matriz de criticidade que orientou decisões mais técnicas e fundamentadas, evitando priorizações arbitrárias e ampliando a racionalidade no uso dos recursos.

A gestão da manutenção corretiva, especialmente em instituições públicas com restrições orçamentárias, demanda a combinação de métodos objetivos com percepções técnicas contextualizadas. No caso da edificação universitária analisada, o FMEA contribuiu para alinhar as intervenções às reais necessidades da estrutura, favorecendo sua durabilidade e funcionalidade. Sua adoção em universidades representa um avanço na gestão predial e na alocação eficiente de recursos públicos.

REFERÊNCIAS

[1] SILVA, D. R.; OLIVEIRA, G. H.; SOUZA, M. A. **Gestão de manutenção em edificações públicas de ensino: desafios e perspectivas.** Revista Gestão Pública em Foco, v. 17, n. 2, p. 85–101, 2021.

[2] REIS, R. A.; CUNHA, M. A.; ALMEIDA, L. F. **Aplicação do método FMEA para priorização de manutenções em edificações escolares.** Revista Engenharia e Construção Civil, v. 10, n. 1, p. 45–60, 2019.

[3] SANTOS, A. F.; LIMA, R. M.; OLIVEIRA, T. S. **Gestão de manutenção predial em instituições públicas de ensino: análise de práticas e desafios.** Revista de Engenharia Aplicada, v. 13, n. 1, p. 41–55, 2021.

[4] BORGES, L. R.; SILVA, J. P.; CARVALHO, M. A. **Estratégias de manutenção predial: corretiva, preventiva e preditiva em edificações públicas.** Revista Construção e Sustentabilidade, v. 8, n. 2, p. 89–103, 2020.

[5] SANTOS, J. P. *et al*. **Planejamento da manutenção predial em universidades públicas: uma abordagem estratégica.** Caderno Técnico de Engenharia, v. 17, n. 3, p. 77–91, 2021.

[6] FERREIRA, D. M.; MELO, T. F. **Critérios técnicos para priorização de reformas em edificações públicas: uma revisão sistemática.** Revista Gestão e Construção Civil, v. 11, n. 2, p. 58–74, 2022.

[7] LIMA, F. G.; ROCHA, V. S. **Aplicação do FMEA na manutenção predial: priorização de riscos em ambientes institucionais.** Revista Engenharia Moderna, v. 9, n. 1, p. 23–37, 2020.

[8] REIS, R. A.; CUNHA, M. A.; ALMEIDA, L. F. **Aplicação do método FMEA para priorização de manutenções em edificações escolares.** Revista Engenharia e Construção Civil, v. 10, n. 1, p. 45–60, 2019.

[9] COSTA, M. A.; LIMA, R. S. **O uso do FMEA na manutenção predial: contribuições para a gestão de riscos em edificações públicas.** Caderno de Engenharia Civil, v. 8, n. 1, p. 23–38, 2020.

[10] SILVA, J. B. **Fundamentos da Análise de Modos de Falha: aplicações do FMEA em engenharia.** São Paulo: Editora Técnica, 2007.

[11] GALEANO HERNÁNDEZ, E. M. **Aplicación del FMEA en sistemas constructivos deteriorados.** Revista Ingeniería y Mantenimiento, v. 9, n. 3, p. 35–47, 2017.

[12] GUERRA HUAMALI, R. R.; AYLLON PEREZ, M. J. **Análisis del riesgo en edificaciones educativas mediante FMEA.** Revista Internacional de Ingeniería Civil, v. 11, n. 1, p. 12–25, 2023.

[13] COSTA, M. A.; LIMA, R. S. **Avaliação de falhas técnicas em reformas públicas com uso do FMEA.** Caderno de Engenharia Civil, v. 9, n. 2, p. 30–44, 2021.

[14] COSTA, A. R. *et al*. **Diagnóstico técnico e execução de obras públicas: estudo de caso em campus universitário.** Revista Técnica de Engenharia Civil, v. 10, n. 2, p. 66–80, 2020.

[15] SILVA, A. P.; ANDRADE, J. L.; MOURA, C. H. **Critérios técnicos na gestão de reformas prediais: a importância da análise de risco.** Revista Planejamento e Construção Pública, v. 7, n. 3, p. 92–105, 2019.

[16] GOOGLE EARTH. **Quixadá, Ceará, Brasil**. Imagens de satélite. Disponível em: https://earth.google.com. Acesso em: 18 abr. 2025.

[17] LIMA, F. G.; ROCHA, V. S. **Aplicação do FMEA na manutenção predial: priorização de riscos em ambientes institucionais.** Revista Engenharia Moderna, v. 9, n. 1, p. 23–37, 2020.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-16

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

Avaliação de empresa de grande porte do setor de construção civil em Fortaleza – Ceará quanto aos processos da engenharia de produção e proposição de melhorias

GONÇALVES, Leilia Mara dos Santos[1]; CIRINO, Miguel Adriano Gonçalves[2]; DAMASCENO, Felipe Storch[3] , SOARES, George Nunes[4] , CARVALHO, André Róseo de[5]

1 Fucape Business School, Vitória - Espírito Santo, Brasil, leiliamara@hotmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4463-2718
2 Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte- Ceará, Brasil, miguel.goncalves@urca.br, https://orcid.org/0000-0001-5441-8080
3 Fucape Business School, Vitória – Espírito Santo, Brasil, fdamasceno@fucape.br, https://orcid.org/0000-0002-7046-0040
4 Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ceará, Brasil, georgesoaresthe@gmail.com
5 Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ceará, Brasil, andre_roseo@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho analisa a aplicação de conceitos de engenharia de produção em uma empresa de grande porte no setor da construção civil, em Fortaleza, Ceará. A pesquisa aborda temas como gestão de estoques, capacidade produtiva, previsão e gestão da demanda, qualidade, ergonomia e planejamento de processos. Utilizando um questionário baseado em conceitos de produção, foram propostas melhorias para otimizar o desempenho organizacional e reduzir custos A pesquisa foi realizada em quatro etapas: levantamento bibliográfico, contato com uma construtora em Fortaleza, aplicação de um checklist estruturado com a gerência e análise descritiva dos dados coletados. O objetivo foi identificar práticas de gestão da produção e propor melhorias. A análise da empresa revelou boas práticas, mas também áreas de melhoria, como a priorização de materiais críticos, previsão de demanda reativa e otimização do arranjo físico. Há oportunidades para aprimorar a qualidade, ergonomia, gestão de filas e adotar práticas *Lean Construction*. O estudo destacou a importância da engenharia de produção para a sustentabilidade e competitividade do negócio, sugerindo a consolidação de práticas baseadas em dados e a capacitação da equipe.

Palavras-chave: Gestão da Produção; Construção Civil; Empresas de grande porte; Checklist; Planejamento e Controle;

ABSTRACT

This paper analyzes the application of production engineering concepts in a large company in the construction sector in Fortaleza, Ceará. The research addresses topics such as inventory management, production capacity, demand forecasting and management, quality, ergonomics, and process planning. Using a questionnaire based on production concepts, improvements were proposed to optimize organizational performance and reduce costs. The research was conducted in four stages: literature review, contact with a construction company in Fortaleza, application of a structured checklist with management, and descriptive analysis of the collected data. The aim was to identify production management practices and propose improvements. The company's analysis revealed good practices, but also areas for improvement, such as prioritizing critical materials, reactive demand forecasting, and optimizing the physical layout. There are opportunities to improve quality, ergonomics, queue management, and adopt Lean practices. The study highlighted the importance of production engineering for business sustainability and competitiveness, suggesting the consolidation of data-driven practices and team training.

Keywords: Production Management; Construction Industry; Large Companies; Checklist; Planning and Control.

1. INTRODUÇÃO

A gestão da produção na construção civil é fundamental para o desempenho organizacional, especialmente em empresas de grande porte que operam em ambientes complexos e dinâmicos. Aplicar os conceitos da engenharia de produção tais como gestão de estoques, capacidade produtiva, filas, previsão de demanda, localização e arranjo físico, qualidade, ergonomia, projeto do produto e do processo, é considerado fundamental para a melhoria da eficiência empresa, além de proporcionar a redução de desperdícios e o melhor o controle dos processos.

Neste contexto, o setor da construção civil ainda enfrenta desafios significativos relacionados à baixa formalização e à limitada aplicação de práticas gerenciais estruturadas, o que pode comprometer o orçamento, os prazos e, assim, impactar negativamente na satisfação do cliente. Assim, com a adoção de uma abordagem sistêmica e integrada, com foco na racionalização de recursos e no alinhamento estratégico entre produção e gestão, pode representar um diferencial competitivo relevante para empresas de grande porte que atuam no setor da construção civil.

Este trabalho aborda conceitos da engenharia de produção aplicados à gestão de estoques, capacidade produtiva, filas, previsão e gestão da demanda, localização e arranjo físico, gestão da qualidade, projeto e medidas de trabalho, ergonomia, cálculo de necessidades de materiais, restrições no sistema produtivo, bem como projeto do produto e do processo em uma empresa do setor da construção civil de grande porte na cidade de Fortaleza Ceará.

Segundo Slack *et al.* (2009), a gestão eficiente da produção depende de decisões integradas sobre recursos, capacidade e controle de processos. Em empresas da construção civil, essas práticas ainda enfrentam dificuldades devido à baixa formalização dos processos (SANTOS; MENEZES, 2010).

Essa abordagem se justifica pelo fato de que o desconhecimento dos fundamentos da produção ainda é comum no setor, contribuindo para falhas de controle, atrasos e elevação de custos (LIMA; FORMOSO, 2005). A ausência de uma gestão estruturada compromete o desempenho organizacional e a satisfação do cliente final.

O objetivo deste trabalho é analisar criticamente os sistemas de gestão da empresa pesquisada à luz dos principais conceitos da engenharia de produção, identificando oportunidades de melhoria e propondo ações integradas nos níveis estratégico, tático e operacional, com foco no aumento da eficiência, na redução de desperdícios e na sustentabilidade dos processos produtivos.

A analisada é caracterizada como uma empresa de grande porte, de boa reputação no setor da construção civil da capital cearense. Sua estrutura organizacional e de gestão pode ser considerada bem estruturada, quando comparada à empresas de menor porte, por apresentar uma divisão clara dos setores e dos responsáveis por cada um deles, além de possuir um bom controle de registros, o que possibilita um controle mais eficaz dos processos produtivos, conforme preconizam Chiavenato (2005) e Tubino (2007), que destacam a importância da formalização e integração dos sistemas para o sucesso operacional. Compatível com a definição apresentada por Dornelas (2008), que define que as empresas de grande porte são caracterizadas por uma estrutura organizacional formalizada, maior número de funcionários, acesso a maiores volumes de capital, atuação em mercados amplos e complexidade operacional elevada. Essas organizações tendem a possuir departamentos especializados e políticas internas bem definidas, o que permite maior capacidade de planejamento e controle dos processos produtivos.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza aplicada, pois busca gerar conhecimento para aplicação prática na gestão da produção em empresas da construção civil. Quanto à abordagem do problema, trata-se de uma pesquisa qualitativa e quantitativa, uma vez que combina a análise descritiva das práticas gerenciais com o tratamento de dados obtidos por meio de um checklist estruturado.

Em relação aos objetivos, a pesquisa é descritiva, pois visa observar, registrar e analisar os métodos de planejamento e controle da produção adotados pela empresa estudada. Quanto aos procedimentos técnicos, trata-se de um estudo de caso, realizado em uma única construtora localizada em Fortaleza, Ceará.

O instrumento utilizado para a coleta de dados foi um checklist estruturado, elaborado com base em categorias conceituais da engenharia de produção, permitindo identificar práticas adotadas e propor melhorias a partir da análise dos resultados. A estrutura do questionário visa diagnosticar a maturidade e a aplicação prática desses conceitos no contexto da empresa estudada. As questões que compõem o checklist encontram-se apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Checklist aplicado na pesquisa

Item Avaliado	Perguntas
Gestão de Estoques	1.1. Como a empresa trabalha com seus estoques?
	1.2. Onde se trabalha com estoques?
	1.3. Quais os motivos apontados para a existência dos estoques?
	1.4. Quando e como decidem fazer o ressuprimento dos estoques?
	1.5. Quem são os responsáveis pela gestão dos estoques?
	1.6. A empresa faz o controle dos materiais críticos e elabora a curva ABC?
Previsão de Demanda em Unidades de Produção	2.1. A empresa faz previsão de demanda?
	2.2. Quais os erros cometidos e ações tomadas?
	2.3. Armazena dados e trabalha com erros de previsão?
	2.4. Quais ferramentas utiliza para prever?
	2.5. Faz previsões de curto, médio e longo prazo?
Localização e Arranjo Físico Produtivo	3.1. Como determina a localização das obras?
	3.2. Quais métodos utiliza?
	3.3. Como trabalha com fornecedores?
	3.4. Como elabora o arranjo físico?
	3.5. Faz projeto de canteiro e adapta conforme necessário?
Capacidade Produtiva e Filas nas Unidades de Operação	4.1. Como organiza a capacidade produtiva?
	4.2. Quais decisões envolvidas?
	4.3. Como mede a capacidade produtiva?
	4.4. Onde ocorrem filas e como impactam a produção?
Qualidade Total e Melhoramento em Produção	5.1. Possui ferramentas da qualidade?
	5.2. Quais são e como armazena informações?
	5.3. Há controle de qualidade em quais processos?
	5.4. Adota poka yoke?
	5.5. Quem controla os processos?
	5.6. Quais são as metas de melhoria?
	5.7. Quais ferramentas utiliza para alcançar melhorias?
Projeto, Medida de Trabalho e Ergonomia	6.1. Avalia os processos?
	6.2. Como lida com rotação, motivação e ampliação do trabalho?
	6.3. Quais processos de ergonomia são aplicados?
	6.4. Utiliza diagrama de fluxo?
	6.5. Como mede o trabalho?
	6.6. Armazena dados e como?
	6.7. Divulga os dados e como os utiliza?
Cálculo das Necessidades de Materiais	7.1. Como realiza o cálculo das necessidades de materiais?
	7.2. Utiliza MRP?

JIT e Produção Enxuta	8.1. Trabalha com os preceitos da filosofia LEAN CONSTRUCTION (Construção enxuta)?
	8.2. Aplica o JIT (Just In Time – Na hora certa)?
	8.3. Trabalha com lotes pequenos?
	8.4. Qual o papel da mão de obra direta e indireta?
	8.5. Mantém o ambiente limpo e como?
	8.6. Busca reduzir desperdícios e como?
	8.7. Como é o relacionamento com os fornecedores?
	8.8. Como controla e avalia o fornecimento de materiais?
	8.9. Usa kanban? Para quais serviços?
Restrições em Processos de Operações	9.1. Onde e como lida com as restrições?
	9.2. Como afere as restrições?
	9.3. Quais são as principais restrições por serviço?
	9.4. Como é feita a gestão dessas restrições?
	9.5. Utiliza algum processo informatizado?
Projeto do Produto e Seleção dos Processos	10.1. Como é feito o projeto do produto e do processo?
	10.2. Qual a estratégia de marketing?
	10.3. Há projeto de manufatura com ritmo definido?
	10.4. Faz avaliação e reuniões periódicas?
	10.5. Há replanejamento?
	10.6. Utiliza algum software?

A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas: inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico para embasar teoricamente os temas relacionados à engenharia de produção aplicados à construção civil. Em seguida, estabeleceu-se contato com uma construtora localizada em Fortaleza, Ceará, que colaborou com o estudo.

Na terceira etapa, foi aplicado um checklist estruturado junto à gerência da empresa, com questões distribuídas em categorias temáticas previamente definidas. Por fim, os dados coletados foram analisados de forma descritiva, permitindo a identificação de práticas adotadas e a proposição de melhorias nos processos de gestão da produção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 são apresentados os dados relacionados à análise das práticas adotadas pela empresa quanto aos tópicos avaliados por meio das perguntas do checklist, incluindo-se sugestões de melhorias com base nos resultados obtidos.

Tabela 2: Diagnóstico da empresa e sugestão de melhorias

Tópico	Prática Atual	Sugestões de Melhoria
Gestão de Estoques	Sistema com cadastro, codificação e controle via software. Estoque de segurança. Almoxarifados nas obras e um central. Sem uso da curva ABC.	Definir tipos de estoques (estratégico, segurança, reposição). Calcular lote econômico. Implementar curva ABC com nível de serviço. Criar histogramas de controle.
Previsão de Demanda	Previsões feitas com base em dados históricos e produtividade. Sem ferramentas estatísticas.	Estabelecer metas. Aplicar análise estatística. Considerar tendências e dados de mercado. Avaliar consistência dos dados e comportamento dos concorrentes.
Localização e Arranjo Físico	Localização com base em viabilidade econômica. Layout baseado em fases da obra e projetos de arquitetura.	Considerar proximidade de suprimentos, mão de obra, clientes. Usar método do centro de gravidade. Avaliar processos por etapas e adotar células produtivas.

Tópico	Prática Atual	Sugestões de Melhoria
Capacidade Produtiva e Filas	Capacidade baseada em dados históricos e plano mestre. Filas na grua e fluxo de pedidos.	Avaliar periodicamente a capacidade. Prever necessidades. Reduzir gargalos nas filas. Acompanhar tempo perdido e envolvimento do cliente via acesso virtual.
Qualidade Total e Melhoria	Sistema baseado no PBQP-H, ISO 9001 e "d'olho na construção". Checklists semestrais. Poka-yoke e Kanban aplicados.	Ampliar para toda a empresa. Incluir 6 Sigma. Elaborar cartas de controle. Fazer benchmarking interno e externo.
Projeto, Medida de Trabalho e Ergonomia	Medida por produção executada. Treinamentos na contratação e antes das tarefas. Ergonomia pontual, sem projetos formais.	Especialização via treinamentos periódicos. Mapas e cartilhas ergonômicas. Medidas baseadas em amostragem e dados históricos. Motivar com reconhecimento e carreira.
Cálculo das Necessidades de Materiais	Planejamento quinzenal via reuniões e IPROC/Excel. Sem sistema específico de cálculo.	Implementar sistema para cálculo automatizado das necessidades. Melhor integração entre planejamento e execução.
JIT e Produção Enxuta	Aplicação parcial de conceitos lean. Kanban para transporte e produção. Programa de limpeza. Avaliação periódica de fornecedores.	Aplicar mais ferramentas lean. Fortalecer parceria com fornecedores. Reduzir desperdícios com padronização. Aumentar autonomia dos operários.
Restrições em Processos de Operações	Entraves tratados em reuniões. Exemplo: filas no guincho.	Antecipar gargalos com kanban e plano de contingência. Monitoramento contínuo.
Projeto do Produto e Seleção de Processos	Sem projeto formal de processos. Adaptação conforme cronograma e fase da obra. Pouca compatibilização entre projetos.	Estruturar procedimentos padronizados. Melhor compatibilização de projetos. Usar planejamento reverso.

4.1 Análise da empresa

A eficiência da gestão da produção em empresas da construção civil exige uma abordagem integrada, articulando ações em diferentes níveis – estratégico, tático e operacional – de forma coordenada. No nível estratégico, é essencial incorporar a filosofia da melhoria contínua como princípio norteador da organização. Essa mentalidade, conforme defendido por Slack et al. (2009), deve permear todas as áreas e práticas corporativas, ultrapassando o caráter pontual de projetos isolados. Para isso, a empresa deve adotar uma visão sistêmica, sustentada por decisões que considerem não apenas a produtividade, mas também os pilares da sustentabilidade, da segurança e da conformidade com os usuários.

A integração entre o desenvolvimento de produtos e os processos produtivos é outra frente estratégica relevante, pois garante que a inovação caminhe de forma alinhada à viabilidade técnica e à eficiência operacional, conforme sugerem Ulrich e Eppinger (2004). Além disso, a implantação de sistemas integrados de gestão, conectando setores como produção, suprimentos e finanças, favorece a tomada de decisão com base em dados, fortalecendo o planejamento de longo prazo.

Essas diretrizes estratégicas se desdobram no nível tático, onde a empresa pode desenvolver políticas que orientem práticas fundamentais como a gestão de estoques, a previsão de demanda e o arranjo físico dos processos. A definição de estoques de segurança e reservas estratégicas, somada ao uso de ferramentas como o lote econômico de reposição e a curva ABC, contribui para maior controle e redução de perdas, conforme destacam Bowersox et al. (2006). Paralelamente, a adoção de modelos estatísticos e baseados em dados históricos confiáveis para a previsão de demanda, conforme apontado por Chopra e Meindl (2011), fortalece o planejamento da produção e do abastecimento.

A análise da localização e do layout produtivo com base no método do centro de gravidade e no fluxo de processos, por sua vez, permite otimizar a alocação de recursos e reduzir custos logísticos, como argumentam Corrêa e Corrêa (2012). Ainda nesse nível, práticas de qualidade total, como o Six Sigma, o benchmarking e as cartas de controle, devem ser incorporadas como ferramentas para padronização e excelência nos resultados (IBRAHIM *et al.*, 2023). São fundamentais

para preparar o ambiente produtivo para operar com maior fluidez e controle, a identificação e o monitoramento das restrições produtivas, conforme os princípios da Teoria das Restrições (HERNANDEZ *et al.*, 2024).

No nível operacional, essas estratégias se concretizam por meio de ações práticas no chão de fábrica e nos canteiros de obras. A aplicação dos princípios do Just in Time, com o uso de kanban e outras ferramentas da produção enxuta, permite reduzir estoques intermediários e eliminar desperdícios, conforme defendido por Aslam *et al*., (2024). A racionalização das movimentações e o redesenho do posto de trabalho com foco em ergonomia e organização não apenas melhoram a produtividade, mas também contribuem para o bem-estar e segurança dos colaboradores. O projeto do trabalho deve considerar a especialização, a capacitação e a motivação da equipe, pilares que, segundo Gil (2010), influenciam diretamente a qualidade e a eficiência da produção. O cálculo preciso das necessidades de materiais, com base em mapas de processo e fluxos bem definidos, reduz atrasos e melhora a agilidade do sistema, como ressalta Ballou (2006). Por fim, o equilíbrio entre capacidade instalada e demanda projetada, com o uso de ferramentas de monitoramento contínuo (Heizer, Render & Munson, 2017), assegura que a produção ocorra de forma estável, sem ociosidades ou sobrecargas.

Assim, ao integrar ações nos níveis estratégico, tático e operacional, a organização estabelece um sistema de gestão da produção robusto, sustentável e orientado por dados, capaz de responder com eficiência às exigências do mercado e aos desafios da construção civil contemporânea. Essa integração permite não apenas melhorar o desempenho interno, mas também agregar valor ao produto final e à experiência do cliente.

5. CONCLUSÕES

Este estudo permitiu compreender, de forma estruturada, os principais desafios e oportunidades relacionados à gestão da produção em empresas da construção civil, especialmente no contexto de empresas em processo de amadurecimento organizacional. A partir da análise dos eixos estratégicos — como gestão de estoques, previsão de demanda, arranjo físico, capacidade produtiva, qualidade, ergonomia, JIT, restrições operacionais e projeto do produto —, verificou-se que o domínio das ferramentas de engenharia de produção se apresenta como diferencial competitivo essencial à sustentabilidade do negócio.

A empresa analisada evidencia um esforço contínuo de transformação de sua cultura organizacional, passando de uma gestão baseada em decisões empíricas para uma abordagem mais racional e técnica, embora ainda com lacunas relevantes. A ausência de métodos sistematizados em algumas áreas contrasta com iniciativas pontuais que demonstram um claro interesse pela modernização e pela melhoria da eficiência operacional.

Dessa forma, conclui-se que, para alcançar níveis superiores de desempenho, é indispensável que a empresa consolide práticas de gestão baseadas em dados, promova a integração entre setores, invista na capacitação de sua equipe e incorpore metodologias reconhecidas de controle, previsão e melhoria contínua. O momento atual, caracterizado por uma postura receptiva à mudança, representa uma janela de oportunidade estratégica para a implementação de um sistema de gestão compatível com os princípios da produção enxuta, da sustentabilidade e da excelência operacional.

Em geral, a empresa apresenta tem boas práticas em diversas áreas, mas há oportunidades significativas para investimentos em tecnologia, aprimoramento de processos e estruturação de um planejamento mais detalhado, o que pode resultar em maior eficiência, redução de custos e melhora na qualidade dos projetos executados.

Assim, o estudo reforça que a aplicação integrada dos conceitos da engenharia de produção não apenas contribui para a elevação da produtividade e da qualidade, mas também fortalece a capacidade das empresas em se posicionarem de forma competitiva e resiliente diante das exigências do setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

ASLAM, Mughees; BAFFOE-TWUM, Edmund; AHMED, Muhammad; ULHAQ, Aman. *Unveiling effectiveness of Lean Construction practices: a comprehensive study through surveys and case studies*. Civil Engineering Journal, v. 10, n. 4, p. —, abr. 2024.

BALLOU, R. H. Logística empresarial: transporte, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 2006.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. Gestão da cadeia de suprimentos: logística empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação. São Paulo: Pearson, 2011.

CHIAVENATO, I. Introdução à teoria geral da administração. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. Administração de produção e operações: manufatura e serviços – uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2012.

GIL, A. C. Gestão de pessoas: enfoque nos papéis profissionais. São Paulo: Atlas, 2010.

HEIZER, J.; RENDER, B.; MUNSON, C. Administração da produção. São Paulo: Pearson, 2017.

HERNANDEZ, Maria; WEI, Cheng; IVANOV, Mikhail. Exploring the Theory of Constraints (TOC) in Operational Efficiency: a review of supply chain bottleneck management. *Business, Marketing and Finance Open*, v. 1, n. 4, p. 14–24, jul. 2024.

IBRAHIM, M. R. et al. The key to organizational and construction excellence: a study of Total Quality Management. *arXiv*, 2023.

LIMA, M. A. P.; FORMOSO, C. T. O papel da coordenação na gestão da produção na construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005.

SANTOS, A.; MENEZES, F. Gestão da produção na construção civil: um estudo em empresas de pequeno porte. Revista Produção Online, v. 10, n. 4, 2010.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TUBINO, D. F. Planejamento e controle da produção: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2007.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. Projeto e desenvolvimento de produtos. Porto Alegre: Bookman, 2004.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-17

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

Avaliação de empresa de pequeno porte do setor de construção civil quanto aos processos da engenharia de produção e proposição de melhorias

GONÇALVES, Leilia Mara dos Santos[1]; CIRINO, Miguel Adriano Gonçalves[2]; DAMASCENO, Felipe Storch[3], SOARES, George Nunes [4], CARVALHO, André Róseo de [5]

[1] Fucape Business School, Vitória - Espírito Santo, Brasil, leiliamara@hotmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4463-2718
[2] Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte- Ceará, Brasil, miguel.goncalves@urca.br, https://orcid.org/0000-0001-5441-8080
[3] Fucape Business School, Vitória – Espírito Santo, Brasil, fdamasceno@fucape.br, https://orcid.org/0000-0002-7046-0040
[4] Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ceará, Brasil, georgesoaresthe@gmail.com
[5] Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ceará, Brasil, andre_roseo@hotmail.com

RESUMO

Este estudo analisa práticas de gestão da produção em empresas de construção civil, com ênfase especial em uma empresa de pequeno porte em processo de transição para uma gestão mais eficiente. A pesquisa aborda aspectos fundamentais da engenharia de produção, como gestão de estoques, previsão de demanda, arranjo físico, capacidade produtiva, qualidade, ergonomia, filosofia JIT e restrições operacionais. Através de uma análise comparativa e do uso de ferramentas gerenciais, foram identificadas oportunidades de melhoria e consolidação de práticas mais estruturadas. Os resultados indicam que, embora ainda haja forte presença do empirismo na tomada de decisões, a empresa apresenta sinais de evolução, com investimentos em planejamento e controle que contribuem para uma gestão mais eficaz e estratégica. Conclui-se que a implementação gradual de métodos científicos pode ampliar a competitividade e a sustentabilidade da empresa no mercado.

Palavras-chave: Gestão da Produção; Construção Civil; Pequenas Empresas; Planejamento e Controle;

ABSTRACT

This study analyzes production management practices in construction companies, with a special focus on a small-sized company undergoing a transitional phase to more efficient management. The research addresses key aspects of production engineering, such as inventory management, demand forecasting, facility layout, production capacity, quality, ergonomics, JIT philosophy, and operational constraints. Through comparative analysis and the application of management tools, opportunities for improvement and consolidation of more structured practices were identified. The results show that, although decision-making is still largely empirical, the company demonstrates signs of progress, with investments in planning and control contributing to a more efficient and strategic management approach. It is concluded that the gradual implementation of scientific methods can enhance the company's competitiveness and sustainability in the market.

Keywords: Production Management; Construction Industry; Small Enterprises; Planning and Control;

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente o setor da construção civil é marcada por altos índices de desperdício e baixa produtividade da mão de obra, o que geram desperdícios de materiais, mão de obra e de tempo, o que, ao longo dos anos há uma tendência de modernizar o sistema de gestão da produção, em especial nos casos de pequenas construtoras e pequenas obras (FORMOSO e ISATTO, 1999). Nesse contexto, a aplicação de práticas oriundas da engenharia de produção da produção, tem se mostrado essencial para otimizar recursos, reduzir custos e aumentar a eficiência dos empreendimentos.

O presente trabalho aborda os principais conceitos da Engenharia de Produção aplicados à construção civil, com ênfase na gestão de estoques, capacidade produtiva e gestão de filas em unidades produtivas, previsão e gestão de demanda, localização e arranjo físico, gestão da qualidade, projeto e medidas de trabalho, ergonomia, cálculo da necessidade de materiais, restrições no sistema produtivo, e projeto do produto e do processo.

Essa abordagem se mostra essencial, uma vez que o desconhecimento ou a aplicação inadequada dos princípios da Engenharia de Produção pode resultar em uma série de falhas na gestão organizacional. Entre os principais problemas estão a falta de controle de processos, o descumprimento de prazos contratuais, e o aumento dos custos operacionais (SLACK et al., 2010; TUBINO, 2009).

A empresa escolhida para a análise nesta pesquisa se enquadra como de pequeno porte, atua no mercado há cerca de 20 anos, atuando na Região Metropolitana de Fortaleza, com foco em pequenas reformas e elevado número de obras. De base familiar e com capital de giro limitado, a empresa está atualmente em processo de reestruturação estratégica, visando reduzir o número de obras e aumentar o volume financeiro por contrato, com o objetivo de se consolidar como empresa de médio porte.

A presente pesquisa se insere nesse cenário, buscando evidenciar como a adoção dessas abordagens pode contribuir de forma significativa para a transformação do setor, tornando-o mais competitivo e sustentável. A análise foi direcionada a empresas do setor da construção civil de pequeno porte, considerando os aspectos relacionados à produção e à sua gestão. O objetivo do estudo consiste em analisar criticamente a situação atual da empresa pesquisada com base nos fundamentos da Engenharia de Produção e, a partir dessa análise, propor melhorias nos sistemas de gestão e avaliação aplicados à produção desta empresa.

2. METODOLOGIA

A avaliação foi conduzida por meio da aplicação de um checklist estruturado, direcionado aos gestores de uma construtora de pequeno porte, situada na cidade de Fortaleza, estado do Ceará. O instrumento foi desenvolvido com base nos principais conceitos da Engenharia de Produção, com ênfase nos métodos gerenciais voltados ao planejamento e controle da produção.

Com base nas definições e abordagens sobre gestão da produção, controle de estoques, previsão de demanda, gestão da qualidade, gerenciamento de projetos, identificação de restrições no sistema produtivo e organização da estrutura operacional, identificadas na obra de Slack *et al.* (2009) foi desenvolvido um *checklist* que serviu de referência para a análise da empresa.

A estrutura do questionário visa diagnosticar a maturidade e a aplicação prática desses conceitos no contexto da empresa estudada. As questões que compõem o checklist são apresentadas na sequência, e foram selecionadas e aplicadas aos responsáveis por cada setor da empresa, assim, os responsáveis diretos pelo setor em que as perguntas eram direcionadas seriam os responsáveis pelas respostas.

Projeto, Medida de Trabalho e Ergonomia

1. A empresa faz avaliação dos processos (explicar como)?
2. Como ela trabalha com a rotação do trabalho, semiautonomia, motivação e como aloca o trabalho?
3. Quais os processos de ergonomia que a empresa desenvolve, onde e como são mensurados?
4. A empresa apresenta algum diagrama de fluxo das atividades?
5. Como ela mede o trabalho realizado?
6. Apresenta armazenagem dos dados e como armazena?
7. Esses dados são divulgados e como lidam com os mesmos?

Cálculo das Necessidades de Materiais

8. Como a empresa faz o cálculo das necessidades de materiais e quais as ferramentas que utiliza para isso?
9. Apresenta algum processo com o MRP?

JIT e Produção Enxuta

10. A empresa trabalha com os preceitos da filosofia LEAN?
11. Adota o JIT?
12. Trabalha com lotes de produção e o que representa?
13. Qual o papel da mão de obra direta e indireta?
14. Procura manter o ambiente limpo e como faz isso?
15. Procura reduzir desperdícios de transporte, espera, procurar um objeto, defeito, estoques (por meio do layout)?
16. Como se dá o convívio com os fornecedores? Como avaliam?
17. Como se dá o fornecimento de materiais e o controle de solicitação dos mesmos?
18. Utiliza algum tipo de sistema de kanban? Para quais serviços?

Restrições em Processos de Operações

1. Onde e como a empresa lida com as restrições de processo de produção e quem são eles e o responsável?
2. Como se observa as restrições no processo?
3. Quais são as principais restrições encontradas nos serviços na empresa ou nas suas atividades?
4. Como se dá a gestão dessas restrições?
5. Trabalha com algum processo informatizado?

Projeto do Produto e Seleção dos Processos

6. Como a empresa faz o projeto do produto e de seus derivados?
7. Qual a estratégia de marketing do projeto?
8. Se faz um projeto de manufatura? Projetam a ergonomia do trabalho?
9. Faz avaliação e reuniões periódicas do processo e os imprevistos são respeitados?
10. Há replanejamento?
11. Utiliza algum software?

A pesquisa adotou como estratégia metodológica o estudo de caso, com análise do sistema de planejamento e controle da produção (PCP) em uma empresa de pequeno porte do setor da construção civil em Fortaleza, Ceará. A obra analisada foi a construção de um refeitório no campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC), obtida via processo licitatório, principal área de atuação da empresa.

Trata-se de uma pesquisa exploratório-descritiva, cujo objetivo foi avaliar a presença de práticas de gestão da produção e descrever o uso de ferramentas básicas com base nas respostas dos entrevistados. A coleta de dados ocorreu por meio de visitas técnicas à obra, desde a fase de fundações até o acabamento, e da aplicação de um checklist estruturado, com foco em temas como estoques, previsão de demanda, qualidade, projetos e organização produtiva.

O questionário foi respondido individualmente pelos setores, sem a presença dos pesquisadores, buscando garantir espontaneidade nas respostas. Os resultados foram analisados quanto à existência dos parâmetros avaliados, e as respostas abertas serviram de base para a justificativa de cada item. Por fim, foram propostas melhorias para o sistema gerencial e produtivo da empresa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta um diagnóstico sintético sobre a gestão da produção em uma empresa de construção civil de pequeno porte selecionada como objeto de estudo.

Tabela 1: Diagnóstico da empresa

Tópico	Descrição Resumida
Gestão de Estoques	Materiais são comprados conforme a demanda da obra e armazenados no canteiro. Não há controle de entradas, saídas ou notas fiscais. Falta de planejamento causa desequilíbrios na produção.
Previsão de Demanda	Não há ferramentas de previsão. Planejamento é baseado no orçamento da obra e em conversas informais. Falta histórico de dados e análises preditivas.
Localização e Arranjo Físico	Local das obras é definido por licitações. Fornecedores são regionais, mas há falhas de compromisso. Layout do canteiro é improvisado e depende da experiência do mestre de obras.
Capacidade Produtiva e Filas	Capacidade produtiva é definida empiricamente. Monitoramento ocorre por planilhas de medição. Filas ocorrem por falta de equipamentos suficientes.
Qualidade	Não há controle formal de qualidade. Avaliações são empíricas. Treinamentos não são registrados. Foco da gestão está em prazos e lucro.
Trabalho e Ergonomia	Jornadas são estendidas com horas extras. Ausência de políticas motivacionais. Problemas com uso de EPIs e ergonomia, embora haja organização no canteiro.
Cálculo de Materiais	Não há metodologia formal. Requisições são feitas pela equipe da obra. Acompanhamento é baseado em orçamento e caderno de encargos.
Just in Time (Na hora certa - produzir somente quando for necessário, na quantidade exata e no tempo preciso) e Produção Enxuta	A empresa desconhece os conceitos de JIT e produção enxuta. As decisões são informais, não há controle de desperdícios, e a comunicação é deficiente.
Restrições em Processos	Restrição principal é o fluxo de caixa. Faltam ferramentas e insumos para serviços paralelos. Decisões são tomadas de forma empírica, com visitas frequentes do gestor.
Projeto do Produto e Processos	Projetos geralmente são recebidos prontos. Relacionamento com cliente é informal. Não há planejamento dos processos nem reavaliação de etapas executadas.

A análise dos dados evidencia uma gestão predominantemente empírica, marcada pela ausência de ferramentas formais de controle e planejamento. A gestão de estoques, por exemplo, é realizada de forma reativa, sem controles sistematizados de entradas e saídas ou identificação de materiais críticos. Tal fragilidade compromete o fluxo de materiais e pode gerar interrupções nas atividades (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2001 e SILVA *et al.,* 2018).

A previsão de demanda inexiste de maneira estruturada, sendo baseada apenas em orçamentos e percepções dos gestores. De acordo com Stevenson (2011), a ausência de modelos preditivos pode levar a desequilíbrios entre demanda e capacidade, gerando desperdícios ou atrasos.

No que se refere à capacidade produtiva, nota-se uma forte dependência da experiência do mestre de obras, sem qualquer medição de produtividade ou monitoramento por indicadores. Como destaca Tubino (2009) e Sales, Candido e

Barros Neto (2024), a mensuração da capacidade é essencial para o balanceamento do sistema produtivo e identificação de gargalos.

Em relação à qualidade, o controle se dá de forma informal, sem critérios técnicos definidos, o que compromete a padronização e rastreabilidade. A ausência de um sistema da qualidade dificulta o aperfeiçoamento contínuo dos processos (PALADINI, 2012). A ergonomia e segurança também apresentam deficiências significativas, especialmente no que diz respeito ao uso de EPIs e às condições inadequadas de trabalho. Segundo Iida (2005), o cuidado com o conforto e a segurança do trabalhador é parte essencial da produtividade e sustentabilidade da organização.

A empresa também não adota conceitos da produção enxuta, como o JIT, kanban ou sistemas de melhoria contínua, evidenciando o desconhecimento por parte da gestão sobre tais ferramentas. O sistema produtivo se baseia em decisões informais e na disponibilidade de recursos financeiros, o que limita o desempenho operacional (CAMARGO *et al*., 2024).

Além disso, as restrições operacionais, como falta de equipamentos ou problemas no fluxo de caixa, são tratadas de forma reativa e não estruturada. Segundo Jiang *et al.* (2023), identificar e gerenciar restrições é fundamental para maximizar o desempenho do sistema como um todo.

Por fim, a empresa não participa do projeto do produto e tampouco utiliza metodologias formais para planejar os processos executivos. O relacionamento com os clientes ocorre informalmente, sem instrumentos de avaliação de satisfação ou controle pós-obra, o que pode impactar negativamente na fidelização e melhoria contínua (SLACK *et al.,* 2009).

Em suma, o diagnóstico indica a necessidade de profissionalização da gestão da produção na empresa, com foco na sistematização de processos, uso de ferramentas básicas da engenharia de produção e capacitação da equipe. A adoção progressiva dessas práticas pode aumentar a eficiência operacional, reduzir custos e melhorar a qualidade dos serviços prestados.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos principais aspectos observados na gestão da produção em empresas de construção civil de pequeno porte. As informações foram organizadas em tópicos que abrangem desde o controle de estoques até a seleção de processos executivos e indicar ações corretivas.

Tabela 2: Indicativos de correções

Tópico	Descrição Resumida	Ações Sugeridas
Gestão de Estoques	Controle de entrada e saída de materiais com foco na prevenção de atrasos.	Aplicar curva ABC; designar responsável; definir níveis mínimos e controle visual.
Previsão de Demanda	Previsão de materiais, mão de obra e equipamentos por etapa da obra.	Coletar dados; usar pesquisas com clientes; analisar erros de previsão.
Localização e Arranjo Físico	Escolha estratégica de local e layout eficiente do canteiro.	Utilizar método da gravidade; planejar layout por fases da obra.
Capacidade Produtiva e Filas	Mensuração da capacidade de produção e gestão de filas.	Coletar dados; avaliar distorções; registrar e agir sobre filas.
Qualidade e Melhoria	Implantação da cultura da qualidade além do custo e prazo.	Registrar serviços; definir metas; implantar controle e certificação.
Ergonomia e Medidas de Trabalho	Motivação e segurança no ambiente de trabalho.	Realizar DDS; prever horas extras; fornecer EPIs e melhorias ergonômicas.
Cálculo de Necessidades	Determinação das quantidades de materiais por etapa da obra.	Utilizar planilhas simples; manter estoques de segurança.
JIT e Produção Enxuta	Organização e redução de desperdícios nos processos produtivos.	Trabalhar com fornecedores confiáveis; aplicar 5S, kanban e poka yoke.
Restrições Operacionais	Identificação de gargalos e entraves na produção.	Mapear restrições; atribuir responsáveis; analisar e armazenar dados.

Projeto do Produto e Processos	Planejamento detalhado das atividades e métodos executivos.	Instruções de serviço; revisão contínua dos processos; comparar obras.

A análise dos principais aspectos da gestão da produção em empresas de construção civil de pequeno porte revela uma série de fragilidades estruturais, mas também importantes oportunidades de melhoria. Observa-se que práticas fundamentais como o controle de estoques, a previsão de demanda, o arranjo físico do canteiro e a definição da capacidade produtiva ainda são realizadas, na maioria das vezes, de maneira empírica ou informal. A ausência de sistemas estruturados de informação e de planejamento dificulta a eficiência operacional e compromete a qualidade final do produto.

Um dos pontos críticos identificados está relacionado à gestão de estoques, cuja desorganização pode comprometer prazos e gerar desperdícios. O uso da curva ABC, por exemplo, poderia auxiliar na priorização de materiais mais relevantes para a produção (SIQUEIRA, MELO e KATO, 2021). Do mesmo modo, a previsão de demanda deve ser melhor explorada na gestão, uma vez que potencializa o alinhamento de recursos com as necessidades da obra (ALMEIDA, AMARAL e SILVA, 2022).

Outro ponto relevante é a limitada aplicação de práticas da produção enxuta (lean construction), como o Just in Time (JIT), o kanban e o poka-yoke, que poderiam contribuir significativamente para a redução de desperdícios, melhoria da produtividade e aumento da confiabilidade dos processos (KOSKELA, 1992; BALLARD; HOWELL, 2003), para esta empresa. A qualidade total, muitas vezes, é confundida com simples atendimento ao prazo e orçamento, desconsiderando aspectos como satisfação do cliente, padronização e rastreabilidade dos processos (FEIGENBAUM, 1994), neste sentido, a empresa apresenta foco no cumprimento dos prazos e manter-se no orçamento, sem a busca por uma melhoria nos diferentes setores, o que implicaria em uma gestão mais eficiente dos processos e da saúde financeira da empresa.

Por fim, observa-se que o projeto do produto e a seleção dos processos ainda carecem de integração entre planejamento, execução e controle, sendo necessário o desenvolvimento de sistemas mais robustos de documentação e avaliação dos processos produtivos.

5. CONCLUSÕES

A análise da empresa de pequeno porte do setor da construção civil, revelou um estágio de transição na sua gestão da produção. Observam-se que muitas decisões ainda são baseadas em empirismo e na experiência dos gestores, o que limita o uso de métodos científicos para o planejamento e controle das operações. Apesar disso, a empresa tem demonstrado intenção de crescimento e tem investido em melhorias, o que representa um momento oportuno para a adoção de práticas mais estruturadas de gestão.

A ausência de sistemas formais de controle, como gestão de estoques baseada em dados, previsão de demanda e organização do layout do canteiro, compromete a eficiência e a capacidade de resposta da empresa. A introdução gradual de ferramentas como cronogramas de produção, controle de qualidade, ergonomia e métodos enxutos (como JIT e Kanban) pode aumentar a produtividade, reduzir perdas e qualificar a tomada de decisão.

Mesmo sustentando-se no mercado há duas décadas, o uso de práticas empíricas tende a ser insuficiente para a consolidação da empresa em um novo porte. O fortalecimento da cultura organizacional voltada à qualidade, planejamento e melhoria contínua pode representar um divisor de águas para o seu reposicionamento no setor.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Rafael Ferreira; AMARAL, Tatiana Gondim do; SILVA, Paulo Afonso Lopes da. Métodos de previsão de demanda de materiais: aplicação em uma empresa de administração pública. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 8, n. 11, p. 74296–74310, nov. 2022.

BALLARD, G.; KOSKELA, L. A gestão da produção na construção: teoria e prática. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 20-34, jan. 2001.

CAMARGO, J. V. G.; CÉSAR, C. G.; NUNES, F. A. de S. F.; PONTÍFICE, S. G.; GONÇALVES, C. A. Lean construction na construtora X: um estudo de caso sobre a eliminação de desperdícios e aumento da produtividade. Brazilian Journal of Production Engineering, v. 10, n. 4, p. 241-256, 2024.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. Planejamento, programação e controle da produção: MRP II / ERP: conceitos, uso e implantação. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2004.

FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Sistema de planejamento e controle da produção: uma abordagem para a construção civil. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

FORMOSO, C. T., ISATTO, E. L., & Hirota, E. M. (1999). Perdas na construção civil: conceitos

GOLDRATT, E. M.; COX, J. A meta. São Paulo: Nobel, 2002.

IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

JIANG, Can; LI, Xin; LIN, Jia-Rui; LIU, Ming; MA, Zhiliang. Adaptive control of resource flow to optimize construction work and cash flow via online deep reinforcement learning. 2023.

JOHNSTON, R.; CHAMBERS, S.; SLACK, N. Administração da produção. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

PALADINI, E. P. Gestão da qualidade: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

SALES, Luana Nayara Feitosa; CANDIDO, Luis Felipe; BARROS NETO, José de Paula. Estratégias para melhoria da produtividade na construção civil: uma revisão sistemática da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2024. p. 1–15.

SHINGO, S. O Sistema Toyota de Produção. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1999.

SIQUEIRA, R. R., MELO, I. A. DE A., & KATO, R. B. (2021). Aplicação da curva abc no gerenciamento de estoque em uma empresa de construção civil. Brazilian Journal of Production Engineering, 7(5), 145-155.

SILVA, Valdilene Gonçalves Machado; GOMES, Michele Gonçalves; BRAGA, Carlos Cleyton; RUFINO, Valéria Elídia. Controle de estoque: um estudo sobre a eficiência da gestão de estoque numa distribuidora atacadista em Divinópolis, MG. Research, Society and Development, [S. l.], v. 7, n. 5, 2018.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. Administração da produção. Ed. compacta. São Paulo: Atlas, 1999.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

STEVENSON, W. J. Administração das operações de produção. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

TUBINO, D. F. Planejamento e Controle da Produção. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-20

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO LOW-CODE BASEADO NA METODOLOGIA FMEA PARA O AUXÍLIO NAS ATIVIDADES DE INSPEÇÃO PREDIAL E CLASSIFICAÇÃO DE RISCO

SOARES, Ana Paula Gomes[1]; GOMES, Helder Pontes[2]; FREIRE, Ailton Soares[3]

[1] Instituto Federal do Piauí, Teresina, Brasil, anapaulagosoares@gmail.com, 0000-0002-7726-814X
[2] Instituto Federal do Piauí, Teresina, Brasil, helderpontes@ifpi.edu.br
[3] Instituto Federal do Piauí, Teresina, Brasil, ailton.freire@ifpi.edu.br

RESUMO

A inspeção predial é fundamental para avaliar as condições de utilização do edifício, identificando as manifestações patológicas que possam comprometer seu desempenho e segurança. Com base na gravidade dos problemas, são sugeridas intervenções, priorizando as mais urgentes, através de metodologias de gestão de riscos. A aplicação dessas metodologias nas atividades de inspeções prediais torna a tomada de decisão mais eficiente e embasada. No entanto, esse processo é lento, principalmente quando há um grande volume de informações a serem gerenciadas. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um aplicativo *low-code,* baseado na metodologia de gestão de riscos FMEA (Análise dos Modos e Efeitos das Falhas), oferecendo uma solução prática aos profissionais de engenharia e arquitetura. O aplicativo MAniFE, desenvolvido na plataforma FlutterFlow, organiza e hierarquiza manifestações patológicas segundo critérios de severidade, ocorrência e detecção, além de gerar relatórios em PDF e facilitar o monitoramento e avaliação das ações corretivas, que podem ser consultadas tanto no aplicativo quanto no banco de dados. O teste de funcionalidade do aplicativo, realizado por meio de um estudo de caso, confirmou a consistência dos resultados obtidos com sua utilização, bem como sua eficiência no apoio às atividades de inspeção predial.

Palavras-chave: inspeção predial; metodologia FMEA; aplicativo móvel.

ABSTRACT

Building inspection is a fundamental process for evaluating the condition of the building, identifying pathological manifestations that could compromise its performance and safety. Based on the severity of the problem, interventions are suggested, prioritizing the most urgent actions through risk management methodologies. The application of these methodologies in building inspection activities makes decision-making more efficient and well-founded. However, this process is slow, especially when there is a large volume of information to be managed. This study aimed to develop a low-code application based on the FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) risk management methodology, providing a practical solution for engineering and architecture professionals. The MAniFE application, developed on the FlutterFlow platform, organizes and prioritizes pathological manifestations according to severity, occurrence, and detection criteria, in addition to generating PDF reports and facilitating the monitoring and evaluation of corrective actions, that can be accessed both within the application and in the database. Functional testing of the application, conducted through a case study, confirmed the consistency of the results obtained with its use, as well as its effectiveness in supporting building inspection activities.

Keywords: building inspection; FMEA methodology; mobile application.

1. INTRODUÇÃO

A Norma de Inspeção Predial Nacional [1] indica em um de seus itens, como parte do método do processo de inspeção predial, a definição da ordem de prioridade das anomalias e falhas, caracterizando-se como uma etapa crucial para a gestão de problemas encontrados em uma edificação. Esse processo, por meio de metodologias de gestão de riscos, orienta a elaboração de estratégias mais eficazes e eficientes, possibilitando a estruturação da priorização de ações corretivas e tornando os planos de manutenção das edificações mais assertivos.

As metodologias mais comuns, apontadas pela Norma de Inspeção Predial são: a matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) e a FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis* - Análises de Modos de Falhas e Efeitos). Em ambos os métodos, obtém-se como resultado a ordem de priorização dos riscos. No entanto, de acordo com os estudos comparativos de Leite [2], a matriz GUT é um processo mais simplificado, voltado exclusivamente para a hierarquização das falhas. Enquanto isso, a FMEA trata-se de uma abordagem mais detalhada, na qual se analisa o histórico da edificação, identificam-se as causas e propõem-se medidas corretivas.

A FMEA é uma opção de ferramenta eficaz e preventiva, que pode ser utilizada em diversos segmentos, como em atividades de inspeções prediais para mapear um caminho crítico para a elaboração de planos de manutenção, através da identificação das causas e definição de soluções dos problemas de forma estruturada e organizada. Em um panorama geral, essas metodologias dependendo de fatores, como o escopo e a complexidade do problema, demandam mais tempo para quantificação e hierarquização dos dados coletados.

O avanço das tecnologias nos últimos anos tornou-se um facilitador para o desenvolvimento de *softwares* que automatizam tarefas dispendiosas. As plataformas que utilizam *low-code* ou baixo código para o desenvolvimento de aplicativos surgiram como resposta à necessidade de reduzir a complexidade e tornar desenvolvimento de *softwares* mais rápido e eficiente [3]. O *FlutterFlow* é um exemplo desse tipo de ferramenta, que permite por meio de um ambiente intuitivo e com recursos integrados, a criação de aplicativos móveis e *web* sem a exigência de codificação elaborada. A utilização dessas tecnologias acelera o processo de criação de MVPs (*Minimum Viable Products*) ou protótipos, cujo objetivo é testar e validar uma ideia que resolva lacunas de um problema específico no âmbito aplicado.

Em face ao exposto, o presente estudo visou desenvolver um aplicativo *low-code* baseado na metodologia de gestão de riscos FMEA no setor da construção civil. A premissa foi criar uma ferramenta a ser utilizada em inspeções prediais para auxiliar o processo de mapeamento e categorização das manifestações patológicas de uma edificação, conforme sua severidade, e gerar relatórios em PDF para documentação e monitoramento da eficácia das ações corretivas. Assim, através dessa aplicação móvel, pretende-se contribuir tanto com uma solução prática e funcional para os profissionais da área quanto com o conhecimento acerca da importância da gestão de riscos associado à cultura de inspeções em edifícios.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Inspeção predial

Segundo Gomide *et al.* [4], a inspeção predial é uma ferramenta que obtém informações das conformidades e não conformidades, concentrada na melhoria da qualidade e durabilidade das estruturas. Ou seja, essa atividade avalia o cumprimento das exigências estabelecidas em normas que englobam critérios para assegurar o desempenho da edificação. A NBR 16747 [5], define como um processo de avaliação sensorial, no qual se visa auxiliar na gestão da edificação e quando realizada periodicamente, facilita a mitigação dos riscos correlacionados ao desempenho da estrutura.

A inspeção predial é um trabalho investigativo que considera em seu processo de avaliação, as técnicas construtivas e as condições de manutenção e uso de uma edificação. A partir disso, lista-se todos os sistemas e subsistemas que serão analisados para lucidar a elaboração do laudo técnico que conterá a avaliação de tudo o que foi observado durante a vistoria e as medidas de manutenção que devem ser realizadas com urgência. Por meio da priorização dos problemas identificados, o síndico ou responsável pelo imóvel organiza e define planos financeiros para execução das ações corretivas, através das informações fornecidas no laudo da inspeção predial.

Em resumo, Bigolin *et al.* [6], destaca o desenvolvimento da inspeção predial em etapas apresentadas na Figura 1:



Figura 1 - Etapas do desenvolvimento da atividade de Inspeção Predial [6].

2.2 FMEA

Há diversos conceitos na literatura em torno da metodologia FMEA, sigla para *Failure Modes and Effects Analysis* (Análise de Modos de Falha e Efeitos Potenciais). Para Matos e Milan [7], trata-se de um método analítico que busca detectar e eliminar problemas de forma sistemática e completa. Na visão de Mzougui e El Felsoufi [8], é uma ferramenta poderosa e organizada que melhora a confiabilidade do sistema.

A definição dessa ferramenta de gestão consiste em um estudo que analisa possíveis modos de falhas dos sistemas, tal como os efeitos que são gerados em decorrência desses fatores. A FMEA, nesse sentido, é um procedimento que classifica os modos de falha conforme a severidade dos seus efeitos [9]. Assim, é possível priorizar e desenvolver estratégias para a eliminação ou mitigação de potenciais riscos.

Moura [10], destaca em síntese como objetivos da FMEA: a identificação e análise das falhas, a avaliação dos riscos e o desenvolvimento de ações e documentações do processo de análise. A implementação dessa metodologia consiste na análise de três fatores importantes para classificar e priorizar as falhas potenciais, através da obtenção do número de prioridade de risco (NPR). McCain [11] aborda que o NPR engloba a avaliação da severidade (S), da probabilidade de ocorrência (O) e da probabilidade de detecção (D) da falha. O produto de tais índices possibilita a hierarquização dos riscos que demandam maior cautela e precisão na definição de estratégias de solução. As tabelas 1, 2 e 3 apresentam os valores dos índices que variam entre 1 e 10.

Tabela 1 - Índices da FMEA para Severidade [12].

Índice	Severidade (S)
1	Falha de menor importância, quase não são percebidas
2-3	Provoca redução da performance da instalação. O cliente perceberá a falha, mas não ficará insatisfeito.
4-5-6	A instalação sofrerá uma degradação progressiva. O cliente perceberá a falha e ficará insatisfeito.
7-8	Mais de 50 a 70% das vezes não se consegue manter o desempenho da edificação. O cliente perceberá a falha e ficará muito insatisfeito
9-10	Os problemas são catastróficos e podem gerar danos a bens ou pessoas. O cliente ficará muito insatisfeito.

Tabela 2 - Índices da FMEA para Ocorrência [12].

Índice	Ocorrência (O)
1	Muito remota
2-3	Muito pequena
4-6	Moderada; ocasional
7-8	Frequente
9-10	Inevitável, certamente ocorrerá a falha

Tabela 3 - Índices da FMEA para Detecção [12].

Índice	Detecção (D)
1	Muito alta probabilidade de detecção
2-3	Alta probabilidade de detecção
4-6	Moderada probabilidade de detecção
7-8	Pequena probabilidade de detecção
9	Muito pequena a probabilidade de detecção

A FMEA, tradicionalmente aplicada nos setores industrial e automotivo, tem ganhado destaque na construção civil devido à sua capacidade de identificar e priorizar riscos. Bittencourt [13] aplicou essa metodologia na priorização de intervenções em manifestações patológicas identificadas durante inspeções prediais, demonstrando que sua utilização contribui como parâmetro para o planejamento da manutenção das falhas, pontuando também a importância do conhecimento técnico para a determinação dos índices da FMEA e avaliação de impactos. Os resultados evidenciam que essa metodologia é uma ferramenta versátil e promissora no contexto da inspeção predial, em que se busca identificar falhas que podem colocar em risco o funcionamento dos sistemas prediais.

Essa metodologia deve ser aplicada de forma contínua, possibilitando a retenção do conhecimento adquirido e servindo como base para análises futuras, o que resulta na economia de tempo e aprimora a qualidade da avaliação [14]. Diante disso, por ser uma documentação, ou seja, um registro de análises e decisões relacionadas às falhas, a FMEA se torna oportuna para o "amadurecimento" do conhecimento dos processos, o que diminui ou evita a probabilidade dos problemas vir a acontecer novamente.

Diante as diversas vantagens da FMEA, é importante ressaltar desafios de implementação. Conforme os autores Hawkins e Woollons [15], um dos motivos para a dificuldade de aplicação dessa metodologia é o tempo gasto para sua elaboração, bem como no processamento das informações para a organização e definição de prioridades. Entretanto, com os avanços tecnológicos, tornou-se possível desenvolvê-la de maneira mais automatizada com auxílio da programação, permitindo maior facilidade e precisão na sua execução.

2.3 Aplicativos móveis e plataformas *low-code*

Os aplicativos móveis são utilizados para desempenhar funções específicas como entreter ou facilitar atividades cotidianas dos usuários. Trata-se de softwares desenvolvidos para uso em dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*. O processo de desenvolvimento de aplicativos envolve etapas bem definidas e planejadas para que o software atenda aos requisitos estabelecidos e às necessidades da demanda que pretende ser atendida. Plataformas low-code permitem o desenvolvimento de softwares com pouco código manual, usando componentes pré-configurados. Isso facilita a criação de aplicativos, desde os simples até os mais complexos, com possibilidade de integração a serviços como bancos de dados [16].

A utilização de plataformas de desenvolvimento low-code são ótimas opções para a criação de versões simples de aplicativos em fase de testes e análise de viabilidades, por oferecer a experiência de um processo mais rápido e focado na validação da ideia. O MVP (*Minimum Viable Product*) é o termo que descreve esse tipo de aplicação, em que se busca identificar uma lacuna em um processo e propor uma solução funcional através de uma construção rápida e ágil do produto.

3. METODOLOGIA

As etapas do procedimento metodológico da pesquisa abrangem tanto a parte técnica que envolve o desenvolvimento do aplicativo quanto a sua validação por meio da aplicação em estudo de caso, conforme ilustrado a seguir.

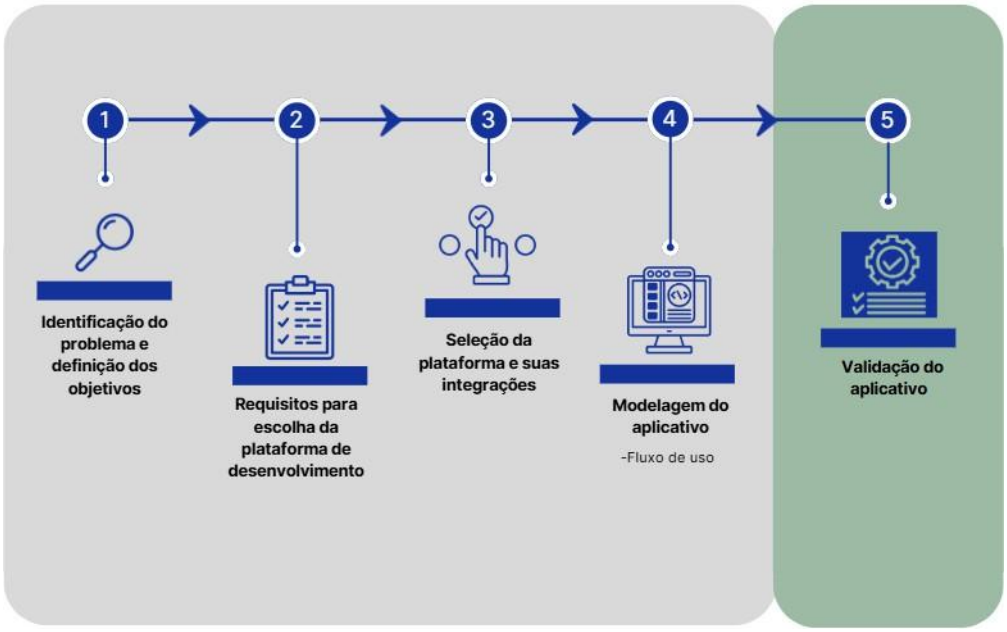


Figura 2 - Fluxograma metodológico.

3.1 Identificação do problema e definição dos objetivos

A utilização da FMEA na atividade de inspeção predial torna o processo lento, principalmente, quando se tem um grande volume de informações. O principal objetivo do aplicativo desenvolvido foi otimizar a etapa de hierarquização de falhas e organização das informações. Além disso, contribuir para a criação de históricos que auxiliarão na elaboração de planos de manutenção, no monitoramento e na análise em relação à eficácia das ações determinadas. Dessa forma, a ferramenta tem como público-alvo os responsáveis técnicos, engenheiros e arquitetos encarregados pela inspeção predial.

3.2 Requisitos para a escolha da plataforma de desenvolvimento

A escolha da abordagem *low-code* para a criação do aplicativo se fundamentou na necessidade de atender requisitos funcionais e não funcionais, focando na rapidez e facilidade. Os requisitos funcionais são aqueles se referem às funções que a ferramenta deve executar para atender as demandas necessárias. Isso inclui o armazenamento e gerenciamento de dados, a verificação da efetividade das ações corretivas, além da criação de documentos em formato PDF. Por outro lado, os requisitos não funcionais estão relacionados a aspectos como desempenho, acessibilidade e usabilidade do aplicativo, garantindo, por exemplo, a compatibilidade com sistemas operacionais como iOS e Android, bem como uma interface intuitiva e responsiva.

3.3 Seleção da plataforma e suas integrações

Com base nas funcionalidades desejadas, a plataforma de desenvolvimento *low-code* selecionada foi o *FlutterFlow* com integração no banco de dados do Supabase para a criação do aplicativo denominado MAniFE. O *FlutterFlow* é uma ferramenta *low-code* utilizada para o desenvolvimento do *frontend* (parte visual) de aplicativos nativos, isto é, que permitem o acesso a todos os recursos do celular, como por exemplo, câmera, galeria de fotos, entre outros [17]. Já o

Supabase é uma plataforma *backend* para gestão de banco de dados relacionais com serviços de autenticação, segurança, armazenamento de mídias e funções de API, ou seja, comunicação entre dois sistemas [18].

3.4 Modelagem do aplicativo

Para a visualização do funcionamento do aplicativo e como os dados serão tratados, criou-se o fluxo de uso, ou seja, um diagrama que apresenta as informações relacionadas ao usuário e suas interações com o sistema [19]. A figura a seguir ilustra o fluxo de uso do aplicativo.

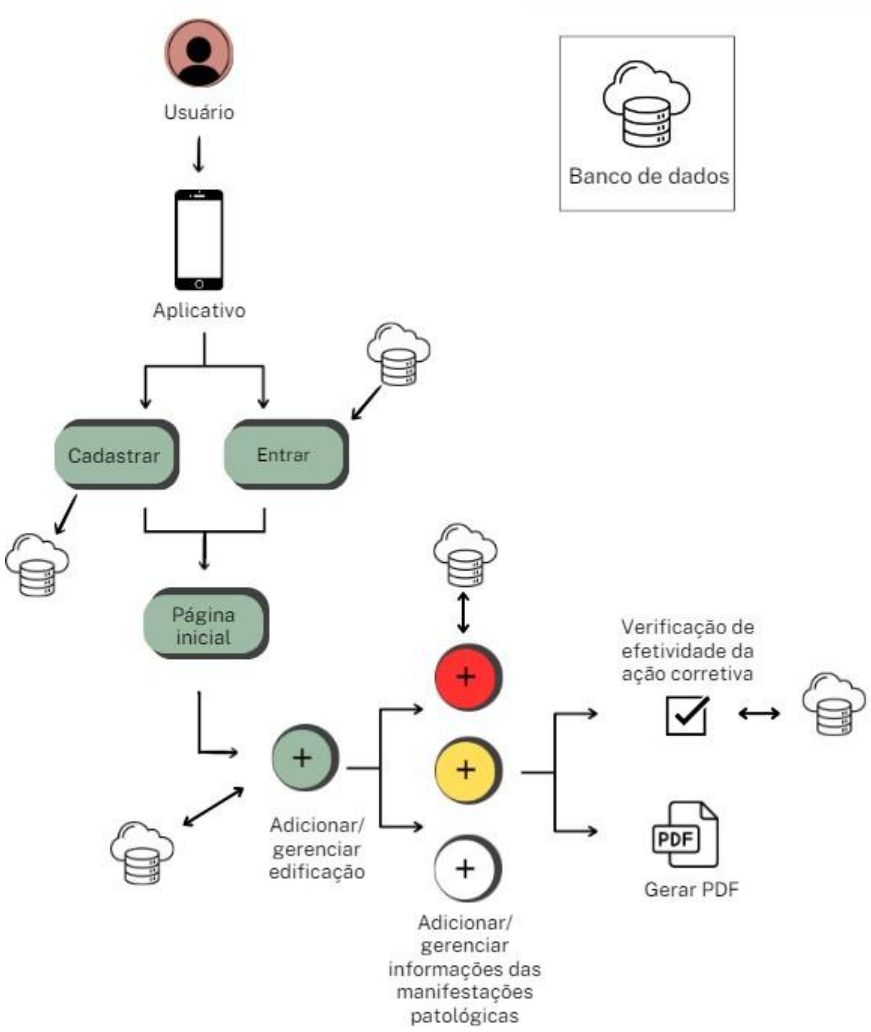


Figura 3 - Fluxo de uso do aplicativo.

Para a geração do PDF, foi necessário a utilização da linguagem de programação Dart para a organização das informações em um documento. O código, inicialmente, realiza a verificação do usuário e da edificação associada para recuperar os dados necessários. O conteúdo é dividido dinamicamente em páginas, com cabeçalhos contendo informações da edificação, extraídas do banco de dados. Logo abaixo é criada uma tabela customizada com colunas correspondentes à estrutura do banco de dados, incluindo um contador de ordem, condições para exibir fotos (ou o texto “Sem foto”) e destacar a coluna NPR com cores específicas. Quando o valor do NPR for 50, 100 ou 200, exibe-se o texto “Análise” como alerta para avaliação do grau de risco em que a manifestação patológica se encaixa.

3.5 Validação do aplicativo

Para a validação do protótipo do aplicativo desenvolvido, foram utilizados os dados do estudo de caso apresentado por Regos [20], que realizou uma análise das manifestações patológicas em uma edificação residencial unifamiliar em alvenaria convencional, utilizando a metodologia FMEA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Interfaces gráficas do aplicativo

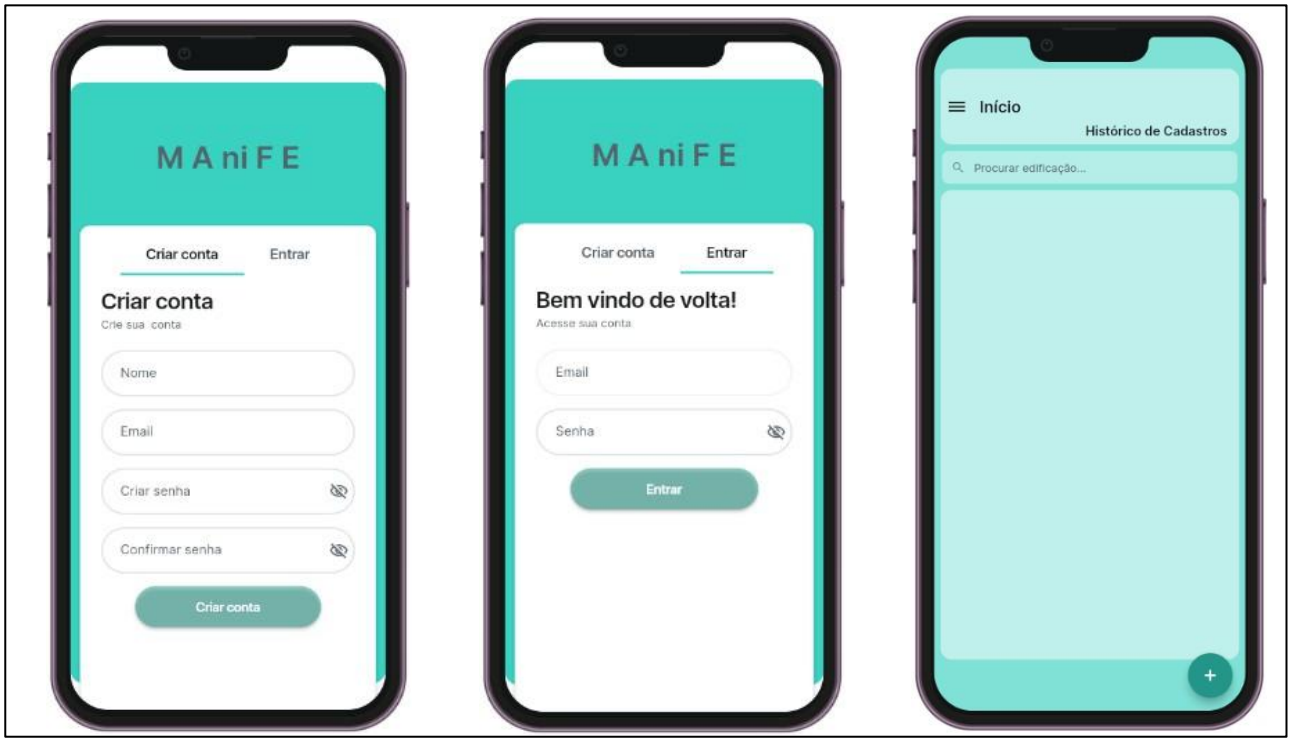


Figura 4 - Sequência de telas para o acesso à tela inicial do aplicativo.

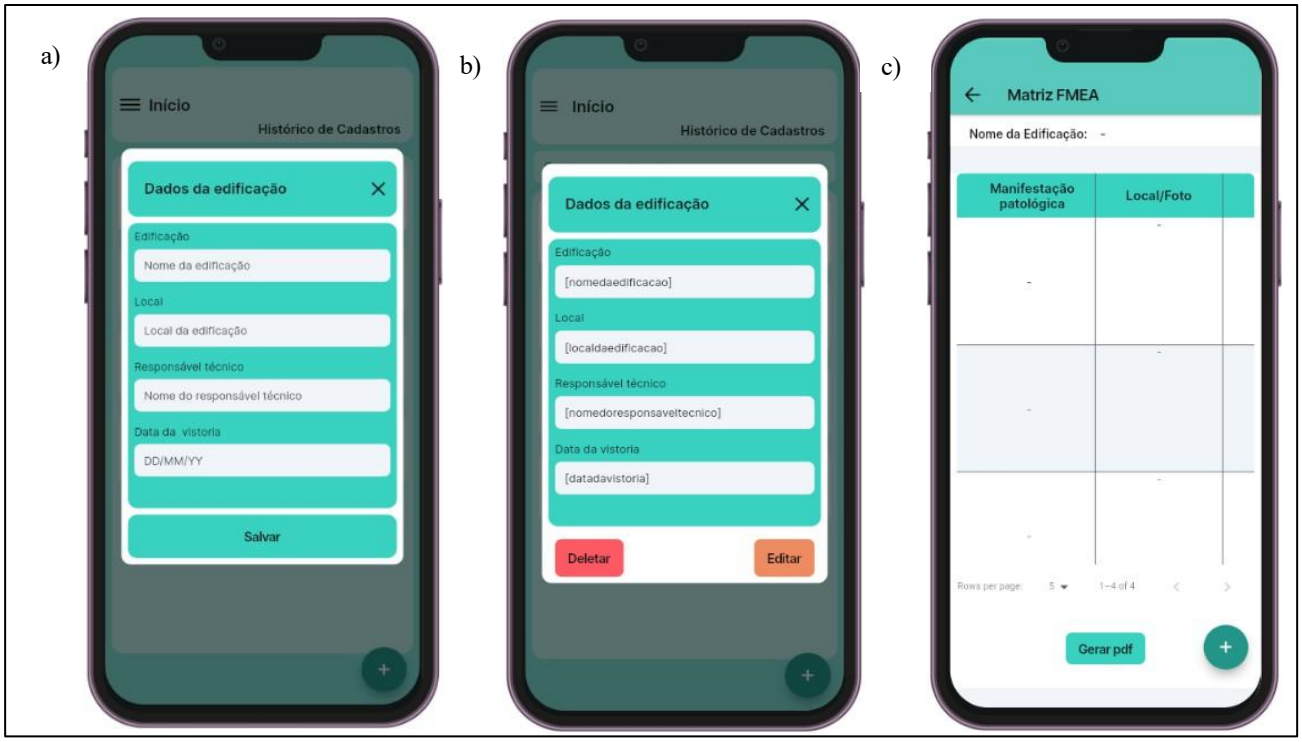


Figura 5 - (a) Tela para o cadastro das informações da edificação, (b) Tela para edição das informações inseridas referente à edificação cadastrada, (c) Tela da Matriz FMEA.

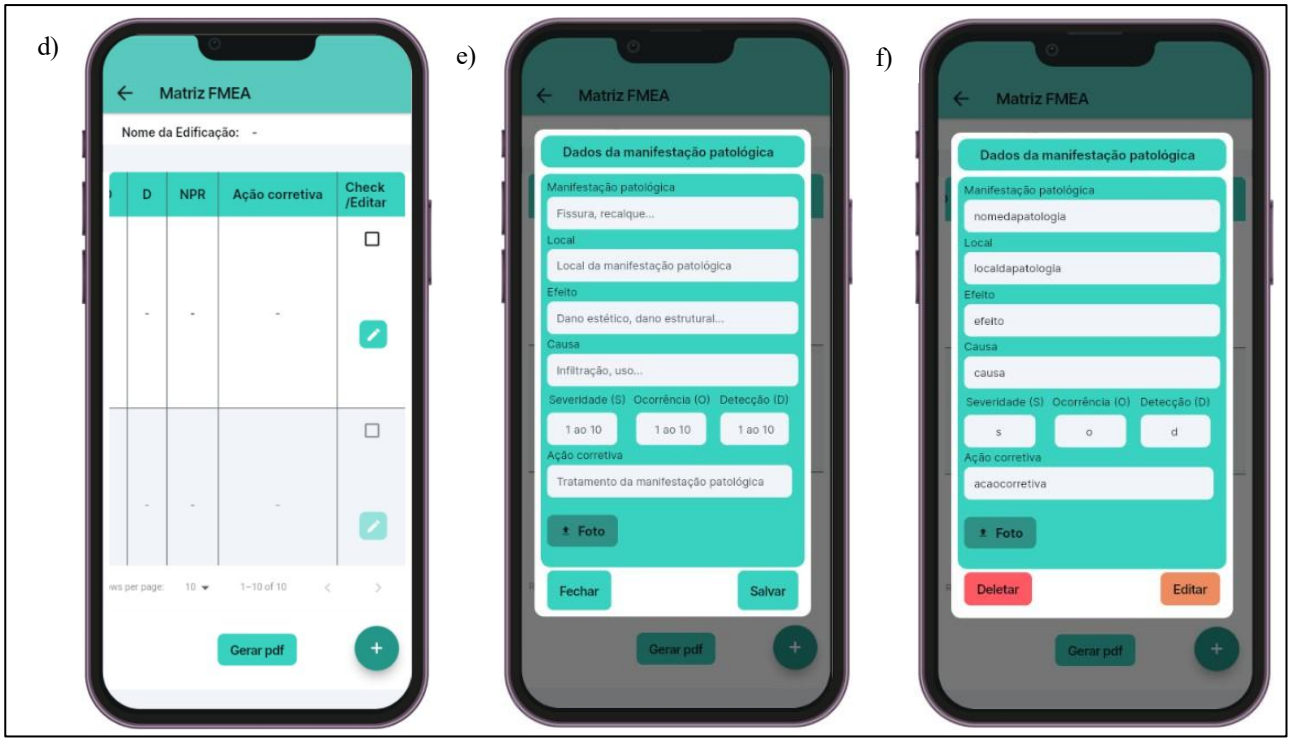


Figura 6 - (d) Continuação da tela da Matriz FMEA, (e) Tela para cadastro das manifestações patológicas identificadas na edificação, (f) Tela para edição das informações inseridas referentes às manifestações patológicas cadastradas.

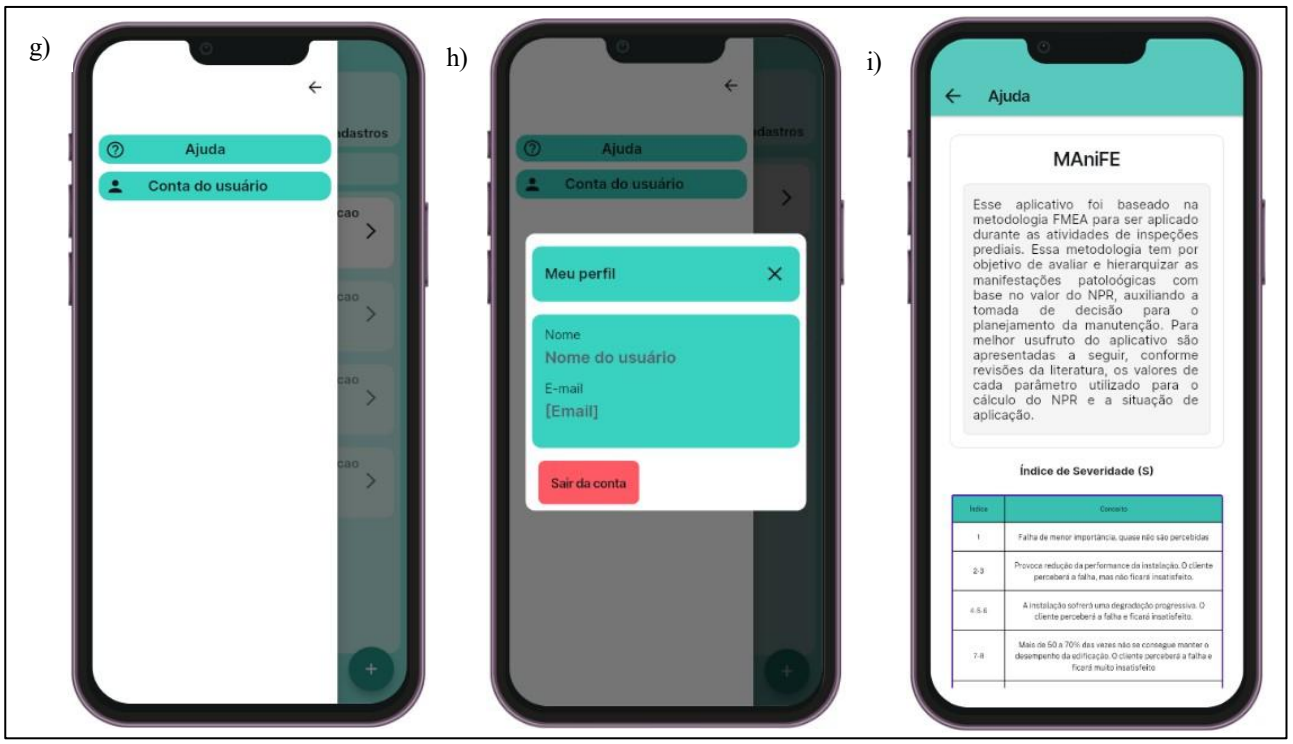


Figura 7 - (g) Tela de acesso rápido, (h) Tela para sair da conta do aplicativo, (i) Tela de ajuda.

4.2 Teste de funcionalidade do aplicativo

Os resultados coletados no estudo da Regos [20] são apresentados em duas tabelas. Na primeira tabela, tem-se a estrutura do método, contendo apenas as informações preenchidas (Tabela 4). Na segunda tabela, é apresentado a hierarquização das manifestações patológicas de acordo com o índice do NPR, como mostrado na Tabela 5.

Tabela 4 - Aplicação da metodologia FMEA [20].

N°	Manifestação patológica	Efeito	Possíveis Causas	Fatores			NPR
				S	O	D	
1	Umidade acidental	Dano estético, abertura para novas anomalias.	Águas pluviais, falta de rufos.	4	3	3	36
2	Umidade ascensional	Dano estético, abertura para novas anomalias.	Falta de impermeabilização das vigas baldrames.	5	3	4	60
3	Umidade de infiltração	Dano estético, abertura para novas anomalias.	Paredes expostas a intempéries	6	5	6	180
4	Fissuras, trincas, rachaduras, fendas e brechas	Oportunidade para umidade, incômodo.	Ausência de verga e contraverga em aberturas, excesso de carga na cobertura.	3	2	5	30
5	Destacamento de pintura	Dano estético, incômodo.	Infiltração e uso	3	2	3	18
6	Destacamento de reboco	Dano estético, abertura para novas anomalias, incômodo.	Capilaridade	6	4	4	96
7	Biodeterioração	Dano estético, incômodo.	Parede exposta a intempéries.	4	4	4	64
8	Recalque diferencial	Dano estrutural	Afundamento do solo.	7	10	3	210

Tabela 5 - Resultado obtido pela hierarquização em ordem decrescente [20].

Manifestação patológica	NPR	Prioridade
Recalque diferencial	210	1
Umidade de infiltração	180	2
Destacamento de reboco	96	3
Biodeterioração	64	4
Umidade ascensional	60	5
Umidade acidental	36	6
Fissura, trinca, rachadura, fenda, brecha	30	7
Destacamento de pintura	18	8

A inserção dos dados de Regos [20] no aplicativo MAniFE permitiu a visualização imediata das manifestações patológicas organizadas em ordem decrescente na interface gráfica do aplicativo, conforme as figuras a seguir.

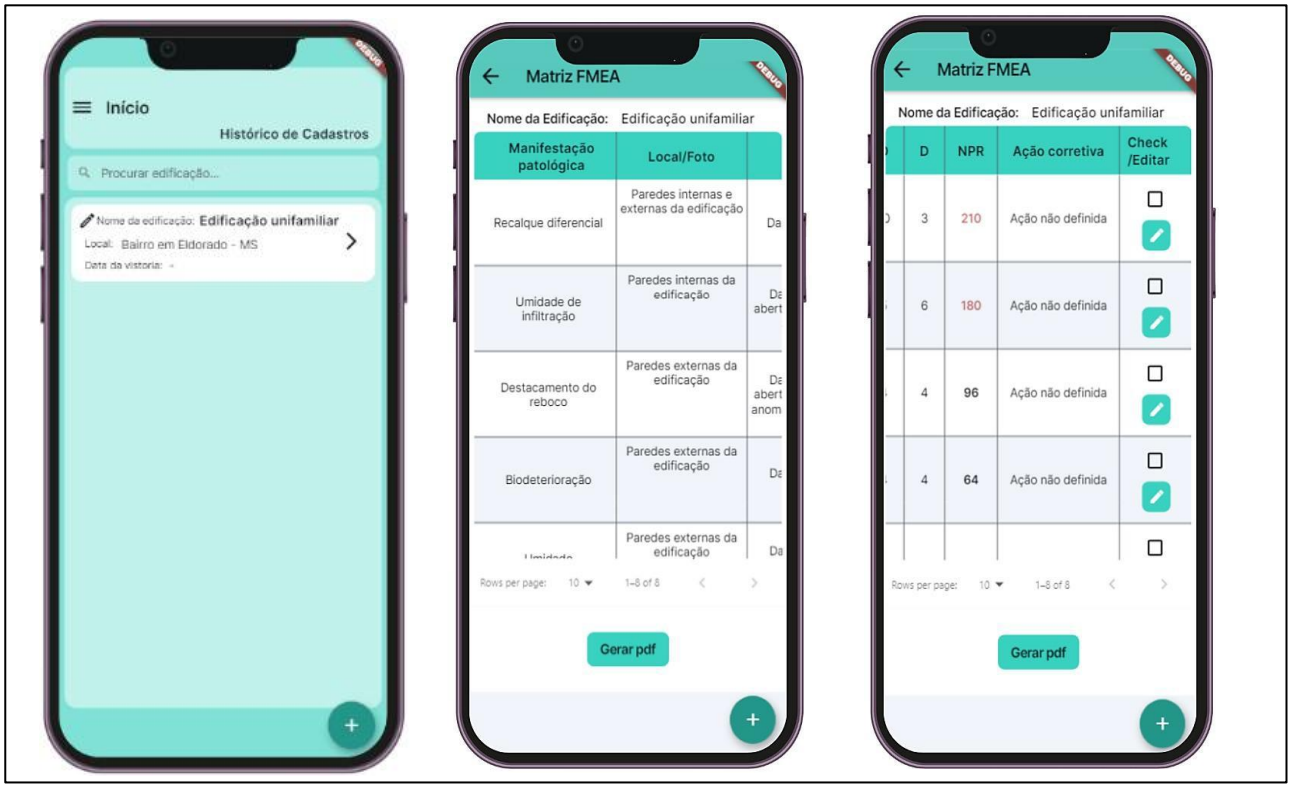


Figura 8 - Visualização das informações na tela do celular.

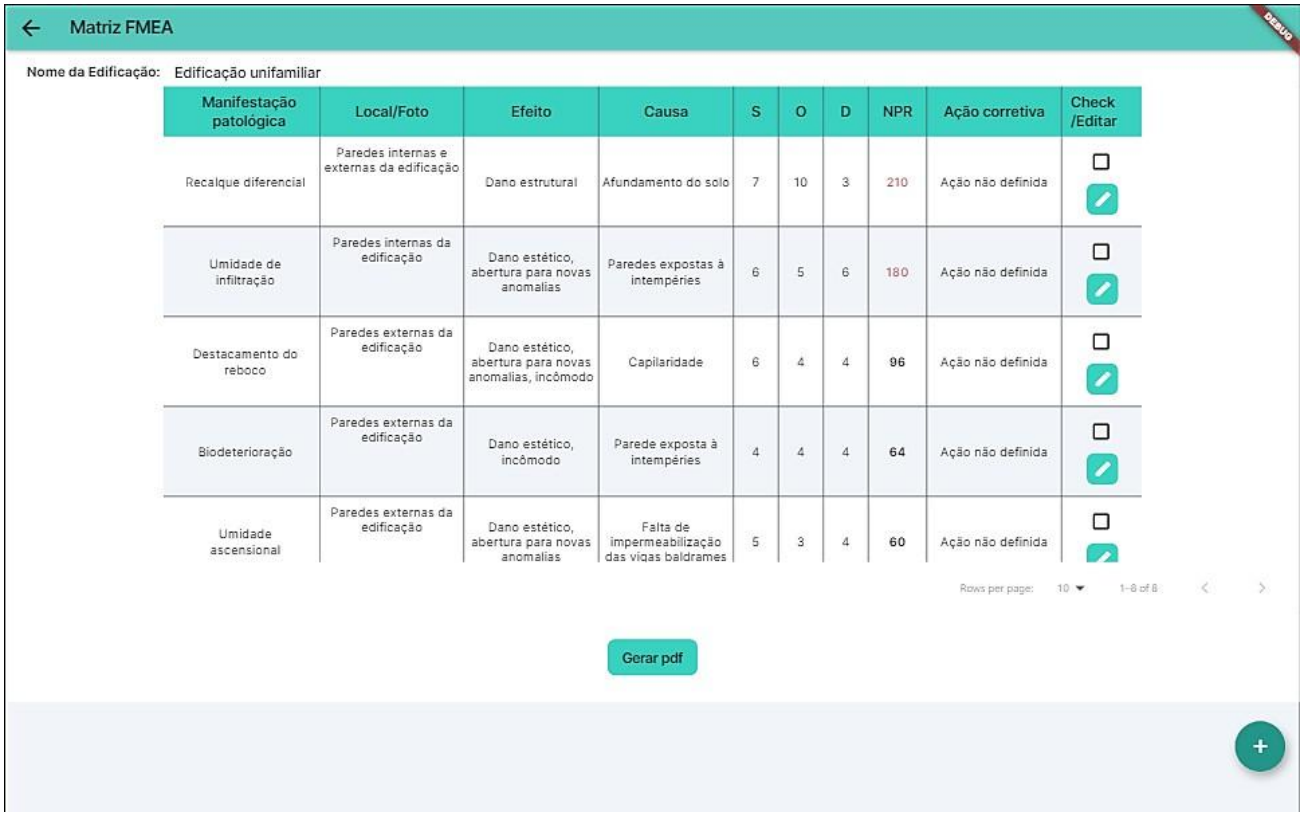
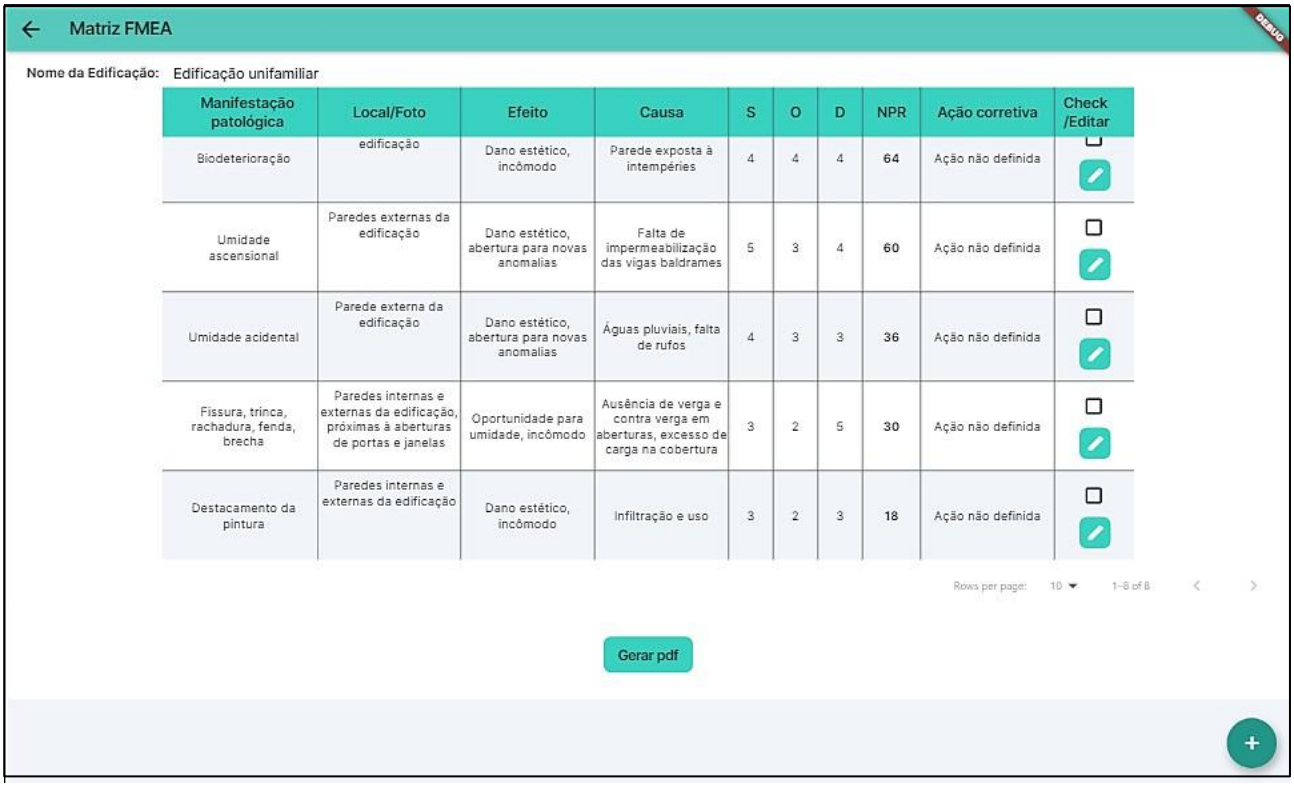


Figura 9 - Visualização geral da tabela no aplicativo.



Manifestação patológica	Local/Foto	Efeito	Causa	S	O	D	NPR	Ação corretiva	Check /Editar
Biodeterioração	edificação	Dano estético, incômodo	Parede exposta à intempéries	4	4	4	64	Ação não definida	
Umidade ascensional	Paredes externas da edificação	Dano estético, abertura para novas anomalias	Falta de impermeabilização das vigas baldrames	5	3	4	60	Ação não definida	
Umidade acidental	Parede externa da edificação	Dano estético, abertura para novas anomalias	Águas pluviais, falta de rufos	4	3	3	36	Ação não definida	
Fissura, trinca, rachadura, fenda, brecha	Paredes internas e externas da edificação, próximas à aberturas de portas e janelas	Oportunidade para umidade, incômodo	Ausência de verga e contra verga em aberturas, excesso de carga na cobertura	3	2	5	30	Ação não definida	
Destacamento da pintura	Paredes internas e externas da edificação	Dano estético, incômodo	Infiltração e uso	3	2	3	18	Ação não definida	

Figura 10 - Continuação da visualização geral da tabela no aplicativo.

Após a análise dos resultados gerados pelo aplicativo, comparou-se com a tabela final (Tabela 5) de Regos [20], confirmando a consistência e a precisão dos dados obtidos. Algumas informações não foram inseridas, como a ação corretiva, já que não é o foco do trabalho da autora. Em seguida, um documento PDF foi gerado, reunindo todos os dados fornecidos pelo usuário, conforme as Figuras 11 e 12. As informações exibidas no banco de dados estão detalhadas na Figuras 13.

Hierarquização das manifestações patológicas

Nome da Edificação: Edificação unifamiliar
Local: Bairro em Eldorado - MS
Responsável pela vistoria: -
Data da vistoria: Não informada

Matriz FMEA - Página 1 de 4

Manifestação Patológica	Local/Foto	Efeito	Causa	S	O	D	NPR	Ação corretiva
1° Recalque diferencial	Paredes internas e externas da edificação Sem foto	Dano estrutural	Afundamento do solo	7	10	3	210	Ação não definida
2° Umidade de infiltração	Paredes internas da edificação Sem foto	Dano estético, abertura para novas anomalias	Paredes expostas à intempéries	6	5	6	180	Ação não definida

Hierarquização das manifestações patológicas

Nome da Edificação: Edificação unifamiliar
Local: Bairro em Eldorado - MS
Responsável pela vistoria: -
Data da vistoria: Não informada

Matriz FMEA - Página 2 de 4

Manifestação Patológica	Local/Foto	Efeito	Causa	S	O	D	NPR	Ação corretiva
3° Destacamento do reboco	Paredes externas da edificação Sem foto	Dano estético, abertura para novas anomalias, incômodo	Capilaridade	6	4	4	96	Ação não definida
4° Biodeterioração	Paredes externas da edificação Sem foto	Dano estético, incômodo	Parede exposta à intempéries	4	4	4	64	Ação não definida

Figura 11 - PDF gerado.

Hierarquização das manifestações patológicas

Nome da Edificação: Edificação unifamiliar
Local: Bairro em Eldorado - MS
Responsável pela vistoria: -
Data da vistoria: Não informada

Matriz FMEA - Página 3 de 4

Manifestação Patológica	Local/Foto	Efeito	Causa	S	O	D	NPR	Ação corretiva
5° Umidade ascensional	Paredes externas da edificação Sem foto	Dano estético, abertura para novas anomalias	Falta de impermeabilização das vigas baldrames	5	3	4	60	Ação não definida
6° Umidade acidental	Parede externa da edificação Sem foto	Dano estético, abertura para novas anomalias	Águas pluviais, falta de rufos	4	3	3	36	Ação não definida

Hierarquização das manifestações patológicas

Nome da Edificação: Edificação unifamiliar
Local: Bairro em Eldorado - MS
Responsável pela vistoria: -
Data da vistoria: Não informada

Matriz FMEA - Página 4 de 4

Manifestação Patológica	Local/Foto	Efeito	Causa	S	O	D	NPR	Ação corretiva
7° Fissura, trinca, rachadura, fenda, brecha	Paredes internas e externas da edificação, próximas à aberturas de portas e janelas Sem foto	Oportunidade para umidade, incômodo	Ausência de verga e contra verga em aberturas, excesso de carga na cobertura	3	2	5	30	Ação não definida
8° Destacamento da pintura	Paredes internas e externas da edificação Sem foto	Dano estético, incômodo	Infiltração e uso	3	2	3	18	Ação não definida

Figura 12 - Continuação do PDF gerado.

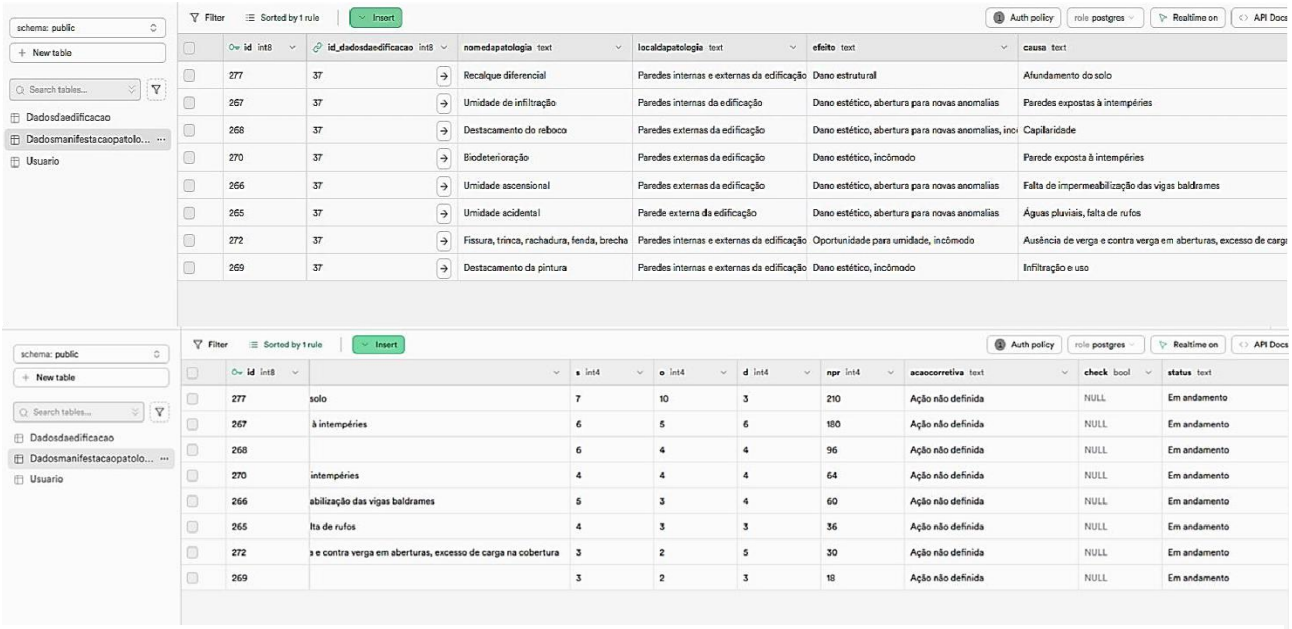


Figura 13 - Informações exibidas no banco de dados.

Por meio da aplicação da ferramenta virtual no estudo de caso, foi possível perceber a agilidade no processamento dos dados. O tempo gasto para hierarquizar e calcular os riscos foi menor do que a realização desse processo manualmente, que demandaria um tempo considerável devido à necessidade de alimentação e organização de planilhas. Outra vantagem é que as manifestações patológicas podem ser tratadas de forma individualizada, sem a necessidade de agrupá-las por repetição, o que poderia ter sido feito por Regos [20], caso o aplicativo já estivesse disponível. Além disso, todas as tabelas elaboradas e apresentadas em seu trabalho seriam sintetizadas em único documento PDF, com fotos anexadas diretamente no formulário FMEA. Isso permite uma análise mais detalhada e eficiente de cada manifestação patológica, garantindo um foco mais preciso no diagnóstico e na definição das ações corretivas necessárias.

O aplicativo não está isento de limitações, já que requer a conexão com a internet no dispositivo móvel para que os dados sejam salvos corretamente no banco de dados. Em contrapartida, melhorias nesse quesito podem ser feitas com o desenvolvimento de versões futuras que permitem que aplicativo funcione no modo *offline*.

Os resultados alcançados foram promissores e abrem caminhos para novas abordagens e funcionalidades que poderão ser incorporadas à ferramenta virtual. Embora tenha sido desenvolvida para inspeções prediais em edificações, a estrutura do aplicativo pode ser adaptada para outros contextos dentro da Engenharia civil, como gestão de riscos ambientais e de infraestrutura. É importante destacar que, até o presente momento, não há registros na literatura do desenvolvimento de um aplicativo *low-code* voltado para a aplicação da metodologia FMEA em atividades de inspeção predial.

5. CONCLUSÃO

O aplicativo MAniFE é uma solução viável para agilizar a hierarquização de manifestações patológicas em inspeções prediais, utilizando a metodologia FMEA. A integração entre uma interface gráfica intuitiva e um banco de dados relacional possibilitou a centralização das informações coletadas em campo, promovendo maior confiabilidade no armazenamento e facilitando análises futuras. Isso facilita a interação entre o ambiente de trabalho no campo e escritório, já que as informações podem ser consultadas tanto no dispositivo móvel quanto no computador.

Dessa forma, o desenvolvimento do protótipo do aplicativo MAniFE incentiva a digitalização de processos e mostra as possibilidades para a criação de soluções práticas, estimulando a comunidade acadêmica e promovendo a colaboração interdisciplinar entre a áreas da engenharia e da tecnologia. É importante ressaltar que o aplicativo serve como uma ferramenta auxiliar no processo decisório. Sendo assim, não exime a necessidade de conhecimento técnico, e sua

utilização deve ser feita por profissionais qualificados e as informações obtidas devem ser complementadas com normas e diretrizes.

REFERÊNCIAS

[1] INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma de Inspeção Predial** Nacional. São Paulo, 2012.

[2] LEITE, José Henrique de Carvalho. **Análise de manifestações patológicas em edifícios históricos no município de Governador Dix-Sept Rosado-RN**. 2019. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Caraúbas, 2019.

[3] SILVA, José Lucas Belarmino da**. Uma análise do desenvolvimento das linguagens low code e suas perspectivas de introdução e contribuição no âmbito educacional**. 2023. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Computação) – Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa, 2023.

[4] GOMIDE, Tito L. F., PUJADAS, Flávia Z. A., NETO, Jerônimo C. P. **Técnicas de inspeção e manutenção predial: vistorias técnicas, check-up predial, normas comentadas, manutenção x valorização patrimonial e análise de risco**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2006. ISBN 8572661727, 9788572661720.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16747**: Inspeção Predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

[6] BIGOLIN, M.; PACHECO, L. S.; SILVA FILHO, L. C. P. **Inspeção predial e norma de desempenho: agentes intervenientes.** In: Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto, CBC 2014, Rio Grande do Sul, 2014.

[7] MATOS, R. B.; MILAN, M. **Aplicação sistêmica do modo de análise de falhas e efeitos (FMEA) para o desenvolvimento de indicadores de desempenho de empresas de pequeno porte**. Revista Árvore, v. 33, p. 977-985, 2009.

[8] MZOUGUI, Ilyas; EL FELSOUFI, Zoubir. **Proposition of a modified FMEA to improve reliability of product**. Procedia Cirp, v. 84, p. 1003-1009, 2019.

[9] TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do tipo e efeito de falha**. GEPEQ /UFSCar, 2006. Disponível em: <https://www.s marnet.com.br/qualidade /Ferramentas Qualidade/FMEA-APOSTILA.pdf>. Acesso em: 01 set. 2024.

[10] MOURA, Cândido. **Análise de modo e efeitos de falha potencial. (FMEA)**. Manual de Referência, p. 1-44, 2000.

[11] MCCAIN, Cecelia. **Using an FMEA in a service setting**. Quality Progress, v. 39, n. 9, p. 24, 2006.

[12] SILVA, Débora Luana Henrique Soares. **Aplicação do FMEA como suporte para melhoria de processos na construção civil: um estudo de caso**. 2019. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2019.

[13] BITTENCOURT, Náfez Souza. Análises de manifestações patológicas na construção civil: um estudo de caso em uma instituição pública de pesquisa. 2021. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade Maria Milza (FAMAM), Governador Mangabeira, 2021.

[14] BARSALOU, Matthew**. Investigation into a potential reduction of fmea efforts using action priorit**y. Management and Production Engineering Review, v. 13, n. 4, 2022.

[15] HAWKINS, P. G.; WOOLLONS, D. J. **Failure modes and effects analysis of complex engineering systems using functional models**. Artificial Intelligence in Engineering, v. 12, n. 4, p. 375-397, 1998. ISSN 0954-1810.

[16] CRONAPP. Low-code e aplicativos mobile: entenda um pouco mais sobre!. Blog Cronapp, 2023. Disponível em:<https://blog.cronapp.io/low-code-mobile/. Acesso em: 09 dez. 2024.

[17] FLUTTERFLOW. **FlutterFlow: build beautiful apps visually**. FlutterFlow, 2024. Disponível em: <https://www.flutterflow.io/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

[18] SUPABASE. **Supabase: open source Firebase alternative**. Supabase, 2024. Disponível em: <https://supabase.com/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

[19] SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de software**. Tradução Ivan Bosnic e Kalinka G. de O. Gonçalves; revisão técnica Kechi Hirama. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. Título original: Software engineering. ISBN 978-85-7936-108-1.

[20] REGOS, E. C. **Análise de manifestações patológicas em alvenaria de vedação vertical de uma edificação residencial unifamiliar com a utilização da metodologia Failure Mode and Effect Analysis – FMEA**. 2022. 38 f. Universidade Paraense, Guaíra, 2022.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-21

THEMATIC AREA: Management

DIGITIZATION IN THE PALM OF YOUR HAND: THE CIRCULAR CONSTRUCTION SITE APPLICATION FOR WASTE MANAGEMENT

OLIVEIRA, Renata [1]; OLIVEIRA, Lucas [2]; SIMÕES, André [3]

[1] Universidade Federal da Bahia, Salvador - Bahia, Brasil, Rbritoengenharia@outlook.com, 0009-0002-2595-8058
[2] Faculdade Estácio, Salvador - Bahia, Brasil, Luckas.std@gmail.com, 0009-0006-4230-5867
[3] Universidade Federal da Bahia, Salvador - Bahia, Brasil, andre.simoes@ufba.br, 0000-0001-7784-3290

ABSTRACT

The construction industry is one of the main generators of urban solid waste and a major consumer of natural resources. In this context, the circular economy presents itself as a fundamental strategy for reducing waste, extending the lifecycle of materials, and aligning the sector with sustainability goals. With this purpose in mind, the Canteiro Circular app was designed, which seeks to revolutionize waste management in the construction industry through the integration of technologies such as artificial intelligence, task automation, and gamification, with a focus on professional qualifications and environmental compliance. The objective of this study was to detail the solution's development process, validate its technical and pedagogical features, and analyze the target audience's receptiveness. To this end, a survey was administered to 67 professionals working on construction sites. The results indicated that 85% of respondents had not used digital tools for waste management. Currently in the prototype phase, the solution features a scalable and replicable structure, with the potential to have a positive impact on the construction industry. The next steps include expanding functionality, improving artificial intelligence, and integrating with strategic partners for potential market penetration.
Keywords: circular economy; construction sites; waste managment ; solid waste.

RESUMO

A construção civil é uma das principais geradoras de resíduos sólidos urbanos e grande consumidora de recursos naturais. Nesse cenário, a economia circular se apresenta como uma estratégia fundamental para reduzir desperdícios, prolongar o ciclo de vida dos materiais e alinhar o setor às metas de sustentabilidade. Com esse propósito, foi concebido o aplicativo *Canteiro Circular*, que busca revolucionar a gestão de resíduos na construção civil por meio da integração de tecnologias como inteligência artificial, automação de tarefas e gamificação, com foco na qualificação profissional e na conformidade ambiental. O objetivo deste trabalho foi detalhar o processo de desenvolvimento da solução, validar suas funcionalidades técnicas e pedagógicas, além de analisar a receptividade do público-alvo. Para isso, foi aplicado um questionário com 67 profissionais atuantes em canteiros de obras. Os resultados indicaram que 85% dos entrevistados não utilizam ferramentas digitais para controle de resíduos. Atualmente em fase de protótipo, a solução apresenta estrutura escalável e replicável, com potencial de impacto positivo no setor da construção civil. Os próximos passos incluem a ampliação de funcionalidades, aprimoramento da inteligência artificial e articulação com parceiros estratégicos para possível inserção no mercado.

Palavras-chave: canteiro de obras; economia circular; gestão de resíduos; resíduos sólidos.

1. INTRODUCTION

According to Abrecon [1] & Paschoalin Filho; Heifer; Guerner Dias [2], approximately 70% of Construction Waste can be reused in the construction process itself, highlighting the importance of efficient management to mitigate environmental impacts and promote sustainability in the sector. In this scenario, the circular economy replaces the linear model with regenerative and value retention strategies, minimizing waste and extending the life cycle of materials, according to the concepts of Garcia-Saravia Ortiz-de-Montellano & van der Meer [3] and the European Parliament [4]. In this sense, Cruz *et al*., [5] stated that the synergy between sustainability, mobile technology and waste management can positively influence disposal behaviors. To overcome these weaknesses, it is possible to combine CE with the innovation and entrepreneurship environment, a situation called circular ecosystem [6]. Thus, the application of the 10 Rs (Refuse, Rethink, Reduce, Reuse, Repair, Reform, Resignify, Remanufacture, Recycle, and Recover, listed by Lima *et al*., [7] in the Canteiro Circular application can facilitate the circular mindset on the construction site. Therefore, this work aims to analyze the development, application, and technical feasibility of Canteiro Circular as a digital tool to support construction waste management, aligned with current environmental legislation and the principles of the circular economy. We also intend to evaluate the receptiveness of the target audience through a diagnosis applied to professionals in the field, in addition to discussing the potential of the tool as a catalyst for digital transformation in a sector still marked by low rates of innovation and resistance to structural changes.



Figure 1: Image of the Circular Flowerbed trail
Source: Authors (2025)

2. LIITERATURE REVIEW

The construction industry stands out as one of the most impactful industries, responsible for producing 40% of the world's solid waste and approximately 30% of greenhouse gas emissions [8]. This scenario converges with the need for

sustainable development. In this context, it dates back to 1987, when the World Commission on Environment and Development (WCED) publicized the concept of Sustainable Development in the Brundtland Report, also known as "Our Common Future" [9], defining it as: the ability to meet the needs of the present without compromising future generations' ability to manage their own demands. However, it was only in 2015 that the UN released 17 Sustainable Development Goals within the 2030 Agenda [10], and this paradigm prompted the restructuring of member countries. Based on this premise, Brazil and its production sectors, including the construction industry, continue to reevaluate and redefine processes.

Concurrently, the National Solid Waste Policy (PNRS), established by Law nº. 12,305/2010, establishes guidelines for the integrated and sustainable management of solid waste in Brazil, based on shared responsibility and the valorization of waste as a resource. Despite its regulatory advancement, its practical implementation still faces significant barriers in municipalities, such as technical limitations, a lack of operational tools, and poor coordination among stakeholders [11]. It is in this context that the Canteiro Circular app fits in: a mobile solution to optimize operational processes, promote accessible environmental education, and engage all levels of the construction industry—from workers to managers.

3. METHODOLOGY

This work is qualitative and quantitative in nature, using Design Science Research as its methodological basis, an approach appropriate for research focused on artifact modeling [12]. The study was developed in three phases: (i) Understanding the situation, (ii) Application development, and (iii) Evaluation of preliminary results. Each phase was conducted iteratively, integrating qualitative and technological methods, with foundations in software engineering, user-centered design, and sustainability in the construction industry. In Phase 1, an exploratory analysis was conducted to define the problem and identify opportunities for innovation. Comparative research on mobile solutions, quantitative surveys on construction waste generation in Brazil, and a literature review on the circular economy, public policies, and process digitalization were conducted. This phase highlighted operational bottlenecks on construction sites and the lack of digital tools that integrate waste management, engagement, and legal compliance.

Phase 2 focused on the app's technical development, beginning with a programming language analysis, opting for React Native and Typescript, with support for JavaScript, HTML, and CSS, aiming for scalability and mobile compatibility. A functional prototype, navigation flows, educational content, and gamification of the 10 Rs of the circular economy were developed, integrated with the industry's schedule and routines. This phase involved continuous navigation adjustments, bug fixes, and internal testing.

Phase 3 consisted of a functional evaluation of the app, through testing on multiple devices to assess responsiveness, graphical performance, and usability. Visual and layout improvements were implemented based on feedback. Programming adjustments and algorithm reorganization were also made. The evaluation included a survey of 67 construction professionals and testing of an MVP at a construction site in Salvador, Bahia. This dynamic prioritized the principles of rethinking, reducing, and recycling, ensuring compliance without compromising the schedule. The field test validated the prototype's functionality, its user acceptance, and the feasibility of integration with the construction site's routine, generating valuable input for the continuous improvement of the platform.

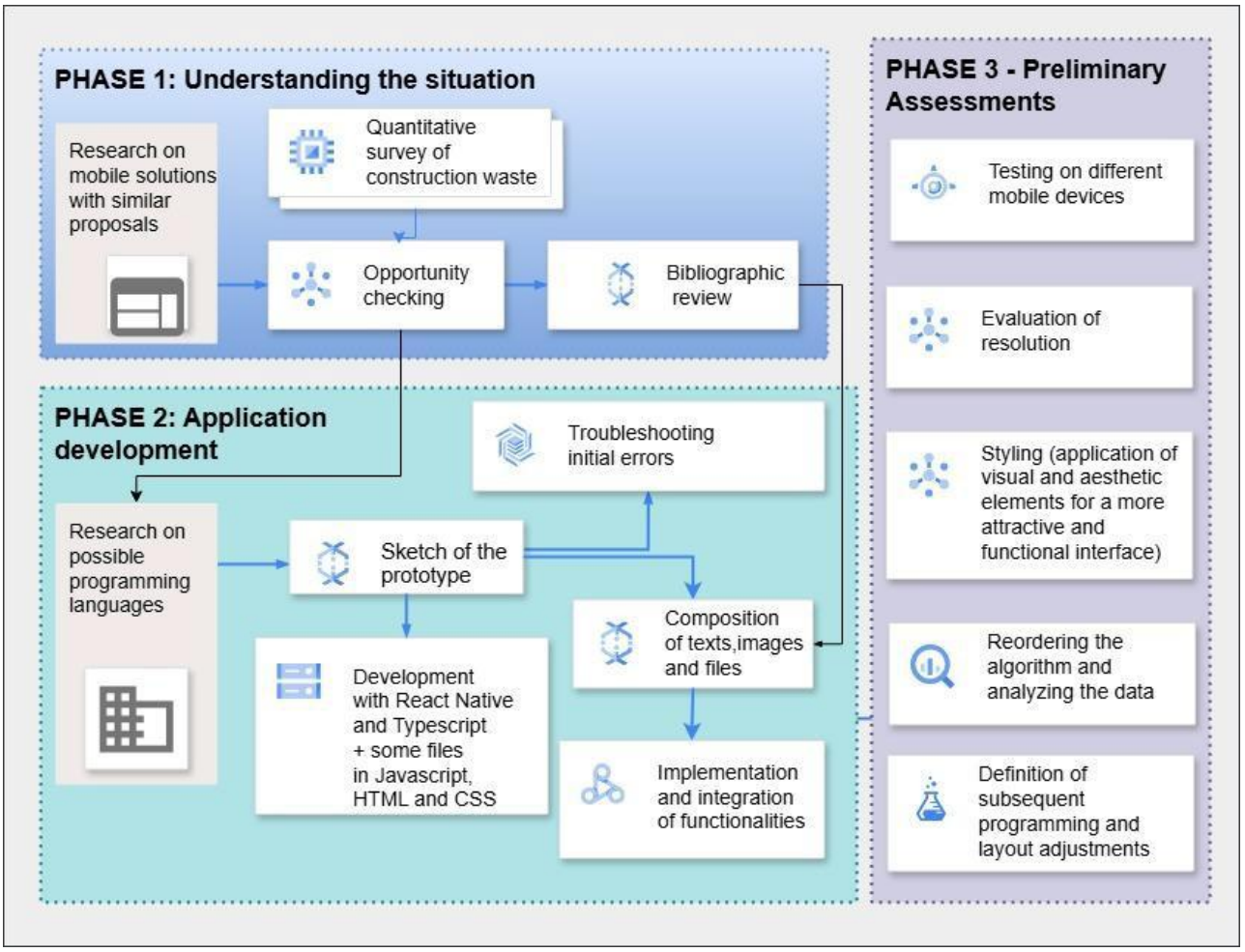


Figure 2- Application composition phases
Source: Authors (2025)

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

Concretizing the data collection steps, this paper presents the main results achieved through the development and implementation of the Circular Construction Site application. It emphasizes the consideration of both technical and operational aspects, as well as strategic and environmental impacts.

4.1 TECHNICAL FEASIBILITY

The digital tool applies the ten Rs of the circular economy through interactive buttons on the construction schedule. It allows the recording of sustainable activities, such as material separation and reuse, and automatically categorizes them, promoting both technical control and environmental education. Its viability is guaranteed by a structure that encompasses technology (with Luck AI), education (gamified content), employee engagement, real-time monitoring, and specialized consulting to ensure alignment with standards and field challenges. The images below detail some of its features:

Luck AI:
This integrated chatbot, fully trained with instructions on sustainability and the circular economy, acts as an essential resource to support construction site operations.

Analytical indicators, reports, standards, and alerts
With proven records, it is possible to monitor compliance with goals, identify deviations, generate a database, obtain evidence for audits, and meet environmental certification criteria.



Figure 3: Virtual Assistant Luck Ia
Source: Authors (2025)



Figure 4: Image of controls and metrics
Source: Authors (2025)

Integration with MTR/SINIR:

To speed up the Waste Transport Manifest (MTR) declaration process, allowing for automatic data transmission and reception, avoiding rework, reducing manual errors, and ensuring compliance with legal requirements.

BMI Calculator
With the proprietary Circular Maturity Index (BMI) calculator, it's easier to obtain a holistic corporate circular economy outlook, as well as receive recommendations that help avoid fines, embargoes, and unpleasant surprises during audits.

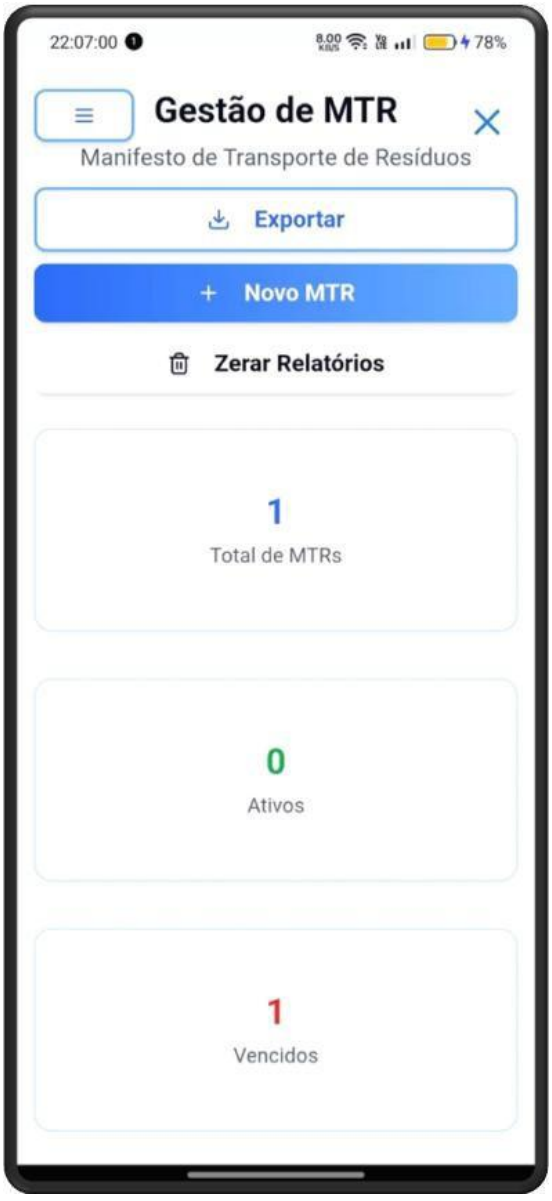


Figure 5: Diagram of bidirectional integration with SINIR
Source: Authors (2025)



Figure 6: BMI (Circular Maturity Index) Model
Source: Authors (2025)

Quizzes and mini-courses
To enhance professional qualifications, combining practical learning with the real operational needs of the construction site, all within a challenging circular journey, with unlockable phases.

Certificates and Seals
Employees who complete the trail will receive a certificate. Construction companies, upon meeting pre-established metrics, will receive the Circular Construction Site Seal.



Figure 7: Waste Quiz
Source: Authors (2025)



Figure 8: Automatically generated certificate template for employees who complete the trail
Source: Authors (2025)

4.2 SOCIAL AND ENVIRONMENTAL IMPACT

Given the socio-environmental dilemmas associated with construction site activities, the Canteiro Circular app aims to primarily address the negligence in managing and controlling construction waste volumes—a historically underestimated problem, but one with significant urban, environmental, and economic impacts. Among the main obstacles to waste recovery are the decentralization of information, companies' difficulty in
compliance with industry-specific standards, and excessive manual tasks, which reduce efficiency and increase errors. Socially, the app promotes significant improvements by improving working and health conditions on construction sites, in compliance with NR 18, in addition to digitizing routines, streamlining processes, and fostering a culture of safety and well-being. It also seeks to reduce workforce turnover by creating an engaging and sustainable environment, promoting continuous learning, appreciation, and professional development for employees. Environmentally, it directly mitigates ecological impacts through efficient waste management, conservation of natural resources, and reduction of improper disposal. In Bahia, for example, an estimated 5,071,310 tons of urban solid waste are generated annually [13], with 53% of this total consisting of construction and demolition waste [14]. This equates to approximately 2,688,000 tons of rubble per year—a volume that, according to Abrecon (2023), could be reduced by up to 70% with proper management, diverting approximately 1,881,600 tons from landfills. This reduction also implies lower greenhouse gas emissions, lower consumption of primary inputs, and a stimulus to the circular economy. Furthermore, the app aligns with ESG trends in the job market: according to the World Economic Forum's "The Future of Work (2025)" report, between 2022 and 2023, 12% of the global workforce acquired green skills, while jobs related to this area grew by 22% [15]. In this scenario, Canteiro Circular directly contributes to five Sustainable Development Goals (SDGs) of the UN 2030 Agenda: SDG 8, SDG 9, SDG 12 and SDG 13.



Figure 9: Highlighting the SDGs the app benefits
Sorces: Authors, adaptated of ONU (2015)

4.3 QUESTIONNAIRE ANALYSIS

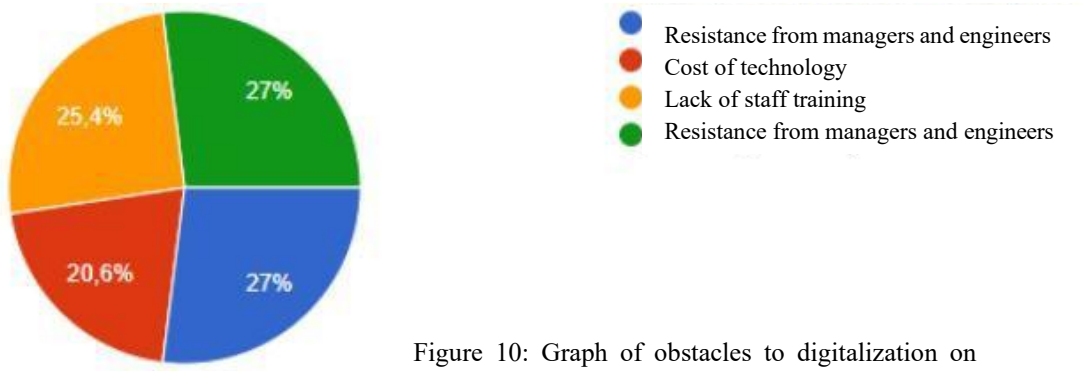


Figure 10: Graph of obstacles to digitalization on construction sites
Source: Authors (2025)

The survey data also highlighted significant market potential: approximately 82% of respondents stated they did not use any type of application or software for waste management, revealing a significant gap and a real opportunity for innovation. Furthermore, respondents demonstrated high receptiveness to gamification and the use of artificial intelligence as facilitators in the learning process and efficient management, reinforcing the potential for adoption of the solution.

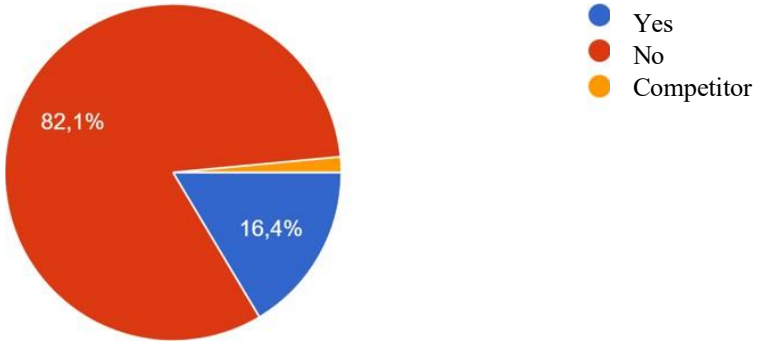


Figure 11: Graph of the percentage of use of software for waste management
Source: Authors (2025)

Furthermore, when respondents pointed out a significant problem or flaw in waste management at construction sites, the most frequently reported issue was conditional segregation, mentioned by 57.6% of participants. Next, with 16.7% each, came lack of control over final disposal, inadequate collection and transportation, and a lack of indicators and metrics. Trends in Construction and demolition waste management planning and a lack of employee training were also cited. Poor segregation compromises the entire waste management cycle, hindering reuse, increasing costs, and potentially generating environmental and legal liabilities, such as noncompliance with the National Solid Waste Policy (Law Nº. 12,305/2010). This recurrence highlights structural and operational deficiencies, such as a lack of signage, adequate spaces, technical expertise, and internal policies that deviate from sustainability. Thus, segregation reflects systemic problems that hinder effective management, ongoing training, and organizational change. Overcoming this challenge is essential to improving the environmental performance of construction projects and advancing towards the goals of a circular economy in the construction sector.

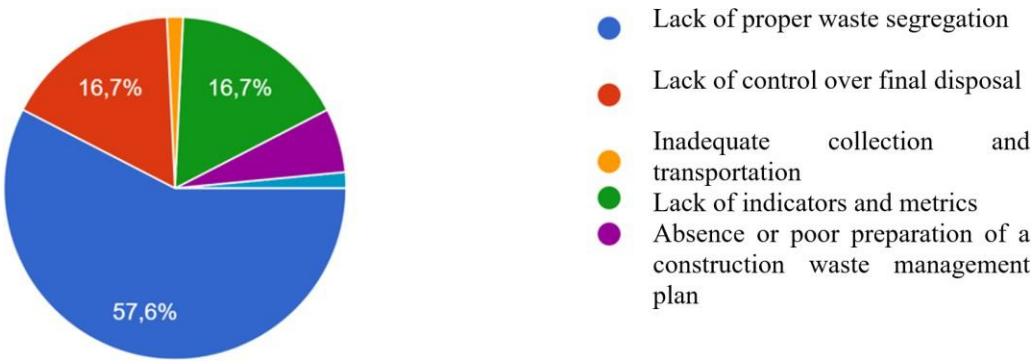


Figure 12: Percentage of the main failure perceived in waste management at the construction site
Source: Authors (2025)

5. CONCLUSION

Based on the evidence, Canteiro Circular is a relevant and innovative contribution to sustainable waste management in the construction industry, as it combines the principles of the circular economy with resources such as artificial intelligence, gamification, and digital mobility. The platform promotes not only technical waste management but also educational engagement among employees. However, the project faces challenges such as interoperability with existing systems, resistance to digitalization, and the need for regional adaptation, in addition to ensuring the solution's financial sustainability.

Next steps include enhancing Luck AI artificial intelligence for predictive analytics, expanding interactive features, and validating an expanded MVP across different types of projects. At the same time, strengthening strategic partnerships with industry entities, universities, and public agencies is essential to expand its reach and market penetration. Thus, Canteiro Circular is projected as a socially and environmentally transformative technology with the potential to contribute to the development of more sustainable cities.

The survey data also highlighted significant market potential: approximately 82% of respondents stated they did not use any type of app or software for waste management, revealing a significant gap and a real opportunity for innovation. Furthermore, respondents demonstrated a high receptiveness to gamification and the use of artificial intelligence as facilitators in the learning process and efficient management, reinforcing the solution's potential for adoption.

ACKNOWLEDGMENTS

CAPES, due to financial grant to master's student Renata Oliveira.

6. REFERENCES

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2022**. Disponível em: <https://abespb.com.br/wp-content/uploads/2023/12/Panorama_Abrelpe_2022.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2023.

[2] *Paschoalin Filho, J. A.; Bezerra, C. M. DA S.; Guerner Dias, A.* ***J. Environmental indicators proposal for construction solid waste management plans assessment****. Management of Environmental Quality: An International Journal, v. 31, n. 6, p. 1623– 1645, 1 jan. 2020.*

[3] Garcia-Saravia Ortiz-de-Montellano, C., van der Meer, Y., 2022. ***A theoretical framework for circular processes and circular impacts through a comprehensive review of indicators****. Glob. J. Flex. Syst. Manag. 23 (2), 291–314. https://doi.org/10.1007/ S40171-022-00300-5.*

[4] Parlamento Europeu. **Economia circular: definição, importância e benefícios**. 2023. Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/ economy/20151201sto05603/economia-circulardefinicao-importancia-e-beneficios. Acesso em: 19 jan. 2025.

[5] Cruz, Clarenz & Villafuerte, Hanz & Avila, Rozel & Derla, Ken Lordian. (2024). ***Mobile Application for Monitoring Trash Collection Schedules and Promote Efficient Solid Waste Management****. Cognizance Journal of Multidisciplinary Studies. 4. 22-31. 10.47760/cognizance.2024.v04i03.003.*

[6] Trevisan, A.H., Castro, C.G., Gomes, L.A.V., Mascarenhas, J., 2022. ***Unlocking the circular ecosystem concept: Evolution, current research, and future directions****. Sustain. Prod. Consum. 29, 286–298. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.10.020*

*[7] Lima, A. T., Kirkelund, G. M., Lu, Z., Mao, R., Kunther, W., Rode, C., Slabik, S., Hafner, A., Sameer, H., Dürr, H. H., Flörke, M., Lowe, B. H., Aloini, D., Zerbino, P., Simoes, S. G. 2024****. Mapping circular economy practices for steel, cement, glass, brick, insulation, and wood – A review for climate mitigation modeling****. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024, 114697.*

[8] UNEP, 2018. ***Sustainable Buildings****. Available: https://www.unep.org/explore-topics/re source-efficiency/what-we-do/cities/sustainable-buildings. (Accessed 3 jan 2025).*

[9] BRUNDTLAND, G H et al. ***Our common future ; by world commission on environment and development.*** *. Oxford: Oxford University Press. . Acesso em: 31 jul. 2025. , 1987*

[10] UN, 2015. ***Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development,*** *Resolution Adopted by the General Assembly. Seventieth Session on 25 September 2015. A/RES/70/1.*

[11] RAMACHANDRA, T. V. ***Management of municipal solid waste.*** *2° ed. Nova Deli: [s.n.], 2006._____et al. Municipal solid waste: Generation, composition and GHG emissions in Bangalore, India.Renewable and Sustainable Energy Reviews, fev. 2018. v. 82, p. 1122–1136. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117313369.*

[12] LUKKA, K. 2003. ***The constructive research approach. Case study research in logistics****. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B, 83-101.*

[13] ABRELPE. Panorama Dos Sólidos. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**, 2019. p. 68. Disponível em: .

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. **70% do entulho no Brasil é descartado incorretamente**. Disponível em: <https://abrecon.org.br/artigos/70-do-entulho-no-brasil-e-descartado-incorretamente>. Acesso em: 18 abr. 2025.

[15] WORLD ECONOMIC FORUM. ***The Future of Jobs Report 2025****. Genebra, 2025. Disponível em: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2025_Press_Release_PTBR.pdf. Acesso em: 04 jul. 2025*

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-23

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO

ESTUDO DO PREÇO DOS INSUMOS PARA PRODUÇÃO DO CONCRETO NO ACRE EM COMPARAÇÃO COM AS REGIÕES NORTE E CENTRO-OESTE DO BRASIL

USZACKI JR., Julio Roberto[1]; VICHINSKY, Larissa Costa[2]; FRAGA, Yuri Sotero Bomfim[3].

[1] Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Brasil, julio.junior@ufac.br, 0000-0001-9318-7174
[2] Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Brasil, vichinskylarissa@gmail.com
[3] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, yuri.fraga@unb.br, 0000-0002-0426-4615

RESUMO

Este estudo, motivado pela percepção de altos custos do concreto estrutural no Acre, buscou comparar os preços de seus insumos com os estados das regiões Norte e Centro-Oeste, justificando-se pela necessidade de esclarecer os fatores que influenciam esses valores e alertar técnicos sobre desafios locais. Utilizando a base de dados do SINAPI, foram coletados preços de cimento Portland, agregados miúdos e graúdos no segundo semestre de 2024, analisados por medidas de tendência central e dispersão, e comparados entre estados, excluindo custos de mão de obra e equipamentos. Os resultados mostraram que o Acre apresenta preços elevados para todos os insumos: o cimento é o segundo mais caro, impactado pela ausência de fábricas locais; os agregados miúdos, como a areia fina do rio Acre, em desacordo com NBR 7211, e o pó de pedra, importado de Rondônia, são os mais caros da região; e os agregados graúdos, também importados, lideram os custos devido à falta de jazidas locais. Fatores como localização geográfica, predominância de rochas sedimentares e infraestrutura limitada explicam essas diferenças, com a região Centro-Oeste apresentando preços mais baixos devido à maior industrialização. Conclui-se que o concreto no Acre é significativamente mais caro, confirmando a percepção inicial, e que a escassez de materiais e os custos de transporte são os principais determinantes, reforçando a necessidade de estratégias regionais para mitigar esses impactos.

Palavras-chave: Concreto estrutural; Areia; cimento; Pedra britada. Preços. Acre.

ABSTRACT

This study, motivated by the perception of high costs of structural concrete in Acre, sought to compare the prices of its inputs with the states of the North and Midwest regions, justified by the need to clarify the factors that influence these values and alert technicians about local challenges. Using the SINAPI database, Portland cement prices, small and large aggregates in the second half of 2024, analyzed by measures of central trend and dispersion, and compared between states, excluding labor and equipment costs, were collected. The results showed that Acre has high prices for all inputs: cement is the second most expensive, impacted by the absence of local factories; fine aggregates, such as fine sand from the Acre River, unsuitable for NBR 7211, and stone dust, imported from Rondônia, are the most expensive in the region; and coarse aggregates, also imported, lead the costs due to the lack of local deposits. Factors such as geographic location, predominance of sedimentary rocks, and limited infrastructure explain these differences, with the Midwest region showing lower prices due to greater industrialization. It is concluded that concrete in Acre is significantly more expensive, confirming the initial perception, and that the scarcity of materials and transportation costs are the main determinants, reinforcing the need for regional strategies to mitigate these impacts.

Keywords: Structural concrete; Sand; cement; Crushed stone. Prices. Acre.

1. INTRODUÇÃO

Em um país com dimensões continentais como o Brasil, as condições e características da construção civil não apresentam homogeneidade, sendo fortemente influenciadas por fatores geográficos, logísticos e econômicos. No caso específico do estado do Acre, existem limitações significativas na produção de concreto com materiais que atendam às recomendações granulométricas previstas na NBR 7211 [1].

Essa realidade decorre do fato de que o Acre está situado sobre uma vasta bacia sedimentar, que cobre grande parte da região amazônica ocidental [2]. Essa condição geológica impede a existência de reservas adequadas de rochas para britagem. Assim, os materiais britados utilizados nas obras locais precisam ser importados do estado vizinho de Rondônia, a cerca de 250 km da capital Rio Branco, o que eleva consideravelmente os custos devido ao transporte e aos impostos incidentes sobre esses insumos [3].

O estado do Acre é dividido em cinco regionais, banhadas pelos principais rios do estado, apresentadas na Figura 1. Em relação aos agregados miúdos, a areia mais empregada nas regionais do Alto e Baixo Acre (Figura 1), onde se concentram 63,60% da população acreana [4], é extraída por dragagem do leito do rio Acre, que, banha estas regionais [3]. A areia do rio Acre é classificada como "muito fina", desconforme aos limites granulométricos segundo a NBR 7211 [1], impactando diretamente na qualidade do concreto produzido. Embora existam areias adequadas a norma, na regional do Juruá (Figura 1), onde estão 18,55% da população do estado [4], na formação geológica denominada "Formação Cruzeiro do Sul" (Figura 2), sua localização distante — a mais de 600 km da capital — torna inviável sua utilização fora da regional e imediações, tanto pela logística quanto pelos custos envolvidos [3]. É possível, ainda, melhorar as propriedades de concretos estruturais, empregando o pó de pedra (pó de brita), porém como dito anteriormente, materiais pétreos tem origem no estado vizinho Rondônia, elevando o custo (preço do material + transporte + impostos + lucro) [3]. A granulometria dos vários agregados miúdos disponíveis para concretos no estado, pode ser vista na Figura 3, com destaque para a areia do rio Acre, completamente fora da zona utilizável inferior conforme a NBR 7211 [1].

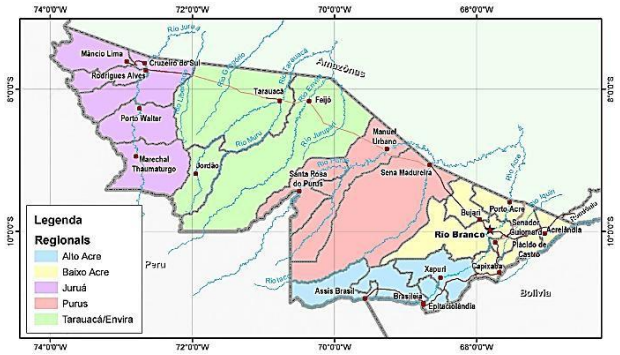


Figura 1 – Mapa do Acre – Divisão Regional [5].

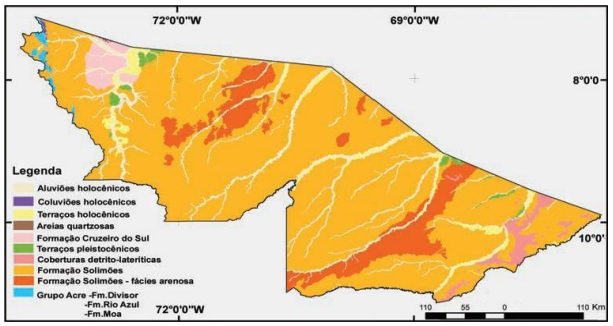


Figura 2 – Mapa geológico do Acre - unidades litoestratigráficas aflorantes [6].

A granulometria inadequada da areia disponível localmente afeta não apenas a trabalhabilidade do concreto, mas também sua resistência e durabilidade, exigindo, por vezes, maior consumo de cimento ou o uso de aditivos específicos [7].

Diante dessas particularidades, este estudo busca investigar, com base em dados concretos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), usando os preços unitários médios gerais dos estados para os insumos de materiais, se a percepção popular de que o concreto no Acre apresenta preços mais elevados em comparação com os outros estados da região norte e centro-oeste é de fato justificada. O SINAPI é a referência obrigatória para a elaboração de orçamentos de obras e serviços de engenharia financiados com recursos da administração pública, sendo amplamente utilizado em licitações e contratos públicos no Brasil. Além disso, pretende-se fornecer subsídios para técnicos e gestores que atuam na região, contribuindo para o planejamento e a tomada de decisões mais informadas.

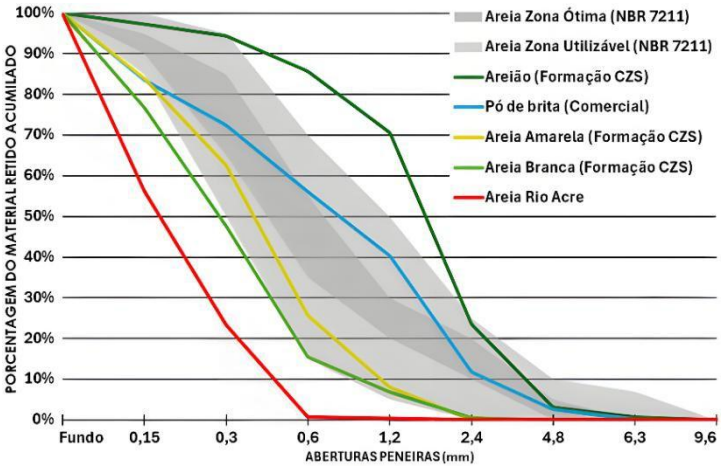


Figura 3 – Gráfico da granulometria dos agregados miúdos disponíveis no Acre para concretos [3].

2. METODOLOGIA

Para elaborar o comparativo dos preços dos insumos do concreto estrutural entre os estados das regiões Norte e Centro-Oeste, utilizou-se a base de dados do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices), que é a base de dados oficial e obrigatória adotada pela administração pública para determinar os valores de insumos e serviços necessários para a execução de obras de engenharia.
O Sistema é uma produção conjunta do IBGE e da Caixa Econômica Federal - Caixa, realizada por meio de acordo de cooperação técnica, cabendo ao Instituto a responsabilidade da coleta, apuração e cálculo, enquanto à Caixa, a definição e manutenção dos aspectos de engenharia, tais como projetos e composições de serviços e outros elementos técnicos [8]. Vale ressaltar que os preços dos insumos do SINAPI, coletados pelo IBGE, são considerados uma média estadual generalizada, sem levar em consideração as particularidades municipais ou regionais [3].

2.1. Composições de Serviços de Concreto para fins Estruturais do SINAPI

A classificação de um tipo de concreto tende a ser feita em função de sua aplicação ou finalidade e a partir da resistência mecânica a compressão [9]. A NBR 8953 [10] classifica o concreto quanto a resistência à compressão axial em dois grupos: Grupo I (classes de resistência de 20 a 50 MPa) e Grupo II (classes de resistência de 50 a 100 MPa), a norma informa ainda, que, concretos estruturais devem possuir resistência a compressão axial maior ou igual a 20MPa [10]. Já a NBR 12655 [11] informa que concreto com classe de resistência à compressão do Grupo II da NBR 8953 (maior que C50) é denominado concreto de alta resistência. De forma geral as composições de custo são padronizadas, considerando que existem concretos mais simplificados e outros mais complexos de serem produzidos, se apresentam os concretos em dois tipos:

- **Concreto comum, convencional ou simples:** Mistura dos principais componentes do concreto, Cimento + Água + Agregado Miúdo (areia) + Agregado Graúdo (brita), cuja resistência à compressão é obtida com o controle da relação água/cimento, sendo dispensável o emprego de aditivos especiais ou de adições ativas.
- **Concretos especiais:** Neste há o emprego de materiais particulares, como, fibras, aditivos, materiais cimentícios suplementares (MCS) ou outros materiais indispensáveis para a obtenção da resistência e demais características desejadas em projetos mais específicos.

O SINAPI, também, baseia as composições de serviço na resistência característica a compressão, que podem ser de fck: 20MPa, 25MPa, 30MPa e 40MPa; e na capacidade volumétrica da betoneira: 400l e 600l, respectivamente, nas composições do SINAPI das Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 – Concreto estrutural preparo mecânico com betoneira de capacidade de 400l.

94964 - Concreto fck=20MPa, traço 1:2,7:3,0 (cim/areia média/B1) – prep. mec. c/ betoneira 400 l. Af_05/2021 - M^3
94965 - Concreto fck=25MPa, traço 1:2,3:2,7 (cim/areia média/B1) – prep. mec. c/ betoneira 400 l. Af_05/2021 - M^3
94966 - Concreto fck=30MPa, traço 1:2,1:2,5 (cim/areia média/B1) – prep. mec. c/ betoneira 400 l. Af_05/2021 - M^3
94967 - Concreto fck=40MPa, traço 1:1,6:1,9 (cim/areia média/B1) – prep. mec. c/ betoneira 400 l. Af_05/2021 - M^3

Tipo	Código	Descrição	Unid.	94964	94965	94966	94967
				20MPa	25MPa	30MPa	40MPa
Insumo	370	Areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M^3	0,7558	0,723	0,708	0,675
Insumo	1379	Cimento portland composto CP II-32	KG	322,98	362,66	388,88	486,85
Insumo	4721	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M^3	0,587	0,593	0,589	0,561
Composição	88316	Servente com encargos complementares	H	2,53	2,31	2,3	2,44
Composição	88377	Operador de betoneira estacionária/misturador com encargos complementares	H	1,6	1,46	1,45	1,54
Composição	88830	Betoneira capacidade de 400 l, capacidade de mistura 280 l, motor elétrico trif. potência de 2 cv, sem carregador - chp diurno. Af_05/2021	CHP	0,83	0,75	0,75	0,79
Composição	88831	Betoneira capacidade de 400 l, capacidade de mistura 280 l, motor elétrico trif. potência de 2 cv, sem carregador - chi diurno. Af_05/2021	CHI	0,78	0,71	0,7	0,75

Tabela 2 – Concreto estrutural preparo mecânico com betoneira de capacidade de 600l.

94970 - Concreto fck=20MPa, traço 1:2,7:3,0 (cim/areia média/B1) – prep. mec. c/ betoneira 600 l. Af_05/2021 - M³
94971 - Concreto fck=25MPa, traço 1:2,3:2,7 (cim/areia média/B1) – prep. mec. c/ betoneira 600 l. Af_05/2021 - M³
94972 - Concreto fck=30MPa, traço 1:2,1:2,5 (cim/areia média/B1) – prep. mec. c/ betoneira 600 l. Af_05/2021 - M³
94973 - Concreto fck=40MPa, traço 1:1,6:1,9 (cim/areia média/B1) – prep. mec. c/ betoneira 600 l. Af_05/2021 - M³

Tipo	Código	Descrição	Unid.	94970 20MPa	94971 25MPa	94972 30MPa	94973 40MPa
Insumo	370	Areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M³	0,761	0,727	0,712	0,68
Insumo	1379	Cimento portland composto CP II-32	KG	325,16	364,94	391,17	490,35
Insumo	4721	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M³	0,591	0,597	0,5927	0,565
Composição	88316	Servente com encargos complementares	H	2,03	1,98	1,96	2,03
Composição	88377	Operador de betoneira estacionária/misturador com encargos complementares	H	1,28	1,25	1,24	1,28
Composição	89225	Betoneira capacidade de 600 l, capacidade de mistura 360 l, motor elétrico trif. potência de 4 cv, sem carregador - chp diurno. Af_05/2021	CHP	0,66	0,64	0,64	0,66
Composição	89226	Betoneira capacidade de 600 l, capacidade de mistura 360 l, motor elétrico trif. potência de 4 cv, sem carregador - chi diurno. Af_05/2021	CHI	0,62	0,61	0,61	0,62

Levando em consideração as descrições da NBR 8953 [10] e NBR 12655 [11], comparando aos concretos do SINAPI (Tabela 1 e Tabela 2), estes se enquadram no Grupo I da NBR 8953, por utilizar 3 (três) insumos: Cimento Portland Composto CP II-32, Areia média, e Pedra Britada nº 1 (Brita 1); o concreto do SINAPI se enquadra como um concreto comum. Vale lembrar que as composições podem e devem ser alteradas, quando há necessidade, de acordo com a disponibilidade das matérias-primas disponíveis.

Tratando-se do Acre, a areia média só pode ser localizada na regional Juruá, distante da capital Rio Branco mais de 600km. O Agregado miúdo mais empregado no estado é a areia do rio Acre, que é considerada como uma areia fina [3]. Logo, as composições de custo usadas nas regionais do alto e baixo Acre do concreto, que não são ajustadas, não refletem a realidade nas regionais do alto e baixo Acre, podendo ocasionar prejuízos financeiros aos construtores. A Caixa comumente elabora composições de custos regionalizadas, porém, não há informações se para o concreto acreano existem tais composições.

Areias com baixo módulo de finura (mais finas) apresentam maior área superficial e porosidade intergranular, o que aumenta a necessidade de água para atingir a mesma trabalhabilidade do concreto convencional. Para compensar esse aumento de água e evitar perda de resistência, normalmente é preciso aumentar o consumo de cimento [12] [13].

2.2. Insumos de Concreto do SINAPI

A partir das composições do concreto estrutural comum, apresentadas pelo SINAPI, buscou-se no catálogo de insumos do mesmo, os insumos semelhantes que podem ser empregados para elaboração do concreto, sendo eles: cimentos Portland, agregados miúdos e graúdos.

i. Cimento Portland

Foram utilizados para comparativos dos preços unitários 3 (três) cimentos Portland do catálogo de insumos do SINAPI, apresentados na Tabela 3. Por eliminação os cimentos Portland da Tabela 3, são encontrados no comércio em todo Brasil, visto a dificuldade de se conseguir no comércio CP I e as aplicações mais especializadas do CP V-ARI e CP B.

Tabela 3 – Cimento Portland do catálogo de insumos do SINAPI.

nº	Código	Insumo	Unidade
01	1379	Cimento portland composto CP II-32	Kg
02	13284	Cimento portland de alto forno (AF) CP III-32	Kg
03	34753	Cimento portland pozolânico CP IV-32	Kg

ii. Agregado Miúdo

Para os agregados miúdos, tomou-se os insumos do catálogo SINAPI, conforme apresentados na Tabela 4.
Há necessidade de informar que a norma "NBR 7211 Agregados para concretos", em 1983, apresentava os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo, diferentes de sua versão mais atualizada de 2022, com isso classificava o agregado miúdo em 4 (quatro) tipologias diferentes de agregados miúdos, areia: muito fina, fina, média e grossa. A classificação de 1983 da NBR 7211 ainda é utilizada no comércio [1] [3].

Tabela 4 - Agregado miúdo do catálogo de insumos do SINAPI.

nº	Código	Insumo	Unidade
01	366	Areia fina - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m³
02	367	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m³
03	370	Areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m³
04	4741	Pó de pedra (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m³

iii. Agregado Graúdo

Já para os agregados graúdos utilizou-se os insumos do catálogo SINAPI, conforme apresentados na Tabela 5.
Assim como para os agregados miúdos, a classificação utilizada pelo comércio do Acre segue a norma NBR 7211 de 1983. Utilizando o prefixo "Brita" seguido do numeral que denomina a granulometria.

Tabela 5 - Agregado graúdo do catálogo de insumos do SINAPI.

nº	Código	Insumo	Unidade
01	4720	Pedra britada n.0 ou pedrisco (4,8 a 9,5mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³
02	4721	Pedra britada n.1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³
03	4718	Pedra britada n.2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³

2.3. Comparação dos Preços Unitários

Para comparar os preços unitários dos insumos, tomou-se os conceitos da estatística utilizando-se as medidas de tendências central. Foi utilizado a média aritmética dos preços mensais coletados, que, é o resultado da soma de todas as informações de um conjunto de dados dividida pelo número de informações que foram somadas (Equação 1). O período empregado no estudo foi de julho a dezembro de 2024. Para facilitar o cálculo foi utilizado o programa Microsoft Excel 365, estruturado como na Tabela 6. Para os resultados serão apresentados nas tabelas apenas as médias calculadas.

$$\overline{x} = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n)}{n} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

Tabela 6 – Exemplo do cálculo das médias dos preços unitários dos insumos.

2024	Norte							Centro-Oeste			
Meses	AC	AM	AP	PA	RO	RR	TO	DF	GO	MT	MS
Julho	1,25	1,05	1,08	1,15	1,16	1,72	0,91	0,66	0,71	0,87	0,77
Agosto	1,13	0,94	0,97	1,04	1,04	1,55	0,82	0,59	0,64	0,79	0,69
Setembro	1,21	1,01	1,05	1,12	1,12	1,67	0,88	0,64	0,69	0,84	0,74
Outubro	1,21	1,01	1,05	1,12	1,12	1,67	0,88	0,64	0,69	0,84	0,74
Novembro	1,21	1,01	1,05	1,12	1,12	1,67	0,88	0,64	0,69	0,84	0,74
Dezembro	1,21	1,01	1,05	1,12	1,12	1,67	0,88	0,64	0,69	0,84	0,74
Média	1,20	1,01	1,04	1,11	1,11	1,66	0,88	0,64	0,69	0,84	0,74

3. RESULTADOS

3.1. Cimento Portland

Após o levantamento dos preços unitários dos cimentos Portland, se aplicou a média aritmética, para verificar os preços unitários médios do quilograma do cimento Portland, para os três escolhidos em todos os estados no período de julho a dezembro de 2024, como pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7 – Preços unitários médios dos cimentos Portland.

Cimento Portland	Norte							Centro-Oeste			
	AC	AM	AP	PA	RO	RR	TO	DF	GO	MT	MS
CP II 32	1,25	1,05	1,08	1,15	1,16	1,72	0,91	0,66	0,71	0,87	0,77
CP III 32	1,13	0,94	0,97	1,04	1,04	1,55	0,82	0,59	0,64	0,79	0,69
CP IV 32	1,21	1,01	1,05	1,12	1,12	1,67	0,88	0,64	0,69	0,84	0,74

É possível verificar que os preços unitários do quilograma do cimento Portland são superiores na região norte, comparados aos estados da região Centro-Oeste. Na região norte os destaques ficam com Tocantins (menor preço) e Roraima (maior preço), ficando o Acre com o segundo maior preço. Já na região Centro-Oeste os destaques ficam com o Distrito Federal (menor preço) e Mato Grosso (maior preço).
Com a finalidade de melhorar a comparação dos preços entre os estados, eles foram apresentados na Figura 4. O destaque negativo fica com Roraima, com o maior preço por quilograma do cimento Portland de todos os estados estudados, ficando o Acre em segundo lugar no maior preço. O menor preço visualizado no estudo fica com o Distrito Federal.

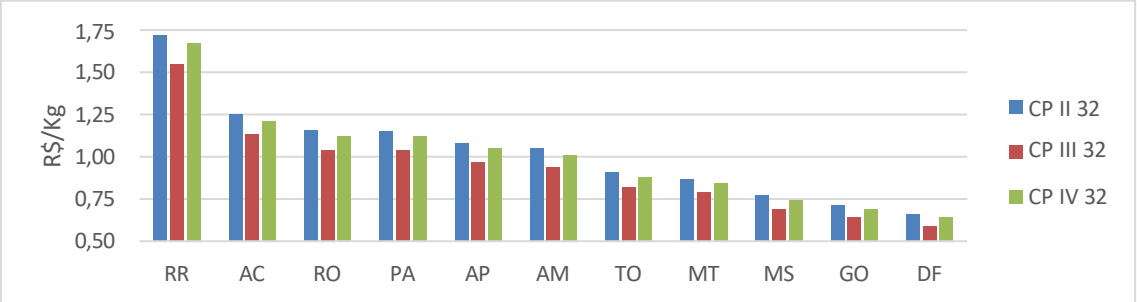


Figura 4 – Preço médio do quilograma dos cimentos Portland.

Algumas hipóteses podem ser levantadas, Roraima e Acre nem sequer possuem fábricas de cimento Portland, como pode ser constado nas Figura 5 e Figura 6. Outra hipótese está ligada a demanda por habitante, já que estes estados estão entre os menos populosos segundo o Censo 2022, respectivamente 25º (Acre) e 27º (Roraima) [4], assim, com um consumo baixo de cimento por habitante o preço tende a subir, é a famosa: lei da oferta e da procura.
Uma surpresa poderia ser indicada em Rondônia, que, mesmo possuindo Fábrica de cimento possui preço próximo ao praticado no Acre (diferença entorno de R$ 0,09). Outra hipótese é que a fábrica de cimento de Rondônia é do tipo fábrica de moagem, logo a matéria-prima é transportada até lá de outras localidades para ser moída e ensacada [14] [15].
No Amazonas a análise é facilitada, visto que a capital Manaus concentra mais de 50% da população do estado, porém o preço do cimento pode subir à medida que se afasta da capital. O transporte fluvial também é muito utilizado para outros municípios, visto a grande capacidade do rio Amazonas e seus afluentes.

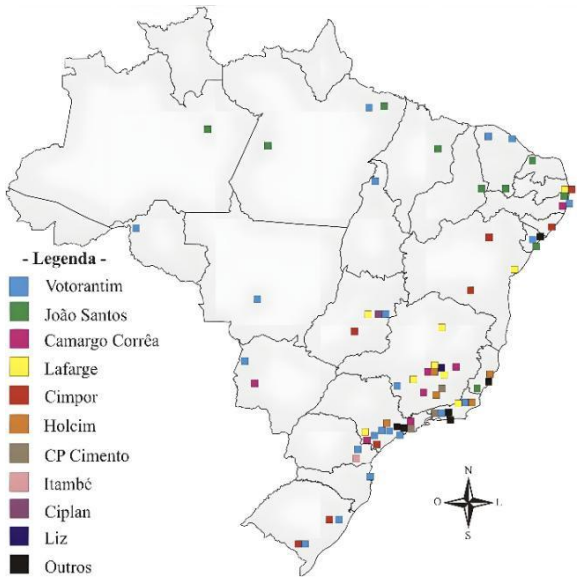


Figura 5 – Localização das fábricas de cimento no Brasil, por grupos econômicos [16].



Figura 6 – Localização das fábricas de cimento no Brasil, por tipo de implementação [15].

Como toda regra tem exceção, a análise entre estados com forte ligação, como Amapá e Pará, exige mais cautela, visto que o Amapá segundo estado menos populoso do país (26º) e sem fábricas de cimento, apresentou preços menores que o Pará, estado mais populoso do Norte (9º) [4]. A hipótese aqui levantada é que no Pará o transporte do cimento para seu interior torna o preço médio do cimento mais oneroso. Já no Amapá o transporte de cimento ocorre basicamente por via fluvial e é concentrado na Capital Macapá, onde vive mais de 60% da população. Lembrando mais uma vez que os preços dos insumos coletados pelo IBGE são uma média estadual generalizada, sem levar em consideração as particularidades municipais ou regionais [3].
Na região Centro-Oeste há um ao maior desenvolvimento industrial dos estados se comparados com os estados da região norte, o que é confirmado pela maior quantidade de fábricas de cimentos na região Centro-Oeste comparada a região Norte. Há ainda uma maior quantidade de fábricas de cimento do tipo integrada (Figura 6), o que levar a crer que há matéria-prima em abundância para a fabricação.

3.2. Agregado Miúdo

Assim como no cimento Portland, os preços unitários dos agregados miúdos foram reunidos, sendo aplicada a média aritmética facilitando a comparação dos preços unitários médios do metro cúbico, em todos os estados no período de julho a dezembro de 2024, como pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 – Preços unitários médios dos agregados miúdos.

Agregado Miúdo	Norte							Centro-Oeste			
	AC	AM	AP	PA	RO	RR	TO	DF	GO	MT	MS
Areia Fina	103,33	94,25	149,17	105,00	150,00	61,11	123,33	196,67	145,00	132,08	90,50
Areia Média	103,33	94,25	149,17	105,00	150,00	61,23	123,33	196,67	145,00	132,08	90,50
Areia Grossa	104,68	95,48	151,11	106,37	151,96	61,91	124,94	199,23	146,90	133,81	91,68
Pó de Pedra	317,92	247,44	289,73	209,08	207,84	266,24	135,47	183,58	107,58	146,82	91,20

Aos se analisar os preços unitários médio dos agregados miúdos, faz-se necessários duas análises, do material arenoso (areias: fina, média e grossa) e do material de origem britada (pó de pedra). Para as areias, Roraima apresenta os menores preços, seguido por Mato Grosso do Sul e o Amazonas. Os estados com os maiores preços das areias foram, respectivamente, o Distrito Federal, Rondônia e Amapá, como pode ser visto na Figura 7.

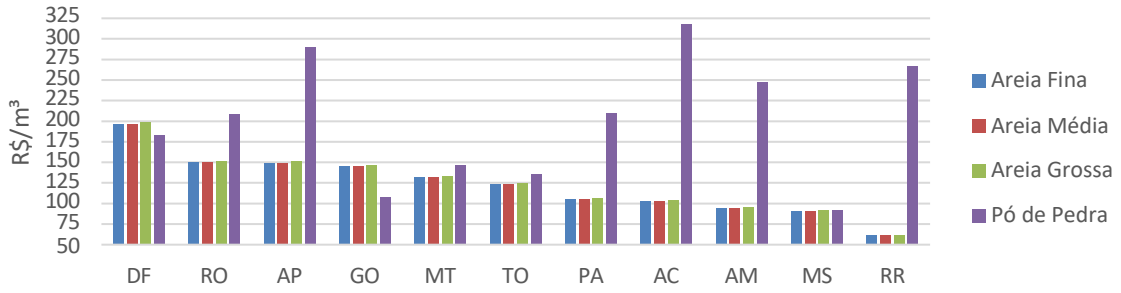


Figura 7 – Preço médio do metro cúbico dos agregados miúdos.

Quanto ao pó de pedra o Norte possui preços muito maiores que o Centro-Oeste, a exceção de Tocantins. O Acre é o estado com os maiores preços para o pó de pedra. Como dito anteriormente, ele não possui reservas de material pétreo, importando-o de Rondônia. Os outros maiores preços para o pó de pedra são, respectivamente, do Amapá e Roraima (Figura 8), coincidentemente, junto do Acre, são os estados menos populosos do país.

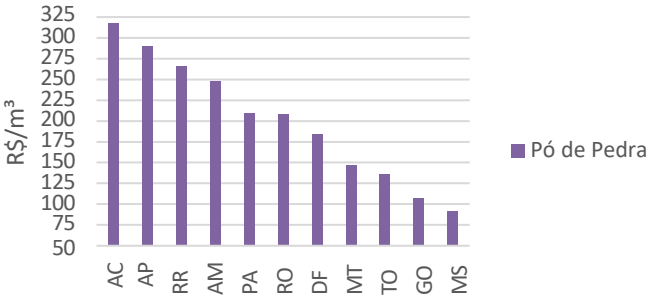


Figura 8 – Preço médio do metro cúbico do pó de pedra.

Quantos as areias podem-se afirmar que os estados da região Norte possuem preços mais vantajosos que os da região Centro-Oeste. A hipótese aqui está ligada ao tipo de extração das areias, que, na região norte predomina a extração por dragagem em leitos de rios. Destaca-se que para o Acre só existirá areia adequada para concretos de acordo com a região do estado. Na capital Rio Branco, não existem areias média e grossa, apenas areia fina e o pó de pedra (importado de Rondônia), esse tipo de observação pode ocorrer também nos outros estados. Um fato importante, a região norte está muito ligada a cultura dos rios, sendo que muitas areias são extraídas destes. Para o pó de pedra, as jazidas são mais restritas no Norte e mais abundantes na região Centro-Oeste, uma hipótese para essa condição pode ser a malha viária mais restrita no norte como pode ser visto na Figura 9, outro fator é industrialização dos estados do Centro-Oeste ser proporcionalmente maior que no Norte, como pode ser visto na Figura 10.

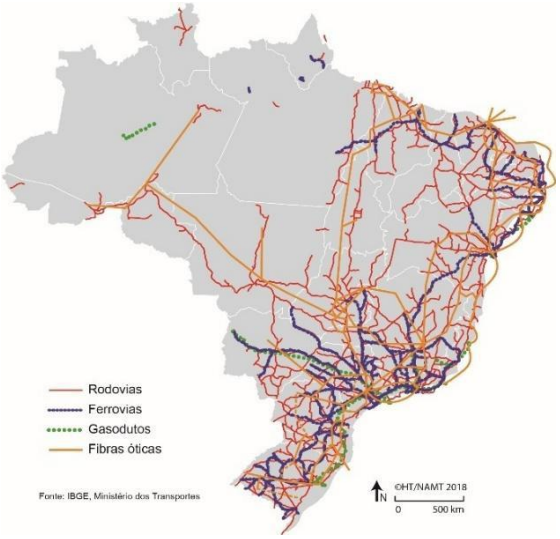


Figura 9 – Redes de Transporte [17].

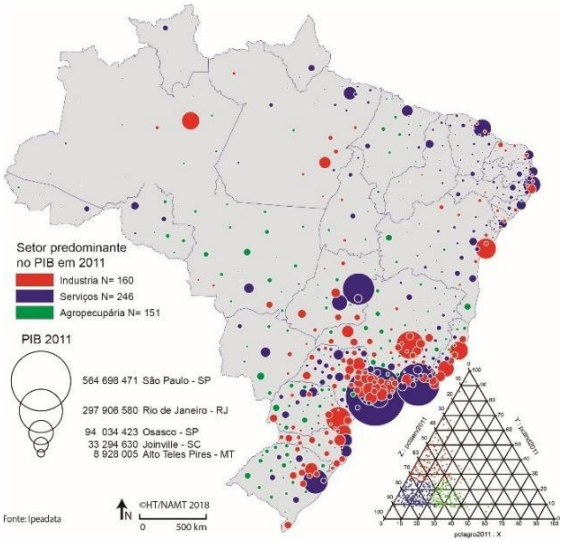


Figura 10 – Localização das Empresas Industriais [17].

3.3. Agregado Graúdo

Assim como no pó de pedra, o agregado graúdo do SINAPI é de origem britada, os três escolhidos foram reunidos e aplicou-se a média aritmética, comparando os preços unitários médios do metro cúbico dos agregados graúdos, no período de julho a dezembro de 2024, como pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9 – Preços unitários médios dos agregados graúdos.

Agregados Graúdos	Norte							Centro-Oeste			
	AC	AM	AP	PA	RO	RR	TO	DF	GO	MT	MS
Pedra britada n.0	388,57	302,43	354,11	255,54	254,04	325,4	165,58	224,38	131,49	180,41	111,46
Pedra britada n.1	336,56	261,96	306,72	221,33	220,04	281,85	143,42	194,35	113,89	156,26	96,54
Pedra britada n.2	338,33	263,33	308,33	222,5	221,2	283,33	144,17	195,37	114,5	157,08	97,05

Os agregados graúdos seguem a tendência do pó de pedra nos agregados miúdos. Estados do Norte menos industrializados, possuem jazidas de material pétreo mais restritos, o que eleva o preço do agregado graúdo. O gráfico comparativo dos preços unitários médios do metro cúbico do agregado graúdo pode ser visto na Figura 11.

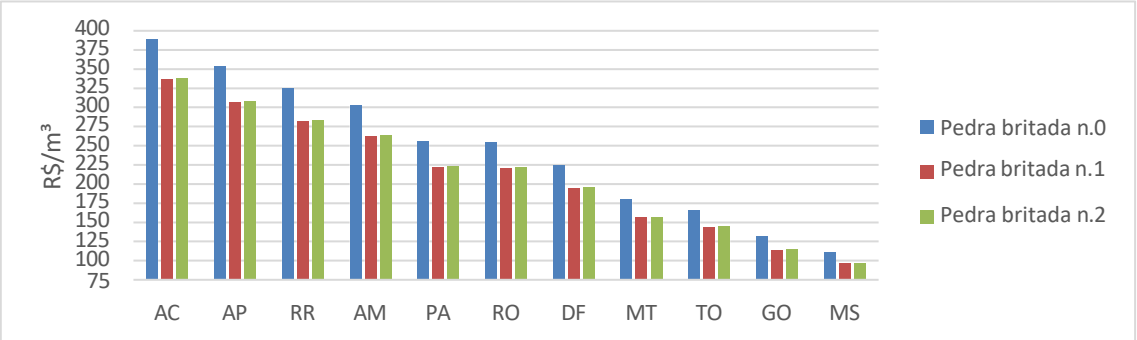


Figura 11 – Preço médio do metro cúbico dos agregados graúdos.

Assim como no pó de pedra o Acre foi o estado com o agregado graúdo de maior preço, seguido por Amapá e Roraima, segundo as mesmas tendências do pó de pedra. Estes três estados são os menos populosos do país, o que impacta do volume de obras e consumo de concreto. O Acre e Amazonas são basicamente compostos por rocha sedimentares (Figura 12), não recomendadas para concretos.

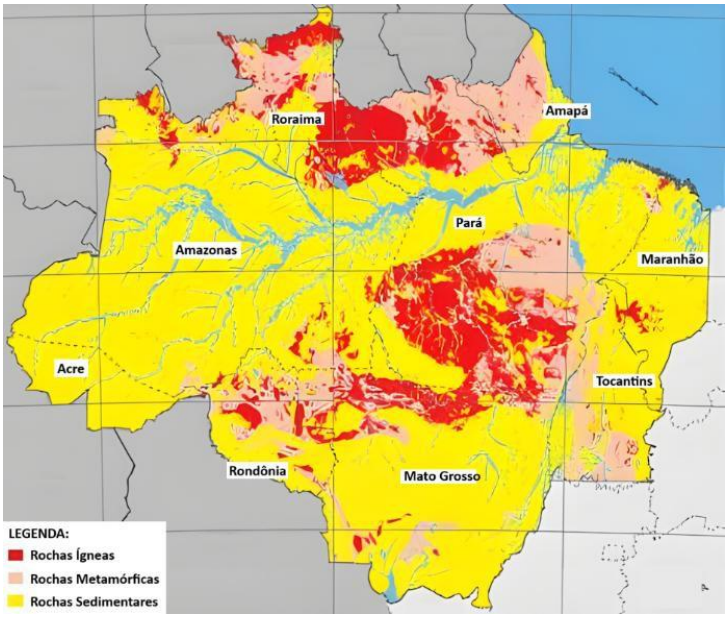


Figura 12 – Distribuição das rochas na Amazônia Legal [18].

Estados como Amapá e Roraima possuem reservas de rochas a serem exploradas com crescimento e desenvolvimento dos estados. O Pará, estado mais populoso do Norte, apesar de possuir reservas rochosas, as mesmas, encontram-se afastadas da área mais populosa do estado (ao redor da capital Belém), mas assim como nos outros estados mencionados, o crescimento e desenvolvimento dessas áreas poderá proporcionar a extração do material britado, como o crescimento da demanda do estado.

3.4. Recomendações e possíveis tentativas para mitigar os impactos dos altos preços

Algumas alternativas podem ser propostas para tentar mitigar os altos preços no Acre, dentre alguns são citados: uso de seixo rolados, resíduos da construção e demolição (RCD), resíduos de vidro e agregados em argila calcinada e outros.
Um ponto a ser observado e pouco explorado pelo SINAPI, são os concretos com seixo rolado, apesar de existir o insumo:

- 00004734 - Seixo rolado para aplicação em concreto (posto pedreira/fornecedor, sem frete) - m³.

O insumo é utilizado em composições de serviços, no papel de agregado graúdo, porém ele não descreve a diferentes granulometrias do material como no material britado. O seixo rolado é amplamente utilizado em diversas regiões do Brasil, especialmente em obras rodoviárias, bases de fundação e infraestrutura urbana e pode ser uma alternativa menos onerosa ao material britado quando disponível [19 - 23].
No Acre não é costume o uso do seixo, há uma barreira cultural e preconceito quanto ao seu uso, para produção de concreto. Novos estudos para analisar os concretos com seixo rolado poderiam verificar se existem, perdas mecânicas e impactos financeiros.
Outros estudos foram propostos, como o uso de resíduos da construção e demolição (RCD) [23] [24], o uso do RCD também poderia ser analisado quanto aos impactos financeiros do concreto no Acre. Mais uma estudo proposto ligado a reciclagem de materiais, diz respeito a substituição parcial da areia do rio Acre por vidro moído, onde, foram relatados ganho de resistência devido ao empacotamento do agregado miúdo onde o vidro fez o papel de areia grossa [3].
Para o agregado graúdo, uma alternativa poderia ser, a utilização de agregado graúdo de argila calcinada como substituto da brita tem se mostrado uma alternativa viável, especialmente em regiões onde a disponibilidade de brita é limitada, como na Amazônia. Estudos demonstram que agregados sintéticos produzidos a partir de argila calcinada apresentam propriedades físicas e mecânicas comparáveis às da brita natural, incluindo resistência à compressão, absorção de água e massa específica, tornando-os adequados para uso em concreto e pavimentação asfáltica [25 - 27].
A análise de todas essas alternativas quanto aos impactos financeiro, poderão ser abordados em pesquisar futuras.

4. CONCLUSÃO

O estudo confirmou, com base nos dados do SINAPI e na comparação entre estados das regiões Norte e Centro-Oeste, que o concreto estrutural produzido no Acre apresenta custos significativamente mais elevados. Tal constatação reforça a percepção popular existente no estado, que se mostra embasada em dados concretos.

Verificou-se que a principal causa para os altos custos reside na ausência de jazidas locais adequadas para a produção de agregados graúdos e miúdos, o que obriga a importação desses insumos de estados vizinhos, como Rondônia. Essa logística complexa, somada a fatores como baixa densidade populacional, limitações geográficas, escassa industrialização e a falta de plantas de produção de cimento, impacta diretamente os custos dos insumos essenciais à fabricação do concreto.

Considerando o cimento Portland, os resultados indicaram que o Acre apresenta o segundo maior preço unitário por quilograma entre os estados analisados, superado apenas por Roraima. Essa elevação está associada à ausência de fábricas locais de cimento e à baixa demanda per capita, típica de estados menos populosos. Comparado à região Centro-Oeste, onde a presença de fábricas integradas reduz custos, o Acre enfrenta desafios logísticos que encarecem o insumo.

Para o agregado miúdo, o estudo destacou que o Acre depende majoritariamente da areia fina extraída do rio Acre, que não atende à granulometria recomendada pela NBR 7211, ou da areia média disponível na regional Juruá, a mais de 600 km de Rio Branco. Isso resulta em custos elevados, com o Acre figurando entre os estados com preços mais altos, superado apenas por Rondônia e Amapá. A predominância da extração por dragagem na região Norte explica preços mais competitivos em geral, mas a inadequação local do material acreano impacta negativamente nos custos e na qualidade do concreto.

No que tange ao agregado graúdo, o Acre registrou o maior preço unitário entre os estados estudados, devido à ausência de jazidas locais de rochas adequadas, levando à importação de brita de Rondônia, a cerca de 250 km. Essa dependência, combinada com a predominância de rochas sedimentares no estado e a infraestrutura viária limitada, eleva os custos significativamente. Em contraste, estados do Centro-Oeste, com maior industrialização e jazidas mais acessíveis, apresentam preços mais baixos, reforçando a desvantagem geográfica do Acre.

Além disso, identificou-se que as composições de custos atualmente adotadas no SINAPI não refletem adequadamente as condições específicas das diferentes regionais do Acre, especialmente no Alto e Baixo Acre. Tal situação pode gerar distorções no orçamento de obras públicas e privadas, além de prejudicar o planejamento de construtores locais.

Diante desse cenário, recomenda-se a adoção de medidas práticas para mitigar os altos custos, tais como: incentivo à regionalização das composições de custos no SINAPI, considerando as especificidades logísticas e de materiais do Acre. Estudo e viabilização do uso de materiais alternativos locais, como o seixo rolado e resíduos industriais. Investimentos em melhorias logísticas e transporte. Desenvolvimento de parcerias público-privadas para a implantação de unidades de beneficiamento de agregados no estado.

Sugere-se, ainda, que estudos futuros aprofundem a análise da variabilidade dos preços, incluindo desvio padrão e número de pontos amostrais, e avaliem o impacto desses custos no orçamento de obras públicas e na viabilidade de empreendimentos privados no Acre. Tais investigações podem contribuir para a formulação de políticas públicas mais eficazes e promover maior equidade regional no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

[1] ABNT, “NBR 7211 Agregados para concreto - Requisitos”, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, ABNT, 2022.

[2] LANI, J.L., AMARAL, E.F., ARAÚJO, E.A., *et al.*, “Geologia e relevo: alicerces da paisagem Acreana”, *https://www.researchgate.net/profile/Edson-Araujo/publication/270511903_Geologia_e_relevo_alicerces_da_paisagem_Acreana/links/54acaa710cf2479c2ee82f3b/Geologia-e-relevo-alicerces-da-paisagem-Acreana.pdf*, nº December, p. 09–37, 2012.

[3] USZACKI JUNIOR, J.R., *Concreto com Resíduo de Vidro no Estado do Acre*, Dissertação, Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém/PA, 2022.

[4] IBGE, “Censo 2022”, *https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/panorama*, 2022https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/panorama. Acessado janeiro 2025.

[5] ACRE, “O Acre em números 2009”, *http://acre.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/AcreemNumeros_2009_1.pdf*, Rio Branco/AC, Brasil, p. 176, 2009.

[6] ACRE, “Recursos naturais: geologia, geomorfologia e solos do Acre. Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA); Coleção Temática do ZEE; vol. 2”;, *https://www.amazonia.cnptia.embrapa.br/publicacoes_estados/Acre/Fase 2/Livro_Tematico_ZEE_Recursos_Naturais_Volume_2.pdf*, vol. 2, Rio Branco/AC, Brasil, Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA), p. 100, 2010.

[7] MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M., *Concrete: Microstructure, Properties and Materials*, 3º ed, New York, McGraw-Hill, 2006.

[8] CAIXA, "SINAPI", *Caixa Economiza Federal*, 2024https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx. Acessado junho 2024.

[9] SILVA, M., "Composição Simples de Agregados Miúdos Naturais de Cruzeiro do Sul/AC", *Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)*, Rio Branco/AC, Brasil, 2018.

[10] ABNT, "NBR 8953 - Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência", Rio de Janeiro/RJ, 01-mar-2015.

[11] ABNT, "NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento", Rio de Janeiro/RJ, 25-fev-2022.

[12] SMIRNOV, A., DOBSHITS, L., ANISIMOV, S., *Development of high-strength self-compacting concrete with low fineness modulus sand*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 869, nº 3, p. 032039, jun. 2020.

[13] HUYNH, T.-P., HO, L.S., HO, Q. Van, *Experimental investigation on the performance of concrete incorporating fine dune sand and ground granulated blast-furnace slag*, Construction and Building Materials, vol. 347, p. 128512, set. 2022.

[14] CSN, "Apostila de Cimentos CSN", *Companhia Siderúrgica Nacional* , p. 1–30, 2021.

[15] ABCP, "Panorama do Coprocessamento 2024: Uma Tecnologia Sustentável", *ABCP*, São Paulo, p. 1–15, 2024.

[16] SANTOS, L.B., *A indústria de cimento no Brasil: origens, consolidação e internacionalização*, Sociedade & Natureza, vol. 23, nº 1, p. 77–94, 2011.

[17] CRUZ, R. de C.A. da, *Desenvolvimento desigual e turismo no Brasil*, Confins, vol. 36, 2018.

[18] IBGE, "Geoestatísticas: revelam patrimônio ambiental da Amazônia Legal", 01-jun-2011https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14023-asi-geoestatisticas-revelam-patrimonio-ambiental-da-amazonia-legal. Acessado maio 2025.

[19] PAULA, J.R.A.L. de, SANTOS, M.F. dos, BRAGA, A. de P., *et al.*, *Comparative study of the physical and mechanical properties between the conventional concrete using brita 0 and rolled pebble of the city of Manaus-Am*, ITEGAM- Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (ITEGAM-JETIA), vol. 4, nº 15, 2018.

[20] MOREIRA, K.C.B., VERONESE, R.B.A., LOPES, S.C., *et al.*, "Caracterização das propriedades mecânicas de concreto com substituição parcial de pó de seixo na cidade de Palmas-TO", em ABM Proceedings, 2019, p. 449–455.

[21] SILVA, F.F. da, SANTOS, T.A. dos, JESUS, E. da C., *et al.*, *Characterization of rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi in areas impacted by gravel mining in Brazil*, Revista Caatinga, vol. 32, nº 4, p. 995–1004, dez. 2019.

[22] MARQUES, H.F., RIBEIRO, C.C., OLIVEIRA, D.M., *et al.*, *Reaproveitamento de resíduos da construção civil: a prática de uma usina de reciclagem no estado do Paraná*, Brazilian Journal of Development, vol. 6, nº 4, p. 21912–21930, 2020.

[23] SOUZA, F. da S., MENDES, J.C., MORAIS, L.J.B., *et al.*, *Mapping and recycling proposal for the construction and demolition waste generated in the Brazilian Amazon*, Resources, Conservation and Recycling, vol. 176, p. 105896, jan. 2022.

[24] SOUZA, F. da S., DE OESTE, B.P., DE LIMA, E.F.P., *et al.*, "Gestão dos resíduos de construção e demolição em rio branco, acre construction and demolition waste management in rio branco, acre", *South American Journal*, vol. 7, p. 741–764, 2020.

[25] CABRAL, E.M., SÁ, R.J. de, VIEIRA, R.K., *et al.*, *Utilização de massas cerâmicas na produção de agregado sintético de argila calcinada para uso em concreto*, Cerâmica, vol. 54, nº 332, p. 404–410, dez. 2008.

[26] OLIVEIRA, H.A., SANTOS, C.P., OLIVEIRA, R.M.P.B., *et al.*, *Avaliação do potencial de argilas de Sergipe e Alagoas na produção de agregados para uso em concreto*, Cerâmica, vol. 63, nº 367, p. 318–328, set. 2017.

[27] DE SOUZA CAMPELO, N., DA SILVA CAMPOS, A.M.L., ARAGÃO, A.F., *Comparative analysis of asphalt concrete mixtures employing pebbles and synthetic coarse aggregate of calcined clay in the Amazon region*, International Journal of Pavement Engineering, vol. 20, nº 5, p. 507–518, maio 2019.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-22

ÁREA TEMÁTICA: Gestão

MAPEAMENTO DOS PONTOS DE DEPOSIÇÕES DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA ZONA URBANA DO MUNICÍPIO DE RIACHÃO DO DANTAS-SE

SANTOS, Mateus M.[1]; SANTOS, Cleane A.[2]; SANTOS, Raphael L. M.[3]; PRATA, Valmir C.[4]; TRINDADE, Kayc A.[5]; SANTOS Marcos O.[6].

[1] Instituto Federal de Sergipe, Lagarto-SE, Brasil, mateus.santos060@academico.ifs.edu.br, 0009-0000-6973-9055
[2] Instituto Federal de Sergipe, Lagarto-SE, Brasil, Cleane.santos084@academico.ifs.edu.br, 0009-0000-3468-0479
[3] Instituto Federal de Sergipe, Lagarto-SE, Brasil, raphael.santos097@academico.ifs.edu.br, 0009-0005-4456-6158
[4]Instituto Federal de Sergipe, Lagarto-SE, Brasil, valmir.prata@ifs.edu.br, 0009-0009-0334-7142
[5]Instituto Federal de Sergipe, Lagarto-SE, Brasil, kayc.trindade@ifs.edu.br, 0000-0002-4957-4465
[6]Instituto Federal de Sergipe, Lagarto-SE, Brasil, marcos.oliveira@ifs.edu.br, 0009-0007-7659-756x

RESUMO

Este estudo teve como objetivo identificar os pontos de descarte irregular dos resíduos da construção civil (RCC) na área urbana do município de Riachão do Dantas, em Sergipe, analisando os fatores que contribuem para a persistência dessa prática. A pesquisa combinou revisão bibliográfica, levantamento de dados junto à prefeitura e mapeamento em campo, identificando 23 pontos de deposição irregular, muitos localizados em áreas centrais. A ausência de infraestrutura adequada, como áreas regulamentadas de bota-fora, somada à falta de fiscalização e à pouca conscientização da população, são os principais fatores que agravam o problema. Embora parte dos resíduos seja reutilizada de forma informal, tal prática ocorre sem controle técnico, contrariando as diretrizes da Resolução CONAMA nº 307/2002 [1], que estabelece normas para o gerenciamento adequado dos RCC. O estudo destaca a urgência de ações integradas, como a elaboração de um Plano Diretor, implementação de um Plano Integrado de Gerenciamento de RCC (PIGRCC), criação de pontos de descarte regulamentados e a promoção de educação ambiental, a fim de garantir um desenvolvimento urbano no município de Riachão do Dantas.

Palavras-chave: Construção civil, Gerenciamento de resíduos, Resíduos de construção, Meio ambiente.

ABSTRACT

This study aimed to identify irregular disposal points for construction waste (CW) in the urban area of the municipality of Riachão do Dantas, in Sergipe, analyzing the factors that contribute to the persistence of this practice. The research combined a bibliographic review, data collection with the city government and field mapping, identifying 23 irregular disposal points, many located in central areas. The lack of adequate infrastructure, such as regulated disposal areas, combined with the lack of inspection and low awareness among the population, are the main factors that aggravate the problem. Although some of the waste is reused informally, this practice occurs without technical control, contrary to the guidelines of CONAMA Resolution No. 307/2002 [1], which establishes standards for the adequate management of CW. The study highlights the urgency of integrated actions, such as the preparation of a Master Plan, implementation of an Integrated Waste Management Plan (PIGRCC), creation of regulated disposal points and the promotion of environmental education, in order to guarantee urban development in the municipality of Riachão do Dantas.

Keywords: Civil construction, Waste management, Construction waste, Environment.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A cidade de Riachão do Dantas localizada na região centro-oeste do estado de Sergipe, a aproximadamente 100 km da capital, Aracaju, possui uma área de 531,5 km² e está situada a uma altitude de 185 metros. Segundo os dados do último censo realizado em 2022 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [2], estima-se uma população de 18.313 habitantes. A economia local é baseada na agricultura, com destaque para a citricultura e o cultivo de mandioca, além da criação de gado de corte e leite.

Baseando-se em Bernardes e Leite (2021) [3], o Plano Diretor é um instrumento de planejamento e gestão urbana dos centros emergentes, essencial para estruturar crescimento territorial sustentável e reduzir fragilidades. Assim sendo, uma vez que o município de Riachão do Dantas ainda não dispõe deste instrumento, enfrenta desafios para promover um crescimento urbano organizado e sustentável.

Nos últimos anos, Riachão do Dantas tem registrado avanços no setor da construção civil, impulsionando o desenvolvimento urbano e a qualidade de vida da população. Um exemplo notável é a implementação do Programa Novo Lar [4], que visa a requalificação de unidades habitacionais precárias de famílias de baixa renda. Essa iniciativa não apenas melhora as condições de moradia, mas também estimula a cadeia produtiva da construção civil local, gerando empregos e renda.

O descarte inadequado dos resíduos da construção civil (RCC) configura-se como um dos grandes desafios ambientais nas áreas urbanas, especialmente em regiões com infraestrutura precária e fiscalização deficiente. Como observa Camilo (2022) [5], a disposição irregular engloba todos os despejos clandestinos em vias e logradouros públicos, terrenos baldios e fundos de vales, provocando degradação de áreas de manancial e riscos à população. Além disso, Marinho (2014) [6] pontua que a construção civil gera vários impactos ao meio ambiente, desde a matéria-prima necessária à construção até a energia que é consumida durante todo o processo. Quando o despejo dos resíduos oriundos de suas obras é feito de forma irregular, o meio ambiente sofre piores agressões.

A recorrência dessa prática está, muitas vezes, ligada aos hábitos da população, que por desconhecimento ou comodidade, acaba contribuindo para o agravamento do problema, uma vez que descartam resíduos em locais inadequados, como margens de rios, terrenos baldios e vias públicas. Nesse sentido, torna-se essencial o fortalecimento da educação ambiental, promovendo a conscientização coletiva sobre os riscos e responsabilidades associados à destinação correta dos resíduos.

A gestão dos RCC no Brasil é regulamentada por normas que visam reduzir os impactos ambientais decorrentes de seu descarte inadequado. A Resolução nº 307/2002 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) [1] é uma das principais regulamentações nesse sentido, estabelecendo critérios para a segregação, transporte e destinação final dos RCC. Além disso, os municípios desempenham um papel fundamental, sendo responsáveis por elaborar seus próprios planos de gerenciamento de resíduos, alinhados às diretrizes estabelecidas pelo governo federal.

Apesar das diversas normas e orientações federais para a gestão dos resíduos da construção civil, muitos municípios brasileiros ainda enfrentam desafios significativos para implementar o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC). Esse é o caso de Riachão do Dantas, em Sergipe. Além do acúmulo de resíduos nas margens das rodovias que cortam a cidade, há também vários pontos de descarte irregulares nas ruas, o que agrava ainda mais o problema. Esse descarte nas vias públicas não só causa sérios impactos ambientais, como também compromete a imagem da cidade, transmitindo a impressão de um ambiente sujo, o que afeta a percepção de moradores e visitantes que transitam pela região.

Com base nisso, esse estudo tem como objetivo identificar os pontos de descarte dos RCC na área urbana de Riachão do Dantas. A pesquisa visa investigar os fatores que perpetuam essa prática inadequada, como a carência de infraestrutura adequada para o manejo dos resíduos e a falta de conscientização da população sobre os impactos ambientais e sociais do descarte irregular.

2. MATERIAIS E METODOS

A pesquisa realizada na área urbana do município de Riachão do Dantas teve início com uma revisão bibliográfica sobre a gestão dos RCC e sobre o município em questão. Em seguida, foi realizada a coleta de dados por meio de pesquisa de campo. Na Prefeitura Municipal de Riachão do Dantas (PMRD)[7], foram obtidas informações relacionadas à gestão dos RCC na zona urbana. Além disso, foram realizadas entrevistas com a principal responsável pela coleta, que, no caso, é a própria prefeitura, por meio de seus serviços municipais de gestão de resíduos. Complementarmente, com o objetivo de espacializar as informações, foi elaborado um mapeamento dos pontos de descarte irregular dos mesmos, após a identificação e

registro fotográfico in loco.

3. RESULTADOS OBTIDOS

A partir do levantamento realizado em todos os logradouros localizados no perímetro urbano de Riachão do Dantas, foram identificados 23 pontos de RCC conforme demonstrado na figura 1. Esses pontos estão espalhados por diferentes áreas da cidade, inclusive na região central, sendo majoritariamente utilizados por pequenos transportadores, como os carroceiros. Verifica-se que a maior parte desses locais está situada em áreas públicas, a exemplo de margens de ruas e rodovias, encostas de córregos e outros espaços desocupados. Tal cenário revela a inexistência de infraestrutura apropriada para a deposição adequada desses resíduos, favorecendo a continuidade de práticas irregulares e os impactos negativos ao ambiente urbano. Além disso, a ausência de locais regulamentados e sinalizados para o descarte de RCC, somada à limitada fiscalização e à falta de campanhas de conscientização, contribui significativamente para a perpetuação desse problema.

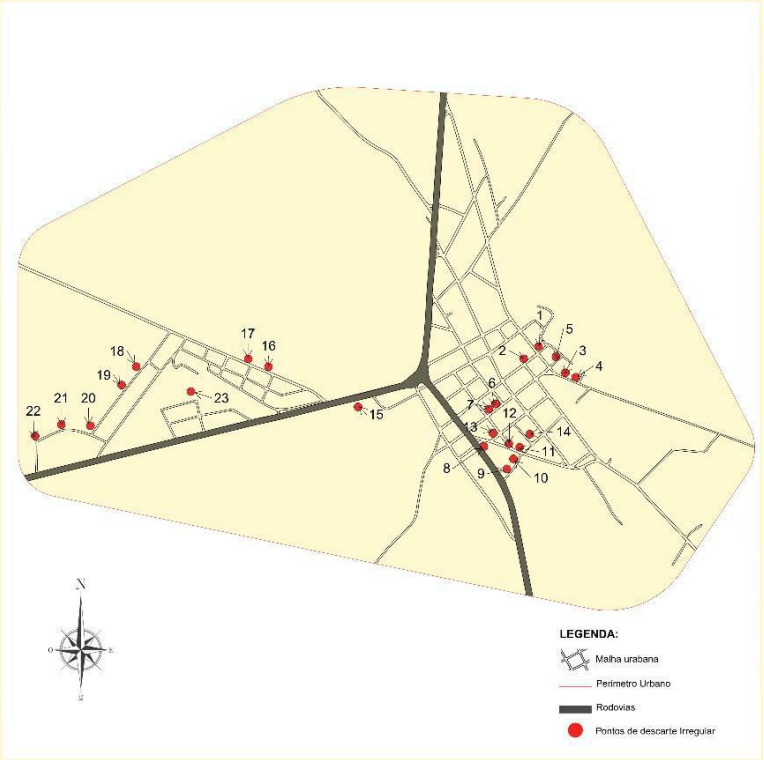


Figura 1 – Mapeamento dos pontos de deposições de RCC na zona urbana do município de Riachão dos Dantas [8].

Conforme demonstrado na Tabela 1, as vias com maior incidência de despejos irregulares de RCC no município são a Rua Deputado Arnaldo Garcez e a Rua B, ambas registrando 3 ocorrências, o que corresponde a 13,04% do total de pontos encontrados na pesquisa. Em seguida, com 8,69% das ocorrências cada, destacam-se a Rua João Cândido dos Santos, Rua Genese Fontes, Rua José Lopes e duas ruas sem identificações, localizadas apenas por coordenadas geográficas. Esses pontos críticos evidenciam a necessidade de ações mais eficazes de fiscalização e gestão dos resíduos, com foco especial nessas localidades. Com a intensificação das fiscalizações, há indícios de que muitos desses pontos críticos poderiam deixar de existir, demonstrando a importância de uma atuação contínua e direcionada por parte do poder público. Além disso, campanhas educativas voltadas à conscientização da população e a oferta de alternativas adequadas para o descarte de entulhos podem potencializar os efeitos das medidas fiscalizatórias, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para a melhoria da qualidade urbana.

Tabela 1 - Quantidade de pontos de deposições irregulares presente em cada rua da zona urbana de Riachão dos Dantas [8].

Ruas		Quantidade	%
Número	Nome		
01	Rua do Cruzeiro	1	4,35%
02	Travessa José Augusto	1	4,35%
03	Rua João Cândido dos Santos	2	8,69%
04	Rua Deputado Arnaldo Garcez	3	13,04%
05	Avenida Doutor Luiz Garcia	1	4,35%
06	Rua Sem nome – S 11° 4′22′′, W 37° 43′30′′	2	8,69%
07	Rua Genese Fontes	2	8,69%
08	Rua Frei Idelsonso	1	4,35%
09	Beco Fundo da maternidade	1	4,35%
10	Margem a SE-170	1	4,35%
11	Rua José Lopes	2	8,69%
12	Rua B	3	13,04%
13	Rua sem nome – S 11° 4′18′′, W 37° 44′17′′	2	8,69%
14	Rua Praça do Mirante	1	4,35%

Segundo Prata (2013) [9], a ausência de fiscalização contribui para a perpetuação dessa problemática e aumento de riscos à saúde pública, além da ocupação desordenada do espaço público. Isso ocorre em Riachão do Dantas, logo que a maioria dos pontos de descarte irregulares dos RCC identificados durante a pesquisa está localizada em áreas centrais do município, especialmente em ruas menos movimentadas e com pouca visibilidade, conforme ilustrado na figura 2. Essas vias de maior concentração populacional, apresentam baixa circulação de veículos e pedestres, além da baixa fiscalização, que facilita o despejo clandestino sem ser notado.

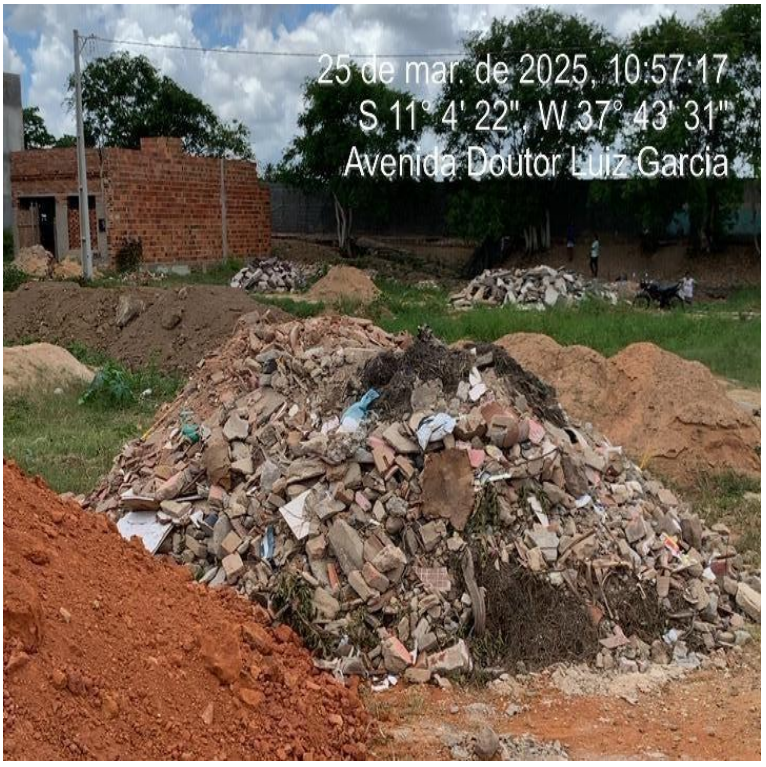


Figura 2 - Ponto de deposição irregular na Avenida Doutor Luiz Garcia, centro da cidade [8].

Os descartes irregulares dos RCC na área urbana geralmente ocorrem de forma clandestina, principalmente durante a madrugada ou em horários de menor movimentação. Pequenos geradores, como proprietários de obras e pedreiros, frequentemente optam por reduzir custos com transporte e destinação adequada, descartando entulhos em terrenos baldios, calçadas, margens de estradas e até em áreas verdes. Em muitos casos, os resíduos são despejados diretamente de carroças, caminhonetes ou caminhões caçamba, sem qualquer tipo de triagem ou preocupação ambiental. Esse comportamento, ilustrado na Figura 2, evidencia a ausência de qualquer segregação entre os materiais descartados, que são lançados de forma misturada, incluindo restos de concreto, madeira, cerâmica e outros detritos. A prática é favorecida pela inexistência de pontos oficiais de coleta, pela carência de orientação técnica e pela fiscalização insuficiente, contribuindo para o surgimento de verdadeiros lixões urbanos que comprometem o ambiente e afetam negativamente a qualidade de vida da população.

De acordo com a Prefeitura Municipal do município [7], uma parte dos RCC descartados na área urbana tem sido reaproveitada de forma informal, principalmente em estradas vicinais e em aterramentos de propriedades privadas, quando solicitados pela própria população. Nesses casos, é comum que moradores entrem em contato com responsáveis por obras ou pelo transporte do entulho, pedindo que o material seja despejado em locais específicos para nivelamento de terrenos, correção de trechos esburacados em vias não pavimentadas ou elevação de áreas sujeitas a alagamentos.

Embora essa prática represente uma alternativa de reutilização, ela ocorre sem acompanhamento técnico ou controle ambiental, o que pode gerar impactos negativos ao solo, pois o descarte inadequado de RCC pode conter resíduos perigosos, como tintas, solventes, óleos, colas e outros materiais potencialmente contaminantes. Esses elementos, conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 307/2002 [1], são classificados como Classe D, ou seja, resíduos perigosos que exigem manejo especializado e destinação final adequada para evitar a contaminação do solo, da água e riscos à saúde pública à drenagem e ao entorno. Além disso, o uso informal dos resíduos não substitui a necessidade de uma destinação final adequada e regulamentada, conforme preveem as diretrizes de gestão de RCC.

O município de Riachão do Dantas não possui pontos de bota-fora regulamentados para o descarte adequado dos RCC, o que contribui para o surgimento de áreas de descarte irregular em diversos pontos da zona urbana. Diante dessa ausência de estrutura apropriada, a Prefeitura acaba assumindo a responsabilidade pela coleta desses materiais, recolhendo em média de 6 a 8 caçambas de entulho por mês. Esse serviço, embora essencial para a limpeza e manutenção da cidade, representa um custo adicional para os cofres públicos e não resolve de forma definitiva o problema, já que a falta de um sistema estruturado de gestão e destinação dos RCC continua incentivando o descarte inadequado por parte da população.

Tabela 2 - Custos estimados com a remoção dos RCC na zona urbana de Riachão dos Dantas-SE [7].

Funcionários e Veículos Envolvidos			**Custo Mensal (R$)**		**Custo Total Anual (R$)**
Quantidade	Funcionários	Veículos	Funcionários	Veículos	
1	Supervisor	-	889,16	2.150,00	36.469,92
1	Auxiliar	-			
1	Motorista de Caçamba	Caminhão Caçamba			
1	Operador de Retroescavadeira	Retroescavadeira			

A Tabela 2 apresenta uma estimativa dos custos envolvidos na remoção dos RCC na zona urbana do município de Riachão dos Dantas-SE. A equipe responsável por essa operação é composta por quatro profissionais: um supervisor, um auxiliar, um motorista de caminhão caçamba e um operador de retroescavadeira. Os custos mensais com a mão de obra totalizam R$ 889,16, enquanto os custos com os veículos utilizados – caminhão caçamba e retroescavadeira – somam R$ 2.150,00.

De acordo com informações da PMRD [9], esse valor corresponde, em média, à remoção de até oito caçambas de entulho em um período de um a dois dias de trabalho. Com base nesses dados, o custo total anual estimado para a realização do serviço é de R$ 36.469,92. A análise dos valores evidencia a relevância do planejamento e da alocação eficiente de recursos humanos e logísticos, como forma de assegurar a eficácia e a sustentabilidade econômica das ações voltadas à gestão dos resíduos sólidos urbanos.

Além dos pontos localizados em áreas urbanas, a pesquisa identificou grandes volumes de resíduos da construção civil descartados às margens das rodovias que conectam o município a outras localidades. Essas áreas, por estarem fora do núcleo urbano mais vigiado, tornam-se locais estratégicos para o despejo de entulho em maior escala, especialmente por veículos de transporte de carga. Como mostrado na Figura 3, os resíduos encontrados são predominantemente classificados como Classe A, conforme a Resolução CONAMA nº 307/2002 [1], que inclui materiais inertes como concreto, cerâmica e blocos, além de telhas, sacos de cimento e gesso.



Figura 3 - Ponto de deposição irregular na Rodovia SE-170, acesso da cidade de Riachão dos Dantas [8].

A figura 3 ilustra a presença desses materiais de forma desordenada, o que evidência não apenas a falta de segregação adequada, mas também o impacto visual e ambiental, onde a fiscalização e o controle, são praticamente inexistentes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada no município de Riachão do Dantas evidencia um cenário preocupante em relação à gestão dos RCC. A ausência de um Plano Diretor e do plano de gestão de resíduos da construção civil e de infraestrutura adequada para o descarte desses resíduos contribui significativamente para a proliferação de pontos irregulares de deposição, muitos dos quais localizados em áreas centrais e de grande circulação, o que afeta diretamente a paisagem urbana, a saúde pública e o meio ambiente.

Apesar dos esforços isolados da prefeitura para a remoção dos entulhos, a inexistência de pontos regulamentados de bota-fora, aliada à falta de fiscalização eficiente e de ações educativas, perpetua práticas inadequadas de descarte por parte da população e de pequenos transportadores. Além disso, os custos públicos relacionados à remoção desses resíduos são elevados e não representam uma solução definitiva para o problema.

Fica evidente a necessidade urgente de elaboração e implementação de políticas públicas estruturadas e integradas que contemplem a criação de áreas adequadas para o descarte de RCC, a educação ambiental da população, o fortalecimento da fiscalização e o estímulo ao reaproveitamento de materiais, dentro de parâmetros técnicos e legais.

Nesse sentido, torna-se imprescindível que o município alinhe suas ações às diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 307/2002 [1], que prevê a obrigatoriedade da segregação dos resíduos por classes, a priorização da reutilização e reciclagem de materiais Classe A, e a destinação ambientalmente adequada de resíduos perigosos (Classe

D). Somente com uma abordagem multidisciplinar e participativa, em conformidade com essa regulamentação, será possível promover uma gestão sustentável dos resíduos da construção civil, contribuindo para o desenvolvimento urbano ordenado e a melhoria da qualidade de vida em Riachão do Dantas.

5. AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio institucional e financeiro recebido. Agradecemos à PROPEX/IFS, por meio do Edital nº 12/2024/, pelo incentivo à pesquisa e pela viabilização das atividades desenvolvidas. Estendemos também nossos agradecimentos ao CNPq pelo fomento à iniciação científica, que tem sido fundamental para o desenvolvimento acadêmico e técnico dos envolvidos. A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste estudo, nosso sincero reconhecimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA nº 307,** de 5 de julho de 2002. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/index.php?id=19132&option=com_sisconama&task=documento.download. Acesso em: 14 abr. 2025.

[2] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE**). Censo Demográfico 2022: panorama do município de Riachão do Dantas (SE). Rio de Janeiro**: IBGE, 2023. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/riachao-do-dantas/panorama. Acesso em: 21 abr. 2025.

[3] MELLO BERNARDES, Brenda; LEITE, Marcos Esdras. **O Plano Diretor como instrumento de planejamento e gestão urbana dos centros emergentes no Norte de Minas/MG**. *arq.Urb*, São Paulo, n. 30, p. 41–55, 7 abr. 2021. DOI: 10.37916/arq.urb.vi30.420.

[4] GOVERNO DE SERGIPE. **Programa Novo Lar chega ao município de Riachão do Dantas.** Aracaju: Governo de Sergipe, 24 abr. 2024. Disponível em: https://www.se.gov.br/noticias/assistencia-social/programa_novo_lar_chega_ao_municipio_de_riachao_do_dantas . Acesso em: 14 abr. 2025.

[5] CAMILO, B. Q. et al. **Resíduos sólidos na construção civil: análise da gestão frente aos impactos causados ao meio ambiente.** *Research, Society and Development*, Maringá, v. 11, n. 2, p. e32711220994, 2022. DOI:10.33448/rsd-v11i2.20994

[6] MARINHO, A. A. et al. ***Resíduos da indústria da construção civil e o seu processo de reciclagem para a minimização dos impactos ambientais*.** Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas – UNIT ALAGOAS, v. 1, n. 1, p. 73–84, 2014. Disponível em: https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/1337. Acesso em: 17 abr. 2025.

[7] PMRD, Prefeitura Municipal de Riachão do Dantas. **Secretaria de Obras e Urbanismo**. PMRD Riachão do Dantas, 2025.

[8] SANTOS, Mateus M.; SANTOS, Cleane A.; SANTOS, Raphael L. M.; PRATA, Valmir C.; TRINDADE, Kayc A.; SANTOS, Marcos O. *Imagens autorais registradas durante o projeto de pesquisa "**Estudo dos impactos socioambientais oriundos do descarte irregular dos resíduos de construção civil (RCC) no município de Riachão do Dantas-SE**"*. [Imagens]. 2025.

[9] PRATA, Valmir do Carmo. **Gestão de resíduos da construção civil na zona urbana do Município de Lagarto – SE:** do diagnóstico a uma proposta de modelo gerencial. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-11

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

A VIABILIDADE DA MUCILAGEM DE *OPUNTIA FÍCUS-INDICA* COMO ADITIVO EM COMPOSTOS CIMENTÍCIOS: CONSIDERAÇÕES SOBRE AS VARIAÇÕES QUÍMICAS

CORRÊA JUNIOR, José Ricardo Guimarães[1]; CAPUZZO, Valdirene Maria Silva[2]

[1] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, josericardoguimcorrea@gmail.com, 0009-0006-7926-064X
[2] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, valdirenemaria@unb.br, 0000-0001-6923-7565

RESUMO

A mucilagem de *Opuntia ficus-indica* é um biopolímero natural extraído das partes suculentas da palma, e tem despertado interesse como aditivo sustentável para a construção civil. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial da mucilagem como aditivo biopolimérico em compósitos cimentícios. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática da literatura, abordando diferentes condições de extração, sazonalidade e idade da planta, além da caracterização química da mucilagem, com ênfase nos polissacarídeos constituintes como arabinose, galactose, xilose, ramnose e ácido galacturônico. Foram investigadas suas propriedades reológicas e os efeitos na hidratação, porosidade, trabalhabilidade e resistência mecânica de matrizes cimentícias. Os resultados da revisão indicaram que a mucilagem pode reduzir significativamente a porosidade capilar e aumentar a resistência à compressão em até 21%. Além disso, observou-se melhora na retenção de água e na estabilidade estrutural das misturas. Conclui-se que a mucilagem apresenta alto potencial como aditivo ecológico e técnico, embora a variabilidade em sua composição e a ausência de padronização nos métodos de extração representem desafios para sua aplicação em larga escala.
Palavras-chave: Mucilagem; Opuntia ficus-indica; Biopolímeros; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The mucilage of *Opuntia ficus-indica* is a natural biopolymer extracted from the succulent parts of the cactus and has gained attention as a sustainable additive for the construction industry. This study aimed to evaluate the potential of mucilage as a biopolymeric additive in cementitious composites. A systematic literature review was conducted, addressing different extraction conditions, plant age, and seasonal variation, as well as the chemical characterization of the mucilage, with emphasis on constituent polysaccharides such as arabinose, galactose, xylose, rhamnose, and galacturonic acid. Its rheological behavior and effects on cement hydration, porosity, workability, and mechanical strength were analyzed. The results of the review indicated a significant reduction in capillary porosity and an increase of up to 21% in compressive strength. Additionally, improved water retention and structural stability of the mixtures were observed. It is concluded that mucilage presents strong potential as an ecological and technical additive, although variability in composition and lack of standardized extraction methods remain challenges for large-scale application.
Keywords: Mucilage; Opuntia ficus-indica; Biopolymers; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por materiais de construção sustentáveis tem impulsionado a investigação de aditivos naturais para aprimorar as propriedades do concreto, tanto em seu estado fresco quanto endurecido [1 - 2]. Nesse contexto, os aditivos biopoliméricos, derivados de fontes renováveis, surgem como uma alternativa promissora aos aditivos químicos convencionais, usualmente de origem petroquímica, contribuindo assim para a redução do impacto ambiental na construção civil [3].

Nesse cenário, a mucilagem do cacto *Opuntia ficus-indica* (MOFI) indica se destaca como aditivo com elevado potencial para aplicação em materiais cimentícios [4]. Conhecida no Brasil como palma forrageira, essa cultura agrícola apresenta alta adaptabilidade a climas áridos e semiáridos e é amplamente cultivada em várias regiões do mundo [5]. A mucilagem, extraída dos cladódios, é rica em polissacarídeos como arabinose, galactose, ramnose, xilose e ácido galacturônico, além de conter proteínas e minerais [6 - 8].

A composição química e as características físicas dos cladódios de *Opuntia ficus-indica* (OFI) são influenciadas por diversos fatores, incluindo o grau de maturação, as condições edafoclimáticas, como o tipo de solo, o clima e as condições de crescimento, além do tratamento e das condições pós-colheita [7, 11]. É comum encontrar variações químicas entre diferentes espécies e variedades genéticas [9], o que pode afetar diretamente as propriedades da mucilagem e, consequentemente, seu desempenho como aditivo em materiais cimentícios.

Os métodos de análise também impactam os resultados de caracterização do cacto. Pesquisadores avaliaram o efeito da fervura na composição físico-química dos cladódios de OFI em duas variações da planta e concluíram que propriedades como pH e capacidade de retenção de água são alteradas pelo processo de fervura. Durante o aquecimento dos cladódios, observaram-se reduções na viscosidade e no pH (de 5,3 para 4,6), bem como diminuição nos níveis de carboidratos e cinzas. A capacidade de retenção de água, por sua vez, varia conforme a espécie e pode ser favorecida ou reduzida pelo aquecimento [12].

Diversas pesquisas têm investigado a aplicação da MOFI como aditivo em materiais cimentícios [7 – 8, 13, 19]. Estudos indicam que a incorporação dessa mucilagem pode proporcionar melhorias nas propriedades reológicas, como trabalhabilidade e coesão da mistura, além de influenciar positivamente o processo de hidratação do cimento e a microestrutura do material [7 - 8, 15] .

Contudo, ainda é necessário aprofundar o entendimento sobre a influência da variabilidade química da mucilagem nas propriedades dos materiais cimentícios. Compreender como os diferentes componentes da mucilagem interagem com o cimento, e como essa interação é modulada por fatores como sazonalidade e idade da planta, é essencial para o desenvolvimento de aditivos biopoliméricos mais eficazes e sustentáveis [7, 11]. Além disso, uma das principais dificuldades enfrentadas é o aumento do teor de sólidos na solução, etapa crucial para potencializar as propriedades das matrizes cimentícias incorporadas com mucilagem.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade do uso da mucilagem de *Opuntia ficus-indica* como aditivo biopolimérico em compostos cimentícios, considerando as variações químicas observadas em função de fatores como a sazonalidade e as características da planta, incluindo idade, tamanho dos cladódios, entre outros, por meio de uma revisão sistemática da literatura. O estudo visa fornecer aos pesquisadores da área informações essenciais para o avanço das pesquisas envolvendo a MOFI em materiais cimentícios.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cacto *Opuntia ficus-indica*: Resistência e Adaptação

O cacto *Opuntia ficus-indica*, amplamente conhecido como palma forrageira no Brasil (Figura 1), é uma espécie xerófita originária do México, reconhecida por sua notável capacidade de se desenvolver em regiões áridas e semiáridas [5]. Essa resistência resulta de adaptações fisiológicas e estruturais que possibilitam à planta suportar condições de escassez hídrica, elevadas temperaturas e solos com baixa fertilidade [9].



Figura 1 - Cacto *Opuntia ficus-indica* [7]

Um exemplo dessa adaptação é a presença de cladódios, estruturas verdes e achatadas que substituem as folhas, minimizando a perda de água por transpiração e desempenhando a função de reservatórios naturais de água. Outro elemento fundamental é a mucilagem, um líquido viscoso encontrado nos cladódios, composto por polissacarídeos, que atua como um hidrogel natural, proporcionando retenção de água e protegendo a planta contra a desidratação [7 - 8].

A palma forrageira é amplamente cultivada em diversos países, como Peru e México, destacando-se por sua presença em regiões de alta altitude nos Andes. Nessas regiões, a planta demonstra elevada resistência ao suportar variações extremas de temperatura, desde o frio intenso até o calor superior a 50 °C [20].

2.2 Influência dos fatores externos na composição química da mucilagem

A mucilagem do cacto *Opuntia ficus-indica* é um heteropolissacarídeo complexo cuja composição química apresenta variações significativas em função das condições ambientais e de cultivo da planta, o que afeta suas propriedades e seu potencial de aplicação, especialmente como aditivo em materiais de construção [21].

Os principais açúcares que integram a composição da mucilagem incluem a arabinose, uma pentose que contribui para a viscosidade; a galactose, uma hexose que também é parte da lactose; a ramnose, um desoxiaçúcar derivado da hexose, caracterizado pela ausência de um átomo de oxigênio; a xilose, uma pentose comumente encontrada na madeira; e o ácido galacturônico, um açúcar ácido originado da galactose, que é o principal componente da pectina [6 - 8, 22 - 24].

Esses açúcares estão ligados por meio de ligações glicosídicas, formando longas cadeias ramificadas que conferem à mucilagem uma estrutura tridimensional e propriedades exclusivas [7]. A diversidade e a complexidade dessas ligações impactam características como viscosidade, capacidade de retenção de água e formação de géis, qualidades essenciais para o uso da mucilagem como aditivo em diferentes aplicações.

A composição química da mucilagem do cacto OFI é determinada por diversos fatores externos, incluindo condições climáticas, estágio de desenvolvimento da planta, período de colheita e métodos de extração. Elementos climáticos, como temperatura, precipitação, intensidade da luz solar e umidade relativa do ar, influenciam diretamente o metabolismo vegetal, modificando tanto a quantidade produzida quanto a composição da mucilagem. A idade dos cladódios também exerce influência significativa, sendo que os mais jovens apresentam maior conteúdo de água e menor concentração de fibras em relação aos mais maduros [8].

A sazonalidade, por sua vez, afeta a disponibilidade de recursos como água e nutrientes no solo, impactando a estrutura química da mucilagem ao longo do ano. Adicionalmente, os métodos de extração, englobando parâmetros como temperatura, pH e escolha de solventes, desempenham um papel essencial na definição de suas propriedades e características químicas, podendo alterar significativamente a funcionalidade do material [21].

Compreender a influência desses fatores é fundamental para aprimorar a produção da mucilagem e viabilizar o desenvolvimento de aditivos biopoliméricos para aplicação em materiais cimentícios com maior eficiência e sustentabilidade.

3. METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, que consiste em um método de pesquisa que adota uma abordagem claramente definida para identificar, analisar e compreender de maneira imparcial e reprodutível todas as evidências disponíveis sobre um tema específico de investigação [25]. A coleta de dados foi dividida em três etapas: pesquisa dos artigos, revisão detalhada da literatura e rasteio de citações.

Foram realizadas buscas nas bases de dados Web of Science e Scopus, por meio do Portal de Periódicos CAPES/MEC, utilizando palavras-chave como *"Opuntia ficus-indica", "Mucilage", "Biopolymer Admixture", "Natural admixture" e "Portland cement"*, combinadas com o operador booleano AND, o que resultou na identificação de 231 artigos. Após a triagem dos títulos e resumos, 102 publicações foram selecionadas por apresentarem relação direta com o tema. Esses artigos foram analisados em profundidade, com foco nas variações químicas, fatores de sazonalidade e características da planta que influenciam o uso da mucilagem como aditivo biopolimérico em materiais cimentícios. As informações mais relevantes foram organizadas em tabelas. Complementarmente, foi realizado um rastreio das citações presentes nos artigos selecionados, a fim de identificar estudos adicionais e aprofundar a compreensão da temática, o que contribuiu para uma revisão de literatura mais robusta.

4. RESULTADOS

A caracterização da mucilagem quanto aos açúcares presentes em sua composição é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Açucares encontrados na mucilagem de *Opuntia ficus-indica*.

Autores	Arabinose	Galactose	Ácido Galacturônico	Ramnose	Xilose
Aquilina, Borg e Buhagiar [4]	+	+	+	+	+
Cárdenas, Goycoolea e Rinaudo [30]	+	+		+	+
Gibson e Nobel [20]	+	+	+	+	+
Ginestra *et al.* [37]	+	+	+	+	+
Goycoolea e Cárdenas [28]	+	+	+	+	+
Majdoub [22]	+	+	+	+	+
Matsuhiro *et al.* [36]	+	+	+	+	+
McGarvie e Parolis [26]	+	+	+	+	+
Medina-Torres [23]	+	+	+	+	+
Paulsen e Lund [42]	+	+	+	+	+
Ribeiro [9]	+	+	+		+
Rodriguez [29]	+	+	+	+	+
Rooyen *et al.* [27]	+	+	+	+	+
Saag *et al.* [41]	+	+	+	+	+
Sáenz *et al.* [40]	+	+	+	+	
Sáenz e Sepúlveda [39]	+	+	+	+	
Saénz, Sepúlveda e Matsuhiro [21]	+	+	+	+	+
Souza e Souza *et al.* [7]-[8]	+	+	+	+	+
Srivastava e Pande [43]		+	+		
Thachtenberg e Mayer [24]	+	+	+	+	+

A análise dos dados apresentados na Tabela 1 revela que a mucilagem contém, de forma geral, quantidades variáveis de l-arabinose, d-galactose, l-ramnose e d-xilose, que se destacam como os principais açúcares neutros em sua composição. Além disso, é indicada a presença de ácido d-galacturônico, cuja ocorrência tem gerado controvérsias entre pesquisadores,

levando alguns a classificar a mucilagem como pectina ou pectinoide. Essas informações corroboram a descrição da mucilagem como um heteropolissacarídeo complexo, conforme discutido no estudo. Observa-se também que a proporção desses açúcares varia significativamente entre diferentes espécies de *Opuntia* e, até mesmo, dentro de uma mesma espécie, influenciada por fatores como a idade dos cladódios e as condições de cultivo. Essas variações podem ser verificadas nos dados complementares apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Proporção dos açucares na mucilagem de *Opuntia ficus-indica*.

Autores	Arabinose	Galactose	Ácido Galacturônico	Ramnose	Xilose
Gibson e Nobel [20]	35 - 40%	20 - 25%	7 - 8%	7 – 8%	20 - 25%
Goycoolea e Cárdenas [28]	23,53%	27,49%	67,30%	2,25%	3,96%
Majdoub [22]	33,10%	20,30%	19,40%	6,90%	18,70%
McGarvie e Parolis [26]	42,40%	18,40%	8,40%	6,40%	24,50%
Medina-Torres [23]	46,68%	17,92%	5,19%	6,76%	23,45%
Rodriguez [29]	35,36%	27,26%	13,91%	1,93%	16,32%
Sáenz e Sepúlveda [39]	24,6 - 42%	21 - 40,1%	8 - 12,7%	7 - 13,1%	22 - 22,2%
Thachtenberg e Mayer [24]	24,60%	40,10%	10,7 - 19,5%	13,10%	22,20%

A análise dos dados apresentados na Tabela 2 demonstra que a mucilagem de *Opuntia ficus-indica* é composta por concentrações variáveis de açúcares, sendo 23,53% a 46,68% de arabinose, 17,92% a 40,10% de galactose, 5,19% a 67,30% de ácido galacturônico, 1,93% a 13,10% de ramnose e 3,96% a 25% de xilose. Essa composição evidencia a complexidade química da mucilagem, reforçando seu potencial como um heteropolissacarídeo com propriedades únicas.

A estrutura molecular sugerida descreve a mucilagem como uma cadeia central linear composta por repetições de ácido α-d-galacturônico com ligação (1-4) e β-l-ramnose com ligação (1-2), Figura 2. Essas unidades centrais possuem cadeias laterais formadas por β-d-galactose com ligação (1-6), conectadas ao O-4 dos resíduos de ramnose. Além disso, os resíduos de galactose apresentam substituições adicionais nas posições O-3 ou em ambas as posições O-3 e O-4, contribuindo para a complexidade estrutural e funcional da molécula [26].

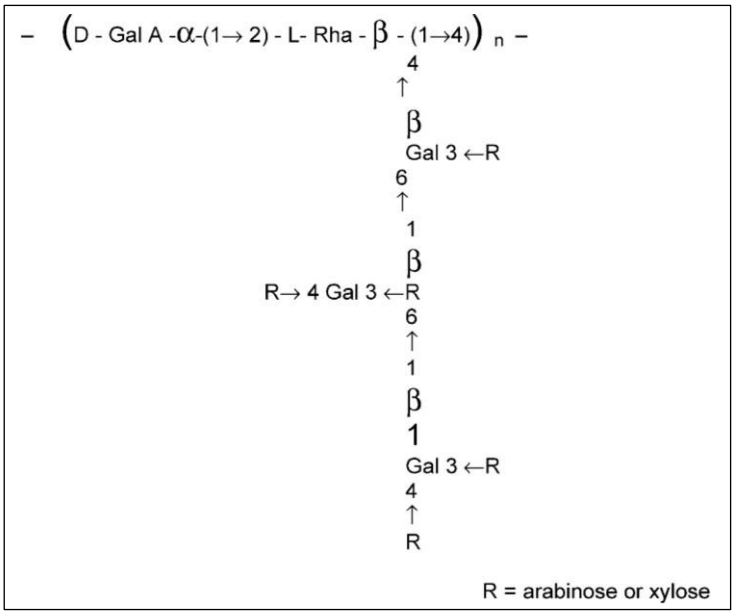


Figura 2: Estrutura sugerida para a cadeia da mucilagem [26].

A composição das cadeias laterais da mucilagem é notavelmente complexa, envolvendo a presença de pelo menos 20 tipos distintos de oligossacarídeos, sendo predominantemente dissacarídeos e trissacarídeos. Estes oligossacarídeos possuem, invariavelmente, resíduos de l-arabinose ligados por meio de ligações (1-5) e d-xilose como grupos terminais, resultando em uma proporção aproximada de xilose para arabinose de 1:2. A presença de ramnose e ácido galacturônico, por sua vez, parece restrita à estrutura resistente ao ácido da mucilagem, uma vez que estes compostos não são detectados após a hidrólise [20, 26].

Os resultados obtidos demonstram que as variações na composição de açúcares e ácidos urônicos, conforme apresentadas nas tabelas, evidenciam a influência de diversos fatores, como sazonalidade, condições climáticas, idade da planta, características do solo, manejo da irrigação e práticas de cultivo. Essas diferenças refletem-se nas proporções de açúcares e no peso molecular da mucilagem reportados por diferentes autores, destacando a necessidade de padronização nos métodos de extração e análise, bem como a consideração das variabilidades naturais, especialmente em aplicações específicas, como o uso da mucilagem como aditivo em materiais cimentícios [7 - 8, 24, 26].

A presença ou ausência de monossacarídeos livres, por exemplo, pode estar diretamente relacionada às condições específicas de extração, como temperatura, solvente, tempo de processamento e proporção biomassa/solvente, que afetam tanto o rendimento quanto as características do produto final. Ademais, variáveis como a idade e o tamanho dos cladódios influenciam significativamente a quantidade de mucilagem extraída e o teor de sólidos nela presente [3, 10, 29, 42].

Os métodos de análise também desempenham um papel determinante na caracterização da mucilagem. Técnicas como cromatografia e espectroscopia são fundamentais para identificar seus componentes, mas diferenças nas abordagens analíticas podem resultar em variações nos resultados [8, 12, 29]. Esses aspectos corroboram a discussão sobre a necessidade de metodologias consistentes para garantir a confiabilidade dos dados e o entendimento detalhado das propriedades da mucilagem, essencial para sua aplicação como um aditivo biopolimérico sustentável e eficiente.

5. DISCUSSÃO

5.1 Análise da influência da composição química nas propriedades da mucilagem

As informações sobre os teores de ácido galacturônico, sua capacidade de formar géis e a presença de grupos carboxílicos livres são fundamentais para avaliar o potencial da mucilagem como aditivo em materiais cimentícios. Isso ocorre porque as variações em sua composição química influenciam diretamente suas propriedades. Por exemplo, a proporção de ácido galacturônico, que confere à mucilagem sua capacidade de gelificação, afeta tanto a interação com o cimento quanto as propriedades reológicas do material. Além disso, a viscosidade da mucilagem, um parâmetro crucial para a trabalhabilidade do concreto, é sensível a fatores como concentração de íons e pH, o que reforça sua relevância no desempenho como aditivo.

No que diz respeito aos açúcares constituintes, a L-arabinose desempenha um papel essencial na viscosidade da mucilagem devido aos seus grupos funcionais, que promovem interações intermoleculares. Tais interações aumentam significativamente a viscosidade quando a mucilagem é hidratada, especialmente em amostras com maior conteúdo desse açúcar [6, 26]. Além disso, a L-arabinose participa na formação de ramificações laterais com D-galactose, contribuindo para a organização estrutural da mucilagem e, consequentemente, para suas propriedades reológicas.

Outrossim, a D-xilose frequentemente interage com a L-arabinose, gerando ramificações estruturais nas cadeias de galactose. Essa interação não apenas potencializa a viscosidade, mas também confere à mucilagem um comportamento pseudoplástico, que a torna especialmente eficaz como modificador de viscosidade em sistemas aquosos [6].

Ademais, a D-galactose atua como unidade central das cadeias laterais, sendo indispensável para a formação de ramificações e para a criação de redes tridimensionais em soluções alcalinas, especialmente em presença de cátions como Ca^{2+}. Essa característica é crucial para o desempenho da mucilagem em aplicações que requerem propriedades estruturais e reológicas avançadas [29].

A L-ramnose, por sua vez, integra a estrutura linear da mucilagem em conjunto com o ácido galacturônico, estabelecendo ligações β(1→2). Essa conexão confere estabilidade mecânica ao composto, além de estar associada às regiões mais resistentes à degradação ácida, o que aumenta a durabilidade do material [26, 30].

Já os ácidos urônicos, com destaque para o ácido galacturônico, desempenham papel central na interação com moléculas de água e cátions divalentes, como o cálcio, promovendo a formação de redes estruturais complexas. Esse mecanismo é essencial para o processo de gelificação, especialmente em estruturas conhecidas como "caixa de ovo", que aumentam a rigidez e a funcionalidade do material [6, 29].

5.2 Avaliação da viabilidade da utilização da mucilagem como aditivo biopolimérico em compostos cimentícios

Ao analisar os estudos que investigaram o uso da mucilagem como aditivo biopolimérico em materiais cimentícios, identificados na revisão sistemática da literatura, constatou-se que a mucilagem de OFI apresentou resultados promissores. Um dos aspectos mais relevantes foi sua eficácia na redução da porosidade capilar em argamassas e concretos, aumentando a compacidade da matriz. Molina *et al.* [32] relataram uma redução significativa da porosidade efetiva, que reduziu cerca de 11% na amostra de controle para valores médios entre 4% e 8%, em substituições parciais da massa de água, a depender da concentração empregada. Esse efeito é crucial para melhorar a durabilidade dos materiais cimentícios.

Melhorias significativas na resistência à compressão foram observadas em diferentes pesquisas. Molina *et al.* [32] registraram aumentos de até 14% aos 90 dias, com ganhos mantidos por até 2145 dias. Da mesma forma, Maza [33] evidenciou incrementos de até 21% aos 28 dias com a adição de 1% de mucilagem, enquanto Oliveira [35] apontou aumentos de 11,18% e 12,88%, aos 28 dias, para substituições parciais de 30% e 50% da massa de água por mucilagem, respectivamente. Esses resultados destacam o impacto positivo da mucilagem na resistência mecânica de materiais cimentícios.

Outro ponto relevante é a melhoria da trabalhabilidade das misturas e da resistência à absorção de água. Chandra, Eklund e Villarreal [31] enfatizaram a melhora na plasticidade das misturas cimentícias com a adição de mucilagem, enquanto Hernandez, Cano-Barrita e Torres-Acosta [17] destacaram a capacidade de retenção de água promovida por esse aditivo. Essa retenção favorece uma hidratação mais eficiente do cimento, especialmente em misturas com alta relação água/cimento, ampliando a qualidade final do produto.

A mucilagem também demonstrou benefícios na hidratação prolongada e na formação de estruturas amorfas. Molina *et al.* [32] sugeriu que a liberação gradual de água pela mucilagem prolonga o processo de hidratação do cimento, promovendo a formação de cristais criptocristalinos ou amorfos. Essa propriedade contribui diretamente para a melhoria das características mecânicas e da durabilidade do material, reforçando a relevância desse aditivo.

Apesar dos avanços relatados, algumas limitações foram destacadas, como a dificuldade de padronização das concentrações de mucilagem. Molina *et al.* [32] e Maza [33] observaram variações nos resultados em função da concentração empregada, evidenciando a necessidade de otimização dos processos. Além disso, fatores como sazonalidade, idade da planta e método de extração impactaram a composição da mucilagem, gerando inconsistências nos resultados e reforçando a complexidade de seu uso. Tais variabilidades podem comprometer o desempenho dos compostos cimentícios, resultando em redução das propriedades mecânicas e aumento da porosidade do material, conforme relatado por Aquilina, Borg e Buhagiar [4] e Martinez-Molina [16].

Por fim, os estudos analisados ressaltam a complexidade química da mucilagem e a necessidade de compreender profundamente suas propriedades físico-químicas antes de sua aplicação em materiais cimentícios. Assim, torna-se indispensável investir em pesquisas que elucidem essas variáveis, garantindo uma aplicação eficiente e consistente da mucilagem como aditivo biopolimérico sustentável.

6. CONCLUSÃO

Este estudo apresentou uma análise abrangente sobre a viabilidade do uso da MOFI como aditivo biopolimérico em compostos cimentícios, considerando a variabilidade química dessa substância. A pesquisa destacou a relevância de explorar alternativas sustentáveis para a construção civil, em alinhamento com as demandas por práticas ambientalmente responsáveis e materiais de alta eficiência.

A L-arabinose e a D-xilose, assim como os ácidos urônicos, como o ácido galacturônico, contribuem para o aumento da viscosidade da mucilagem por meio da interação com água e íons. A D-galactose forma a estrutura central do heteropolissacarídeo e facilita interações com cátions, promovendo a formação de redes tridimensionais. Já a L-ramnose atua conferindo estabilidade mecânica ao composto. Essa análise evidencia o papel específico de cada componente na funcionalidade da mucilagem como aditivo em materiais cimentícios.

Socialmente, o uso dessa biomassa pode beneficiar regiões áridas e semiáridas, ao valorizar uma planta adaptada a essas condições. Ambientalmente, a substituição de aditivos petroquímicos por biopolímeros contribui para a redução do impacto ecológico.

Diante do exposto, conclui-se que a mucilagem de *Opuntia ficus-indica* apresenta elevado potencial como aditivo sustentável em materiais cimentícios, em virtude de suas propriedades químicas e estruturais que favorecem a modificação das características reológicas, o incremento da resistência mecânica, a redução da porosidade e o aumento da durabilidade. Entretanto, para garantir sua eficácia e reprodutibilidade em distintas aplicações industriais, torna-se imprescindível a compreensão e o controle das variáveis que influenciam sua composição e desempenho, assim como a superação de desafios relacionados à padronização das concentrações, à variabilidade inerente da matéria-prima e ao aumento do teor de sólidos presentes na mucilagem. Esses desafios reforçam a relevância de investigações contínuas para consolidar a MOFI como um aditivo biopolimérico confiável padronizado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

[1] FABBRI, A.; MOREL, J.C. E**arthen materials and constructions. Nonconventional and Vernacular Construction Materials**. Elsevier, 2016. p. 273–299.

[2] PACHECO-TORGAL, F. et al**. Eco-efficient concrete**. [S.l.]: Woodhead Publishing Limited, 2013.

[3] BRITO, G F et al. **Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 6, n. 2, p. 127–139, 2011.

[4] AQUILINA, A.; BORG, R. P.; BUHAGIAR, J. **The application of Natural Organic Additives in Concrete: Opuntia ficus-indica**. In: FIB Conference: Sustainable Concrete: Materials and Structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 442, p. 012016, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/442/1/012016>.

[5] SAENZ, C.; et al. **Utilización agroindustrial del nopal**. Boletin de servicios agricolas de la FAO, 2006. , p. 165.

[6] RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, Sarahi et al. **Extraction and characterization of mucilage from wild species of opuntia**. Journal of Food Process Engineering, v. 37, n. 3, p. 285–292, 2014.

[7] SOUZA, Geraldo Fábio Alves de. **Avaliação da utilização de aditivo biopolimérico extraído do cacto Opuntia ficus-indica em pastas e microconcretos de cimento Portland**. 2019. 125 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

[8] SOUZA, Geraldo Fábio Alves de; PEREIRA, Mara Monaliza Linhares; SILVA, Arthur Aviz Palma e; CAPUZZO, Valdirene Maria Silva; MACHADO, Fabrício. **Opuntia ficus-indica mucilage: a sustainable bio-additive for cementitious materials**. Construction and Building Materials, v. 456, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139254.

[9] RIBEIRO, Erika Maria de Oliveira et al. **Study of carbohydrates present in the cladodes of Opuntia ficus-indica (fodder palm), according to age and season**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 30, n. 4, p. 933–939, dez. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612010000400015&lng=en&nrm=iso&tlng=en>.

[10] CARRILLO, C. G. H.; GÓMEZ-CUASPUD, J. A.; MARTÍNEZ SUÁREZ, C. E. **Compositional, thermal and microstructural characterization of the Nopal (Opuntia ficus-indica), for addition in commercial cement mixtures**. Journal of Physics: Conference Series, v. 935, p. 012045, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/935/1/012045>.

[11] SOUZA FILHO, Pedro Ferreira De. **Palma forrageira (Opuntia ficus indica e Nopalea cochenillifera) como matéria-prima para produção de etanol celulósico e enzimas celulolíticas**. 2014. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.

[12] RAMÍREZ-MORENO, **Esther et al. Effect of boiling on nutritional, antioxidant and physicochemical characteristics in cladodes (Opuntia ficus indica).** LWT - Food Science and Technology, v. 51, n. 1, p. 296–302, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.005>.

[13] CHANDRA, S.; EKLUND, L.; VILLARREAL, R.R. **Use of Cactus in Mortars and Concrete. Cement and Concrete Research**, v. 28, n. 1, p. 41–51, jan. 1998. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008884697002548>.

[14] RAMÍREZ-ARELLANES, S et al. **Propiedades de durabilidad en concreto y análisis microestructural en pastas de cemento con adición de mucílago de nopal como aditivo natural**. Materiales de Construcción, qualis b1, v. 62, n. 307, p. 327–341, 30 set. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2012.00211>.

[15] LEÓN-MARTÍNEZ, F.M. M. et al. **Study of nopal mucilage and marine brown algae extract as viscosityenhancing admixtures for cement based materials**. Construction and Building Materials, v. 53, p. 190–202, fev. 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095006181301101X>.

[16] MARTINEZ-MOLINA, Wilfrido et al. **Cement-Based Materials Enhanced Durability from Opuntia Ficus Indica Mucilage Additions**. ACI Materials Journal, v. 112, n. 1, p. 165–172, fev. 2015. Disponível em: <http://www.concrete.org/Publications/InternationalConcreteAbstractsPortal.aspx?m=details&i=51687225>.

[17] HERNÁNDEZ, E F; CANO-BARRITA, P. F. De J.; TORRES-ACOSTA, A. A. **Influence of cactus mucilage and marine brown algae extract on the compressive strength and durability of concrete**. Materiales de Construcción, v. 66, n. 321, p. 14, 30 mar. 2016. Disponível em: http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1975/2408>.

[18] HERNÁNDEZ, E.F.; PEREA, H. Pfeiffer; BARRITA, P.F. de J. Cano. **Influence of Cactus Mucilage and Brown Seaweed Extract on the Degree of Hydration of Ordinary Portland Cement Pastes**. Nexo - Revista Cientifica, v. 30, n. 02, p. 73–83, 2017.

[19] DURÁN-HERRERA, A. et al. **Opuntia Ficus Indica Mucilage (OFIM) as internal curing enhancer in self consolidating concrete**. Romanian Journal of Materials, v. 47, n. 4, p. 532–540, 2017.

[20] GIBSON, C.A. and NOBEL, S.P. 1990. **Special chemicals. In The Cactus Primer** pp. 198–199, First Harvard University Press, Cambridge, MA.

[21] SAÉNZ, Carmen; SEPÚLVEDA, Elena; MATSUHIRO, Betty. **Opuntia spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. Journal of Arid Environment**s, v. 57, p. 275–290, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00106-X.

[22] MAJDOUB, H. **Prickly pear nopals pectin from Opuntia ®cus-indica physico-chemical study in dilute and semi-dilute solutions**. Carbohydrate Polymers, 2001. PII: S0144-8617(00)00284-8.

[23] MEDINA-TORRES, L.; BRITO-DE LA FUENTE, E.; TORRESTIANA-SANCHEZ, B.; KATTHAIN, R. **Rheological properties of the mucilage gum (Opuntia ficus indica).** Food Hydrocolloids, v. 14, p. 417-424, 2000. DOI: 10.1016/S0268-005X(00)00015-1.

[24] TRACHTENBERG, S.; MAYER, A. M. **Composition and properties of Opuntia ficus-indica mucilage**. Phytochemistry, v. 20, n. 12, p. 2665-2668, 1981. DOI: 10.1016/0031-9422(81)85106-5.

[25] AFZAL, M.; SHAFIQ, M. T.; JASSMI, H. A. **Improving construction safety with virtual-design construction technologies –a review**. Journal of Information Technology in Construction, v. 26, p. 319–340, 20 jul. 2021.

[26] MCGARVIE, D.; PAROLIS, H. **Methylation analysis of the mucilage of Opuntia ficus-indica**. Carbohydrate Research, v. 88, p. 305-313, 1981. DOI: 10.1016/S0008-6215(00)85543-3.

[27] VAN ROOYEN, B.; DE WIT, M.; OSTHOFF, G.; VAN NIEKERK, J. **Cactus Pear Mucilage (Opuntia spp.) as a Novel Functional Biopolymer: Mucilage Extraction, Rheology and Biofilm Development**. Polymers, v. 16, n. 1993, p. 1–15, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/polym16141993.

[28] GOYCOOLEA, Francisco M.; CÁRDENAS, Adriana. **Pectins from Opuntia spp.: A short review**. Journal of the Professional Association for Cactus Development, v. 5, p. 17–29, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228769966.

[29] RODRIGUEZ-NAVARRO, Carlos; RUIZ-AGUDO, Encarnacion; BURGOS-CARA, Alejandro; ELERT, Kerstin; HANSEN, Eric F. **Crystallization and colloidal stabilization of Ca(OH)2 in the presence of nopal juice (Opuntia ficus indica): Implications in architectural heritage conservation**. Langmuir, v. 33, p. 10936–10950, 2017. DOI: 10.1021/acs.langmuir.7b02423.

[30] CÁRDENAS, Adriana; GOYCOOLEA, Francisco M.; RINAUDO, Marguerite. **On the gelling behaviour of "nopal" (Opuntia ficus indica) low methoxyl pectin.** Carbohydrate Polymers, v. 73, p. 212–222, 2008. DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.11.017.

[31] CHANDRA, S.; EKLUND, L.; VILLARREAL, R. **Use of cactus in mortars and concrete.** Cement and Concrete Research, v. 28, n. 1, p. 41–51, 1998. DOI: S0008-8846(97)00254-8(1-s2.0-S000888469700254…).

[32] MARTINEZ MOLINA, Wilfrido; TORRES-ACOSTA, Andres Antonio; ALONSO-GUZMAN, Elia M. **Cement-based materials enhanced durability from Opuntia ficus indica mucilage additions.** ACI Materials Journal, Jan. 2014. DOI: 10.14359/51687225(ACIMaterialsJournalCeme…).

[33] HUERTA MAZA, Max Anderson. **Uso del extracto del mucilago del cactus como aditivo y su influencia en la consistencia y en la resistencia a la compresión del concreto**. 2020. Tese (Doutorado) – Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima(HUERTA MAZA MAX ANDERSO…).

[34] COSTA, Ada Catarina Soares de Sena. **Utilização de aditivos à base de cacto em argamassa de cimento Portland**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN(UTILIZAÇÃO-DE-ADITIVOS-…).

[35] MACÊDO DE OLIVEIRA, Helen Carolline. **Incorporação da mucilagem de palma forrageira na elaboração de argamassa cimento Portland.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2018.

[36] MATSUHIRO, B., LILLO, E.L., SÁENZ, C., URZÚZA, C.C. and ZÁRATE, O. 2006. **Chemical characterization of mucilage from fruits of Opuntia ficus-indica**. Carbohydr. Polym. 63, 263–267.

[37] GINESTRA, G., PARKER, L.M., BENNETT, N.R., ROBERTSON, J., MANDALARI, G., NARBAD, A., LO CURTO, B.R., BISIGNANO, G., FAULDS, B.C. and WALDRON, W.K. 2009. **Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [Opuntia ficus-indica (L.) Mill**]. J. Agric. Food Chem. 57, 10323–10330.

[38] RIBEIRO, E.M.O., SILVA, N.H., LIMA, F.J.L., BRITO, J.Z. and SILVA, M.P.C. 2010. **Study of carbohydrates present in the cladodes of Opuntia ficus-indica (fodder palm), according to age and season.** Ciência Tecnol. Alim. 30, 933–939.

[39] SAENZ, C., SEPÚLVEDA, E., 1993. **Alternativas de industrialización de la tuna (Opuntia ficus indica).** Alimentos 18 (3), 29–32.

[40] SÁENZ, C., VÁSQUEZ, M., TRUMPER, S., FLUXÁ, C., 1992. **Extracción y composición química de mucílago de tuna (Opuntia ficus indica).** Actas: II Congreso Internacional de la tuna y cochinilla. Santiago, Chile, pp. 93–96.

[41] SAAG, K.M.L., SANDERSON, G., MOYNA, P., RAMOS, G., 1975. **Cactaceae mucilage composition**. Journal of the Science of Food and Agriculture 26, 993–1000.

[42] PAULSEN, B.S., LUND, P.S., 1979. **Water-soluble polysaccharides of Opuntia ficus indica cv ‘‘Burbank’s spineless’’**. Phytochemistry 18, 569–571.

[43] SRIVASTAVA, B.K., PANDE, C.S., 1974. **Arabinogalactan from pods of Opuntia dillenii**. Planta Medica 25, 92–97.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-2

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

ANÁLISE DA ESTRUTURA DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO POR CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

SILVA, João Paulo de Jesus da[1]; ALTOÉ, Silvia Paula Sossai[2]

[1] Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, Brasil, pg404637@uem.br, https://orcid.org/0009-0008-7417-0009
[2] Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, Brasil, spsaltoe@uem.br, https://orcid.org/0000-0002-4098-4257

RESUMO

Nos últimos anos tem se intensificado a busca por soluções sustentáveis na construção civil, promovendo o desenvolvimento de novas abordagens construtivas, metodologias e materiais com menor impacto ambiental. No Brasil, a cana-de-açúcar representa um dos principais pilares do agronegócio e, como em outros setores industriais, sua cadeia produtiva gera uma quantidade significativa de resíduos. Quando descartados de forma inadequada, esses resíduos podem causar sérios danos ao meio ambiente e à sociedade. Este estudo tem como objetivo investigar a viabilidade do aproveitamento das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (ACBC) como substituto parcial da areia natural no concreto. Para isso, foram moldados corpos de prova com teores de substituição de 10%, 15%, 20%, 25% e 30% de ACBC, visando à realização de ensaios de abatimento de tronco de cone, resistência à compressão e módulo de elasticidade. Os rompimentos foram realizados aos 28 e 91 dias. Os resultados indicaram que a amostra com 25% de substituição apresentou o melhor desempenho global nos ensaios realizados. Com base nesses resultados, conclui-se que a utilização das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo representa uma alternativa tecnicamente viável e economicamente atrativa para a produção de concretos mais sustentáveis.

Palavras-chave: Concreto; Sustentabilidade; Cinza de bagaço de cana-de-açúcar; Materiais alternativos.

ABSTRACT

In recent years, the quest for sustainable solutions in construction has intensified, driving the development of new construction approaches, methodologies, and materials with lower environmental impact. In Brazil, sugarcane represents a cornerstone of agribusiness, and similar to other industrial sectors, its production chain generates a significant amount of waste. When improperly disposed of, these residues can cause serious harm to the environment and society. This study aims to investigate the feasibility of utilizing sugarcane bagasse ash (SBA) as a partial replacement for natural sand in concrete. To achieve this, test specimens were cast with replacement levels of 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% of SBA, and subjected to slump, compressive strength, and modulus of elasticity tests. Testing was conducted at 28 and 91 days. Results indicated that the sample with 25% replacement exhibited the best overall performance in the conducted tests. Based on these findings, it is concluded that the use of sugarcane bagasse ash as a fine aggregate substitute represents a technically viable and economically attractive alternative for producing more sustainable concretes.
Keywords: Concrete; Sustainability; Sugarcane bagasse ash; Alternative materials.

1. INTRODUÇÃO

O concreto, um dos materiais mais essenciais na engenharia, está constantemente evoluindo. Uma das inovações recentes inclui o uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Estudos recentes têm explorado análises e pesquisas utilizando esse material, não apenas visando impactos ambientais positivos, mas também buscando novas aplicações na construção civil. Como parte do processo industrial, a produção de cana-de-açúcar gera uma quantidade significativa de resíduos, como o bagaço, que normalmente é queimado em caldeiras para geração de calor e energia nas usinas. A transformação desse bagaço em cinza de bagaço de cana (CBC) apresenta desafios para os gestores de planta no descarte sustentável desses resíduos. [1]

Diante das crescentes demandas sociais por práticas ambientalmente responsáveis, o governo brasileiro estabeleceu o princípio da responsabilidade compartilhada na gestão de resíduos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010, tem como diretriz principal a redução e a prevenção da geração de resíduos. A legislação incentiva o uso de tecnologias limpas, a reutilização, a reciclagem e a destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos. Isso porque o descarte inadequado contribui para a poluição, sobrecarrega os aterros sanitários e eleva os custos do processo produtivo [2].

A cinza de bagaço de cana (CBC) também tem sido investigada como substituto parcial do agregado miúdo em argamassas e concretos, representando uma alternativa para agregar valor a esse resíduo e, ao mesmo tempo, reduzir a demanda por areia natural, cuja extração causa impactos ambientais significativos [3]. A resistência à compressão é um dos principais indicadores da qualidade do concreto, diretamente relacionada à sua segurança e estabilidade estrutural. Estudos demonstram que a incorporação da CBC pode contribuir positivamente para esse parâmetro. Resultados indicam que a proporção entre os agregados e a cinza ou fibras influência de maneira expressiva a resistência final do material [4].

2. METODOLOGIA

2.1. Areia de Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar

As cinzas foram coletadas no pátio da usina, nas proximidades das esteiras da caldeira. Em seguida, foram submetidas a um processo de secagem em estufa a 100 °C por um período de 24 horas, conforme ilustrado na Figura 1(a), com o objetivo de remover a umidade antes da etapa de separação das impurezas. Após a secagem, as cinzas foram peneiradas manualmente utilizando peneira de malha quadrada com abertura de 4,8 mm, conforme mostrado na Figura 1(b) como ficou. A determinação da massa específica das cinzas peneiradas foi realizada de acordo com os procedimentos estabelecidos na NBR 16605 (ABNT, 2017) [5].

a)  b) 

Figura 1 – a) Cinza seca sem peneirar; b) Cinza seca e já peneirada.

2.2. Areia natural

A areia média empregada como agregado miúdo foi obtida por meio de fornecedores locais da região de Maringá e permaneceu armazenada em área específica destinada a pesquisas no Laboratório da Universidade, situado no Bloco P02.

A análise preliminar indicou que o material possui origem quartzítica. Para a sua caracterização, foram conduzidos ensaios detalhados de distribuição granulométrica, densidade e massa unitária, conforme os procedimentos prescritos pelas normas técnicas vigentes.

2.3. Composição dos traços de concreto

As amostras foram moldadas conforme as diretrizes da ABNT NBR 5738:2015, apresentando dimensões de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura. Após a moldagem, permaneceram nas formas por um período de 24 horas para assegurar a desmoldagem adequada. Em seguida, foram devidamente identificadas e transferidas para uma câmara úmida, onde permaneceram por 28 dias sob condições controladas até a realização dos ensaios. Durante esse período, as amostras foram armazenadas em temperatura ambiente de aproximadamente 23 ± 2 °C.

O cimento utilizado foi o CP V ARI, da marca CAUÊ, escolhido por ser isento de adições e conter apenas os componentes usuais do cimento Portland. O agregado graúdo empregado foi a brita 1, adquirida na região de Maringá, com granulometria entre 5 e 19 mm. A caracterização preliminar do material foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá. A Tabela 1 apresenta os traços utilizados na confecção dos corpos de prova, com base no traço inicial (0%) como referência comparativa nos ensaios.

Tabela 1 – Quantitativo de material para produção dos corpos de prova.

Traço	Cimento (kg)	ACBC (kg)	Brita (kg)	Areia (kg)	Água (kg)	Fator a/c
0%	1,00	0,00	2,72	1,96	0,62	0,55
10%	1,00	0,20	2,72	1,76	0,62	0,55
15%	1,00	0,29	2,72	1,67	0,62	0,55
20%	1,00	0,39	2,72	1,57	0,62	0,55
25%	1,00	0,49	2,72	1,47	0,62	0,55
30%	1,00	0,59	2,72	1,37	0,62	0,55

Fonte: Autor (2025).

2.4. Abatimento de Cone

Conforme as orientações da ABNT NBR 16889 [6], o ensaio é realizado com a inserção de concreto em 3 (três) camadas de mesma altura no tronco de cone. Dessa forma, em cada uma dessas camadas são aplicados 25 golpes com uma haste padrão, sendo, ao final, realizada a desforma removendo o cone no sentido para cima. Em seguida, o cone é levantado e posicionado ao lado do concreto. Utilizando uma barra sobre o cone e uma régua, mede-se a quantidade de milímetros que o concreto abaixou. Esse valor é conhecido como abatimento, ou slump. Conforme apresentado na Figura 3.

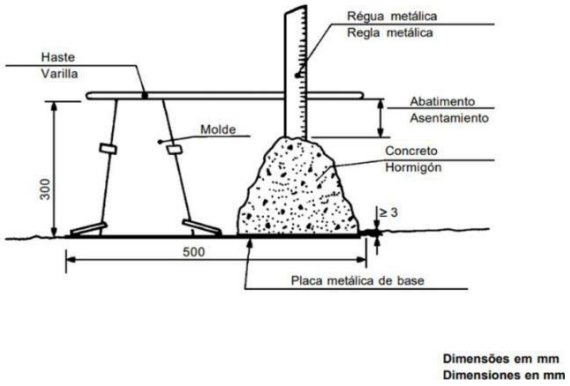


Figura 3 – ABNT NBR 16889 [6].

2.5. Absorção de água

A determinação da absorção de água é realizada a partir da análise do aumento de massa de uma amostra de concreto previamente seca em estufa, após ser submersa em água por 24 horas, desconsiderando-se a água retida na superfície. A absorção é expressa em percentual, sendo calculada pela razão entre o ganho de massa e a massa seca inicial, conforme estabelecido pela ABNT NBR 9778:2009 [14]. O cálculo de absorção de água por imersão pode ser realizado utilizando a Equação 1.

$$A = \left(\frac{Msat - Ms}{Ms}\right) . 100 \quad (1)$$

Onde:
A = absorção de água por imersão (%);
Msat = massa saturada (g);
Ms = massa sec (g).

O cálculo do índice de vazios é realizado conforme a Equação 2 apresentada a seguir, a fim de determinar os valores correspondentes.

$$Iv = \left(\frac{Msat - Ms}{Msat - Mim}\right) . 100 \quad (2)$$

Onde:
Iv = Índice de vazios (%);
Msat = massa saturada (g);
Ms = massa seca (g);
Mim = massa imersa (g).

2.6. Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi conduzido conforme os procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 5739 [7]. A Figura 4 apresenta a prensa hidráulica utilizada nos testes. Para cada traço de concreto definido no estudo, foram moldados seis corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10 x 20 cm, totalizando 72 unidades. Os ensaios foram realizados em dois períodos distintos de cura: aos 28 e aos 91 dias, permitindo a análise do desenvolvimento da resistência mecânica ao longo do tempo.



Figura 4 – Prensa utilizada para ensaio de resistência à compressão.

O ensaio de resistência à compressão é fundamental para avaliar a capacidade do concreto de suportar cargas, sendo um dos principais indicadores de sua qualidade, segurança e desempenho estrutural. Ele é amplamente utilizado para verificar se o material atende aos requisitos normativos e às exigências do projeto.

2.7. Módulo de Elasticidade

No contexto brasileiro, ainda não existe uma norma específica que estabeleça os procedimentos para a determinação direta do módulo de elasticidade dinâmico do concreto. Contudo, a ABNT NBR 8802:2019 [8] fornece diretrizes para a realização de ensaios não destrutivos baseados na medição da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais em componentes de concreto.
Essa norma tem como foco principal a avaliação da homogeneidade do material, sendo também amplamente utilizada para identificar falhas internas de concretagem, estimar a profundidade de fissuras e detectar outras imperfeições estruturais. Além disso, permite o monitoramento de alterações nas propriedades do concreto ao longo do tempo, especialmente em ambientes agressivos, como aqueles sujeitos a ataques químicos, com destaque para a ação de íons sulfato.
Embora não tenha como objetivo direto a determinação do módulo dinâmico, a metodologia descrita pela NBR 8802:2019 [8] fornece dados fundamentais que, quando combinados com propriedades físicas do material, podem ser utilizados para estimativas confiáveis desse parâmetro, contribuindo significativamente para o diagnóstico e o acompanhamento do desempenho estrutural do concreto em serviço. Na Figura 5, temos o equipamento utilizado para o desenvolvimento do ensaio.

Tabela 2 – Classificação relacionando a velocidade de onda do ultrassom com a qualidade do concreto.

Velocidade da Onda Ultra-sônica	Qualidade do Concreto
V > 4500	Excelente
3500 < V < 4500	Ótimo
3000 < V < 3500	Bom
2000 < V < 3000	Regular
V < 2000	Ruim

Fonte: Classificação do ensaio (9).



Figura 5 – Equipamento utilizado para o ensaio do módulo de elasticidade - Autor (2024).

Abaixo temos a equação utilizada para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico.

Equação:

$$Ed = \rho V^2 . \frac{(1+\mu).(1-2\mu)}{(1-\mu)} \quad (3)$$

Onde:
Ed = módulo de elasticidade dinâmico (MPa);
ρ = massa específica (kg/m³);
V = velocidade (km/s);
μ = coeficiente de Poisson.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização do agregado miúdo utilizado (areia natural)

A Tabela 3 apresenta a caracterização do agregado miúdo, realizada conforme as normas ABNT NBR 17054:2022, ABNT NBR 16972:2021 e ABNT NBR 16916:2021. A Figura 6 exibe a curva granulométrica correspondente ao mesmo material, que foi parcialmente substituído pela cinza do bagaço de cana-de-açúcar na composição do concreto.

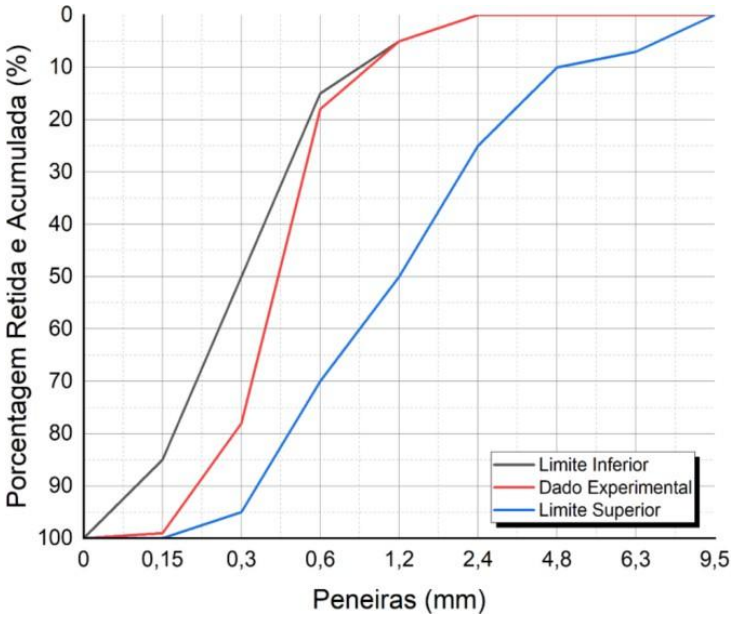


Figura 6 – Ensaio de granulometria a laser da ACBC.

Tabela 3 – Caracterização do Agregado Miúdo.

Características	Unidade	Resultados
Massa Específica	g/cm³	2,636
Massa Unitária no Estado Solto	g/cm³	1,520
Diâmetro Máximo Característico	mm	1,200
Módulo de finura	-	2,00

Fonte: Autor (2025).

3.2. Caracterização da areia de cinza do bagaço de cana-de-açúcar (ACBC)

Embora não existam normas brasileiras específicas para o ensaio de granulometria por difração a laser, as análises foram conduzidas com base nas diretrizes da norma ABNT NBR ISO 13320:2022 [9]. O procedimento adotado para determinar o tamanho das partículas das cinzas foi o ensaio de granulometria utilizando a técnica de difração a laser.

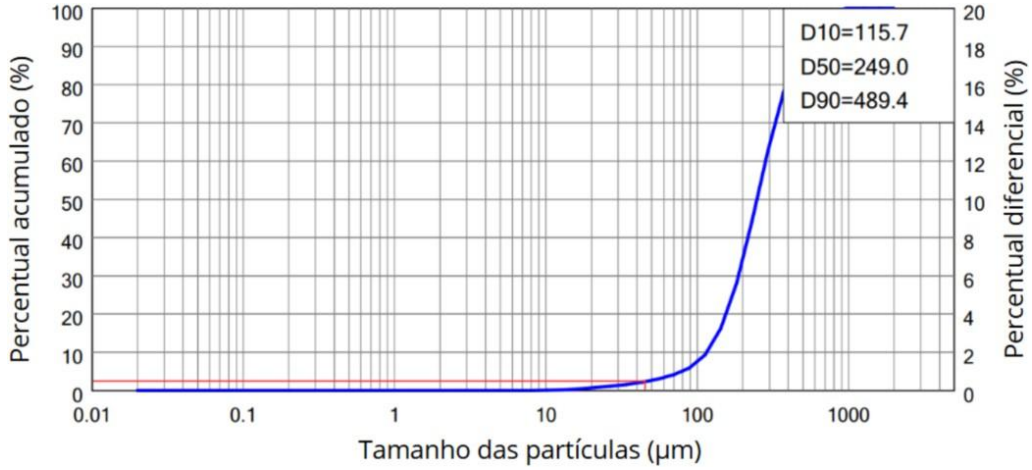


Figura 7 – Ensaio de granulometria a laser da ACBC.

A comparação entre a distribuição granulométrica da areia da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (ACBC), obtida por difração a laser (Figura 7), e do agregado miúdo (areia natural), obtida por peneiramento (Figura 6), indica diferenças relevantes no tamanho das partículas.
A ACBC apresenta diâmetro médio (D50) de 249 µm, com D10 e D90 de 115,7 µm e 489,4 µm, respectivamente. Embora esse valor seja superior ao recomendado para materiais com potencial pozolânico, os dados mostram que a ACBC possui partículas significativamente mais finas que o agregado miúdo convencional, cuja distribuição está majoritariamente entre 300 µm e 4,8 mm. Assim, é possível observar que a granulometria da ACBC pode favorecer o empacotamento de partículas na matriz do concreto.

3.3. Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone

A Figura 8 apresenta a execução do ensaio de abatimento do tronco de cone, realizado com o objetivo de avaliar a trabalhabilidade do concreto fresco, conforme os procedimentos estabelecidos pelas normas técnicas vigentes.



Figura 8 – Ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*).

Procedeu-se à moldagem dos corpos de prova, em meio a variações de temperatura e clima. Essas oscilações possivelmente influenciaram o ensaio de consistência, refletindo-se no abatimento do tronco de cone. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Traço	Fator a/c	Slump test (cm)	Temperatura e Data	Condição do clima
T0 (0%)	0,55	13	32 °C – 17/11/2023	Sol
T10 (10%)	0,55	13	31 °C – 22/11/2023	Chuva
T15 (15%)	0,55	15	28 °C – 11/12/2023	Sol
T20 (20%)	0,55	10	30 °C – 18/12/2023	Sol
T25 (25%)	0,55	7	32 °C – 21/12/2023	Sol
T30 (30%)	0,55	6,5	33 °C – 27/12/2023	Sol

Uma observação importante durante a moldagem dos corpos de prova, no que diz respeito a absorção de umidade ou água pelo resíduo, pode ser notado que com o aumento da substituição, na realização do slump test era perceptível o aumento da consistência, como é possível observar a diminuição do abatimento encontrado para cada traço.

3.4. Absorção de água e determinação do índice de vazios

O ensaio de absorção de água foi realizado em três corpos de prova de cada traço, aos 28 dias de idade, conforme os procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 9778:2009 [14]. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para cada traço avaliado.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de absorção.

Traço	Absorção de água por imersão média (%)	Índice de vazio médios (%)
T0 (0%)	6,29	14,25
T10 (10%)	6,42	14,93
T15 (15%)	6,37	14,53
T20 (20%)	6,57	14,96
T25 (25%)	6,43	14,90
T30 (30%)	6,45	15,01

Os resultados apresentados na Tabela 4 indicam que todos os traços, inclusive aqueles com substituição parcial do agregado miúdo por areia de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (ACBC), apresentaram valores médios de absorção de água por imersão inferiores ao limite de 10% estabelecido pela ABNT NBR 6136:2006 [15]. Esse desempenho demonstra a conformidade dos concretos quanto à exigência normativa relacionada à durabilidade.
Conforme observado no estudo conduzido por Bento et al. (2022), em que foi adotada a substituição de 25% do agregado miúdo por ACBC, foi registrada uma absorção média de 5,8%. Os autores destacam que a utilização da ACBC contribui para a redução da porosidade no concreto.

3.5. Ensaio de Módulo de Elasticidade

Por se tratar de um ensaio não destrutivo, o teste de Velocidade de Propagação de Ultrassom (VPU) foi realizado nos mesmos corpos de prova utilizados nos ensaios de compressão, aos 28 dias de idade. Essa abordagem permitiu uma análise complementar das propriedades mecânicas e da integridade interna dos materiais sem comprometer sua estrutura. Os resultados obtidos por meio do ensaio de VPU são apresentados na Tabela 4, contribuindo para uma avaliação mais abrangente do desempenho dos diferentes traços analisados.

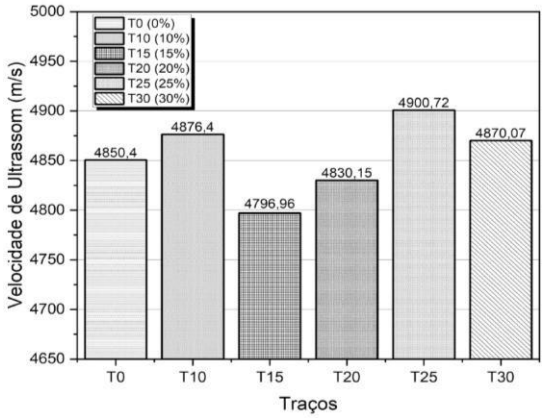


Figura 9 – Gráfico do ensaio de Velocidade de Ultrassom.

A partir dos cálculos realizados com base na equação (3), foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 5. Observa-se uma coerência significativa entre os valores estimados e os dados experimentais de resistência à compressão aos 28 dias de cura. Dentre os traços avaliados, aquele com 25% de substituição por cinza de bagaço de cana-de-açúcar destacou-se por apresentar o melhor desempenho em ambos os critérios, reforçando sua eficácia tanto do ponto de vista teórico quanto prático.

Tabela 5 – Módulo de elasticidade dinâmico.

Traços	Ultrassom Ed (GPa)
T0 (0%)	48,528
T10 (10%)	49,784
T15 (15%)	47,266
T20 (20%)	47,772
T25 (25%)	50,113
T30 (30%)	49,640

Resultados semelhantes foram obtidos por Nascimento (2016), que, ao analisar traços com substituição de 20% e 40% do agregado miúdo, identificou tendência comparável. No traço com 40% de substituição, foram registrados um módulo de elasticidade dinâmico de 41,27 GPa e resistência à compressão de 41,8 MPa.

3.6. Ensaio de Resistência à Compressão

A Figura 10 apresenta um dos corpos de prova após a realização do ensaio de resistência à compressão. É possível observar as fissuras e o padrão de fratura característico desse tipo de solicitação, evidenciando o comportamento mecânico do material frente às cargas aplicadas.



Figura 10 – Ensaio de resistência à compressão.

Para a determinação da resistência à compressão foram ensaiados 6 corpos de prova para cada traço com as idades de 28 e 91 dias. Na Tabela 6 é apresentado para a idade de 28 dias.

Tabela 6 – Resistência à compressão média e característica 28 dias.

Traços	*fcm* (MPa)	*fck* (MPa)	Variação de resistência em relação ao traço piloto (%)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
T0 (0%)	30,93	29,36	Piloto	0,95	0,55
T10 (10%)	32,15	29,14	3,96	1,83	1,06
T15 (15%)	30,44	26,72	-1,58	2,25	1,31
T20 (20%)	33,09	30,13	7,00	1,79	1,04
T25 (25%)	37,09	33,78	19,93	2,01	1,17
T30 (30%)	37,54	35,11	21,38	1,47	0,86

Pode-se constatar que as resistências médias com o concreto de fator a/c 0,55 apresentaram bons resultados, e mesmo com uma alta substituição de 30% de areia pela ACBC, sua resistência apresentou o maior desempenho médio de resistência à compressão entre os analisados, sendo superior de 37,54 MPa em quanto o piloto apresentou uma resistência média de 30,93 MPa, um aumento de 21,37%. Na tabela 7 a seguir é apresentado para a idade de 28 dias.

Tabela 7 – Resistência à compressão média e característica 91 dias.

Traços	*fcm* (MPa)	*fck* (MPa)	Variação de resistência em relação ao traço piloto (%)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
T0 (0%)	38,29	34,75	Piloto	2,15	0,95
T10 (10%)	42,15	39,89	12,49	1,37	0,61
T15 (15%)	39,12	33,90	2,70	3,17	1,40
T20 (20%)	34,14	31,58	-13,42	1,55	0,69
T25 (25%)	37,45	36,53	-2,72	1,26	0,56
T30 (30%)	36,70	30,01	-5,14	4,06	1,80

A Figura 11 mostra que os traços com menor teor de ACBC apresentaram maior resistência à compressão aos 91 dias. De maneira geral, todos os traços atingiram ou superaram os valores de referência esperados para a idade, indicando que a substituição parcial do agregado miúdo pela ACBC não comprometeu o desempenho mecânico do concreto.

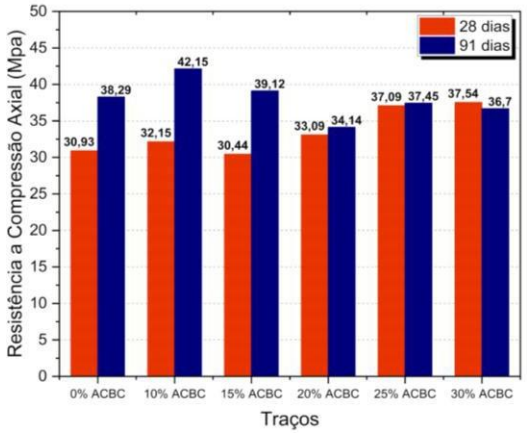


Figura 11 – Gráfico de comparação com as duas idades do ensaio de resistência à compressão.

No estudo conduzido por Moretti [10], foi analisada a influência da substituição parcial do agregado miúdo por cinza de bagaço de cana-de-açúcar calcinada (ACBC) na produção de argamassas, com avaliações realizadas aos 91 dias de cura.

Os resultados obtidos para a resistência à compressão dos traços contendo 10%, 20%, 30% e 40% de ACBC foram, respectivamente, 53,50 MPa, 54,60 MPa, 53,43 MPa e 56,97 MPa. Já Criado et al. (2024), por exemplo, alcançaram resistência à compressão de 42,50 MPa aos 28 dias em traços contendo 20% de substituição do agregado miúdo pela cinza.

Esses dados indicam que, nessa pesquisa específica, a incorporação da ACBC manteve ou até melhorou o desempenho mecânico do material em alguns teores de substituição. Embora os resultados apresentados por Moretti reforcem o potencial técnico da ACBC, é importante ressaltar que novas investigações são necessárias para confirmar sua eficácia em diferentes composições e contextos, especialmente em relação aos concretos estudados neste trabalho.

Com base nas Tabelas 4, 6 e 7, nota-se que a substituição parcial da areia por ACBC resultou em um discreto aumento na absorção de água por imersão, enquanto as resistências à compressão apresentaram incrementos significativos aos 28 e 91 dias, especialmente nos traços com 25% e 30% de substituição.

Esse comportamento pode estar associado a características da ACBC, como sua superfície rugosa e porosa, bem como à forma e distribuição das partículas, que podem contribuir para a retenção de água nos poros do compósito, mesmo diante de um empacotamento mais denso favorecido pela granulometria mais fina do material.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo avaliou os efeitos da adição de ACBC calcinada em concretos, por meio de uma série de ensaios experimentais aplicados tanto no estado fresco, utilizando o ensaio de abatimento de tronco de cone (slump test), quanto no estado endurecido, com foco na resistência à compressão e no módulo de elasticidade. Com base nos resultados obtidos, foi possível identificar os seguintes pontos:

- A incorporação da ACBC resultou na redução do abatimento, indicando menor trabalhabilidade do concreto fresco;
- Todos os traços avaliados atingiram a resistência mínima exigida por norma, de 30 MPa;
- O concreto com 25% de substituição por ACBC apresentou desempenho superior em termos de resistência à compressão quando comparado ao traço de referência;
- Verificou-se um comportamento evolutivo da resistência mecânica com o aumento do teor de ACBC: inicialmente houve uma queda na resistência, mas a partir de 10% de substituição, os valores começaram a se elevar;
- Os traços com 25% e 30% de ACBC mostraram valores de módulo de elasticidade superior ao do concreto convencional;
- A substituição parcial da areia natural por ACBC demonstrou ser promissora, especialmente devido à alta finura do material, que contribui para uma matriz cimentícia mais densa, favorecendo tanto a resistência quanto o módulo de elasticidade do concreto.
- Sugere-se, em estudos futuros, a realização de ensaios específicos de durabilidade que avaliem a eficácia da areia de cinza do bagaço de cana-de-açúcar (ACBC) na proteção das armaduras, bem como sua resistência a agentes químicos agressivos, a fim de validar seu uso como substituto da areia natural em aplicações estruturais, sem comprometer o desempenho a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PCV), em especial à minha orientadora, por sua valiosa orientação e apoio ao longo da pesquisa. Agradeço também aos técnicos e colegas de laboratório pela colaboração durante os ensaios. Por fim, minha gratidão à minha esposa Izabela e à minha mãe Genilda, pelo apoio incondicional em todas as etapas até aqui.

REFERÊNCIAS

[1] NETO, A. A. F. et al. Utilização das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) como aditivo natural no creto estrutural. **RECIEC - Revista Científica de Engenharia Civil**, v. 5, n. 01, p. 82–96, 30 jun. 2022.

[2] **ROCHA, L. R. C.** *Influência das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar no concreto e na água de poro: efeito das moléculas 2,3-bis(1H-benzo[d][1,2,3]triazol-1-il)naftaleno-1,4-diona e 2,3-di(1H-pirazol-1-il)naftaleno-1,4-diona para a proteção do aço CA-50 contra corrosão em meio de água de poros sintéticas aditivas de íons cloreto*. 2020.

Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2020..

[3] SECCHI, M.; NEVES JUNIOR, A. **Adição de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar em compósitos cimentícios reforçados com fibras de sisal**. Cuiabá-MT: Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), 2018.

[4] MEDEIROS, W. A. **Comportamento de blocos estruturais de concreto com diferentes agregados sob altas temperaturas.** 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022

[5] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** ABNT NBR 16605:2017: *Amostragem de resíduos sólidos – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br. Acesso em: 30 jul. 2025.

[6] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. ABNT NBR 16889:2020**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br. Acesso em: 12 abr. 2025.

[7] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** ABNT NBR 5739:2018: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br. Acesso em: 12 abr. 2025.

[8] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**. ABNT NBR 8802:2019: *Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica.* Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br. Acesso em: 30 jan. 2025.

[9] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.** ABNT NBR ISO 13320:2022: *partículas em suspensão em líquidos – Análise do tamanho de partículas por difração de luz a laser*. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br. Acesso em: 29 maio. 2025.

[10] NASCIMENTO, M. da C. A. do. Utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) em substituição parcial ao agregado miúdo em concreto não estrutural. Recife, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco.

[11] **VALIN JÚNIOR, M. de O. et al.** Aplicação de ensaios não destrutivos de concreto para avaliação estrutural da fundação de torre de linha de transmissão. Engineering and Science, v. 6, n. 2, p. 46–59, nov. 2017.

[12] **MORETTI, Juliana Petermann**. Incorporação de resíduo agroindustrial em matrizes cimentícias. 2018. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

[13] **BENTO, A. J. et al.** Estudo da capacidade de proteção da cinza do bagaço da cana-deaçúcar, em relação à corrosão de armadura sob a ação de íons cloreto. Research, Society and Development, v. 11, n. 8, p. e47311822112, 20 jun. 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.28923.

[14] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**. ABNT NBR 9778:2009: Concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br. Acesso em: 12 abr. 2025.

[15] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**. ABNT NBR 6136:2006: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br. Acesso em: 12 abr. 2025.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-1

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE DE ADITIVOS PLASTIFICANTES PARA ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

FERREIRA, Cintia; SILVA, Evandro; COSTA, Gustavo; PAES, Isaura; QUEIROZ, Luciana.

Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, cintia.ferreira@itec.ufpa.br, n° do ORCID: 0009-0003-0337-047X
Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, evandro.junior@itec.ufpa.br, n° do ORCID: 0009-0005-5001-1167
Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, gustavo.silva.costa@itec.ufpa.br, n° do ORCID: 0009-0000-0375-3380
Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, isaurapaes@ufpa.br, n° do ORCID: 0000-0003-1781-1689
Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, luciana.queiroz@ufpa.br, n° do ORCID: 0000-0002-1285-5271

RESUMO

A utilização de cal na produção de argamassas de revestimento promove melhorias quanto a sua plasticidade, no entanto em regiões onde esse material não é acessível, são utilizados como alternativa aditivos plastificantes que garantem comportamento similar. Dessa forma, esse trabalho teve por objetivo compatibilizar três aditivos plastificantes comumente utilizados na região Norte do Brasil, sendo dois com base de formulações naturais e um com base surfactantes com diferentes cimentos, sendo estes: CPII E, CPII F, CPII Z e CP IV, todos de classe de resistência de 32 MPa. Para tanto foram produzidas argamassas com relação a/c de 0,85 com aditivo dosado com a indicação do fabricante. Para análise de compatibilidade do cimento com os ativos, foram produzidas pastas de cimento e foi realizado o ensaio de mini abatimento ao longo do tempo de 5, 15 e 30 minutos, após o contato inicial do cimento com a água. Posteriormente foram produzidas argamassas e foram realizados ensaios consistência por meio do ensaio da mesa de consistência no estado fresco e de compressão axial nas argamassas no estado endurecido, nas idades de 7 e 28 dias para avaliar a influência do(s) aditivo(s) nas propriedades mecânicas dos diferentes tipos de cimentos. Dessa forma, este estudo conclui que aditivos utilizados cumpriram com sua função nos cimentos, entretanto os cimentos com escória e fíler mostraram melhores desempenhos com os respectivos aditivos.

Palavras-chave: argamassa; aditivo; cimento; compatibilidade.

ABSTRACT

The use of lime in the production of coating mortars improves their plasticity; however, in regions where this material is not readily available, plasticizing additives are used as an alternative, ensuring similar behavior. Therefore, this study aimed to reconcile three plasticizing additives commonly used in northern Brazil—two based on natural formulations and one based on surfactants—with different cements: CPII E, CPII F, CPII Z, and CP IV, all with a strength class of 32 MPa. Mortars with a water/water ratio of 0.85 were produced using the additive dosed according to the manufacturer's instructions. To analyze the compatibility of the cement with the active ingredients, cement pastes were produced, and mini-slump tests were performed over 5, 15, and 30 minutes after the cement's initial contact with water. Mortars were subsequently produced, and consistency tests were performed using the consistency table test in the fresh state and axial compression tests on the mortars in the hardened state, at ages of 7 and 28 days, to evaluate the influence of the additive(s) on the mechanical properties of the different types of cements. Thus, this study concludes that the additives used fulfilled their function in the cements; however, cements with slag and filler showed better performance with the respective additives.
Keywords: mortar; additive; cement; compatibility.

1. INTRODUÇÃO

As argamassas mais comuns para revestimento são aquelas que contêm cal em sua composição. No entanto, essa prática não se aplica a todas as regiões. Em locais onde a cal não é viável, utiliza-se aditivos plastificantes, que têm a função de melhorar a trabalhabilidade das argamassas, substituindo parte da água e, consequentemente, aumentando a resistência no estado endurecido. No entanto, esses aditivos podem ter efeitos secundários, como a incorporação de ar, que pode gerar poros nas argamassas, tornando necessário um estudo cuidadoso [1]. O desempenho das argamassas também está relacionado às características reológicas, que dependem da natureza mineralógica e granulométrica do agregado [2] e do cimento pois sua composição está ligada ao tempo que se formarão os produtos de hidratação, esse tempo de endurecimento mostra o início da transição de uma suspensão viscosa para uma matriz interconectada rígida, desenvolvendo vários produtos de hidratação que geram conexões entre os grãos de cimento, caracterizando dois pontos importantes no processo de hidratação, os tempos de início e fim de pega [3]. Portanto, é fundamental estudar as propriedades reológicas das argamassas.

É de suma importância estudos sobre a relação entre aditivo e as argamassas, pois apesar de não ser estrutural exerce um papel importante nas edificações, trazendo conforto visual sendo um acabamento eficaz. Contudo, seu papel também está relacionado com sua resistência, visto o contato com agentes agressivos externos, os quais permanecerão em contato ao longo de sua vida útil, além disso, não se pode descartar a probabilidade de existir incompatibilidade entre os aditivos e certos sistemas cimentícios, gerando problemas de retardo ou aceleração exagerada da pega [4].
Nesse sentido, o presente artigo teve como objetivo analisar o comportamento de três aditivos plastificantes e sua interação com diferentes cimentos compostos disponíveis no mercado da Região Metropolitana de Belém. Para isso, foram realizados ensaios de consistência, no estado fresco, e de resistência, no estado endurecido, a fim de avaliar o desempenho de cada aditivo. Os aditivos 1 e 3 são baseados em formulações naturais, enquanto o aditivo 2 é surfactante, ambos são plastificantes e indicados para revestimentos argamassados. As discussões tiveram como propósito identificar o aditivo plastificante mais adequado para o revestimento e os demais comportamentos, considerando a consistência e a resistência, com base nos resultados dos ensaios de mini abatimento das pastas, índice de consistência e compressão das argamassas, tendo em vista viabilizar a utilização dos materiais disponíveis nas regiões.

2. MATERIAIS E METÓDOS

Para o estudo foram produzidas pastas e argamassas, com o intuito de avaliar a interação de quatro tipos de cimentos e três diferentes aditivos plastificantes (ADT1, ADT2 e ADT3). Os aditivos 1 e 3 têm bases de formulações naturais, são plastificantes, o ADT1 é hidrofugante e incorporador de ar, e o ADT3 além de plastificante é estabilizador de argamassas, enquanto o Aditivo 2 (ADT2) é surfactante, ele é plastificante e incorporador de ar, sua composição é à base de polímeros sintéticos e agentes tensoativos (não tóxicos). Para as dosagens com os aditivos foram seguidas as indicações dos seus respectivos fabricantes, para os aditivos 1 e 3 foram usados 0,4% do aditivo em relação à massa total do cimento, para o aditivo 2 foi utilizado 0,2% em relação à massa total de cimento, esta dosagem dos aditivos se aplica a pastas e argamassas. Os cimentos utilizados foram os tipos CPII Z, CPII F, CPII E e CPIV, todos com classe de resistência de 32 MPa.

Para analisar a interação do aditivo no estado fresco, foram preparadas pastas de cimento cujo a dosagem do traço foi de 1:0,5, sendo 330g de cimento. A avaliação de fluidez das pastas foi executada através do ensaio de mini abatimento [5], considerando o diâmetro de espalhamento em intervalos de 0, 5, 15 e 30 minutos após o contato inicial do cimento com a água como visto ao decorrer, na figura 4.

Para a análise das argamassas foram produzidos seis corpos de prova cilíndricos para cada combinação, com a finalidade de examinar sua consistência e suas propriedades mecânicas. As combinações foram feitas análogo as pastas, com os traços de 1:5:0,85, entretanto, sua relação água/cimento foi calculada com base em 400g, pois foi adicionado mais 10% de cimento em relação a sua massa para compensar a ausência de cal, pois as argamassas produzidas com aditivos têm uma quantidade de finos menor do que a argamassa mista, como uma forma de “compensação” pelo fato da não utilização da cal, é comum os tecnologistas de revestimentos adicionarem entre 10% a 20% de cimento na composição do traço [6], totalizando 440g de cimento, foram realizados ensaios de índice de consistência nas argamassas na mesa de consistência de acordo com a norma [7], feito três leituras e tirado sua média. A relação a/c de 0,85 foi calculada com 400g de cimento, o a/c foi determinada pelos autores, pois foi a dosagem ideal para que a argamassa de referência ficasse coesa e trabalhável, entretanto ouve exsudação em algumas argamassas, mas elas foram avaliadas igual as demais. Além disso,

foram realizados ensaios de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias para avaliar a influência dos aditivos nas argamassas no estado endurecido. As combinações de cimentos para cada aditivo estão na figura 1, os traços estão presentes na tabela 1. As caracterizações dos cimentos foram realizadas por meio de ensaios de tempo de pega, finura por peneiramento, massa específica, visto a seguir na tabela 2.

Tabela 1 – Tabela de traços de pasta e argamassas.

Tipos de cimento	Traço da pasta	Traço da argamassa	Teor de aditivo (ADT1, ADT3)	Teor de aditivo (ADT2)
CPII F	1:0,5	1:5:0,85	0,4%	0,2%
CPII Z	1:0,5	1:5:0,85	0,4%	0,2%
CPII E	1:0,5	1:5:0,85	0,4%	0,2%
CPIV	1:0,5	1:5:0,85	0,4%	0,2%

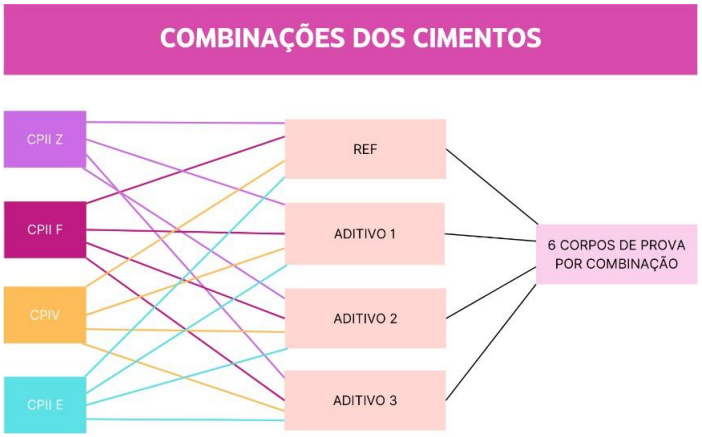


Figura 1 – Combinações de cimentos com aditivos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização dos cimentos e argamassas

A caracterização dos cimentos investigados, conforme apresentado na Tabela 1, objetivou a avaliação de suas propriedades intrínsecas, a influência de aditivos em seu comportamento e a determinação de sua aptidão para aplicações específicas. Os resultados obtidos fornecem informações relevantes sobre a massa específica, finura, tempos de pega e consistência das pastas de cimento.

Tabela 2 – Caracterização dos cimentos.

Ensaios	CPII Z	CPII F	CPII E	CPIV
Massa específica	3,05	3,08	3,00	2,9
Índice de finura por peneiramento D75µm	0,96%	0,92%	0,80%	0,94%
Tempos de pega				
Início	2h 40min	3h10min	3h 40min	2h10min
Fim	3h 50min	4h 40min	4h 20min	3h 30min
Consistência de referência por meio de mini abatimento (0 min)	9,0 cm	7,0 cm	6,8 cm	5,0 cm

A análise dos tempos de fim de pega, definidos como o período decorrido entre a adição de água e a resistência à penetração de 0,5 mm da agulha de Vicat [8], revelaram variações significativas entre os diferentes tipos de cimento avaliados, os quais foi visto que os cimentos com material pozolânico na composição tem um tempo de pega semelhantes, O cimento com fíler teve um tempo de pega mais lento, isso pode ser justificado devido o tipo de material fino que compõe o cimento, ou pode ser entendido como um ruído de ensaio, entretanto é um dado interessante a ser estudado futuramente, pois os cimentos diferem também na marca, ou seja como é produzido, além do tipo.

As pastas produzidas tiveram uma variação de quantitativo de água, cada consistência foi embasada pelas especificações normativas [9]. As massas específicas dos demais cimentos são bem próximas, isso é, seus consumos em questão de volume são parecidos, contudo podemos analisar que sua reatividade diferente dentre os cimentos, mesmo que exista uma pequena variação no percentual no índice de finura.

O ensaio de mini abatimento demonstrou que os cimentos contendo pozolana exibiram maior espalhamento, indicando uma maior fluidez da pasta, entretanto a elevada superfície específica dos materiais também interfere em sua fluidez assim como no CP IV, ele tem o menor espelhamento mesmo contendo mais pozolana em sua composição. A granulometria mais fina aumenta a área superficial do material, contribuindo para a melhora na trabalhabilidade, embora possa reduzir a fluidez devido ao maior consumo de água [10], como mostra na Figura 2.

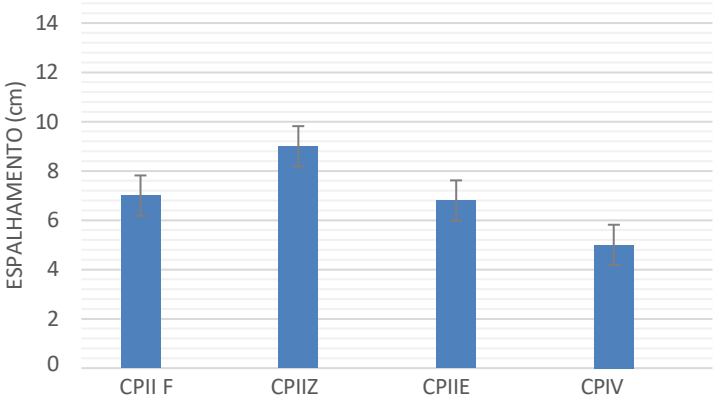


Figura 2 – Espalhamento das pastas de referência 0 min

Os comportamentos das argamassas no estado fresco sem aditivo indicaram que o cimento CPII F tem uma maior abertura quanto ao espalhamento, conforme pode ser visto na Figura 3, comportamento esse esperado, visto que cimentos com materiais finos (como fíler) melhoram a fluidez. Já o CPII Z teve comportamento simular ao CPII E, isso se deve ao tipo da adição e finura do cimento. Também foi possível observar que o CPIV foi o que teve menor abertura em relação às demais, isso ocorre devido a área da superfície específica do material que o compõe, logo, se observou que as composições químicas dos cimentos e adições interferem nos comportamentos no estado fresco o que está de acordo com a literatura

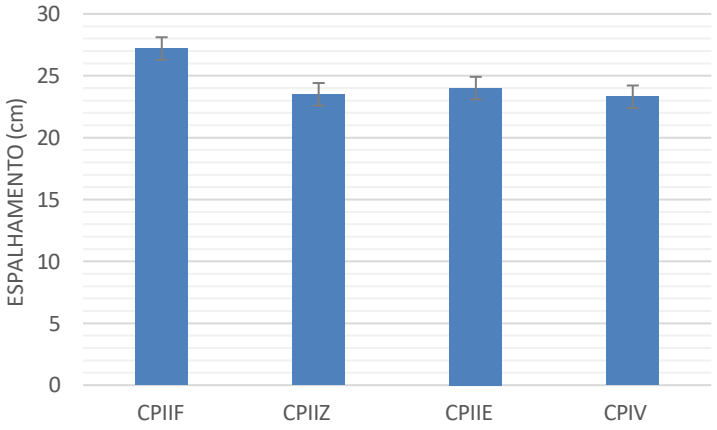


Figura 3 – Consistência das argamassas de referência 0 min.

3.2. Influência dos aditivos nas propriedades de espalhamento das pastas

A Figura 4 apresenta os resultados dos espalhamentos das pastas em função do tempo. Observou-se que os aditivos aumentaram a fluidez das pastas de cimento, permitindo que a mistura tivesse uma consistência mais homogênea, assim foram coletados diversos dados de medição dos espalhamentos das pastas com o intuito de analisar com os aditivos melhoraram sua fluidez em relação a pasta de referência.

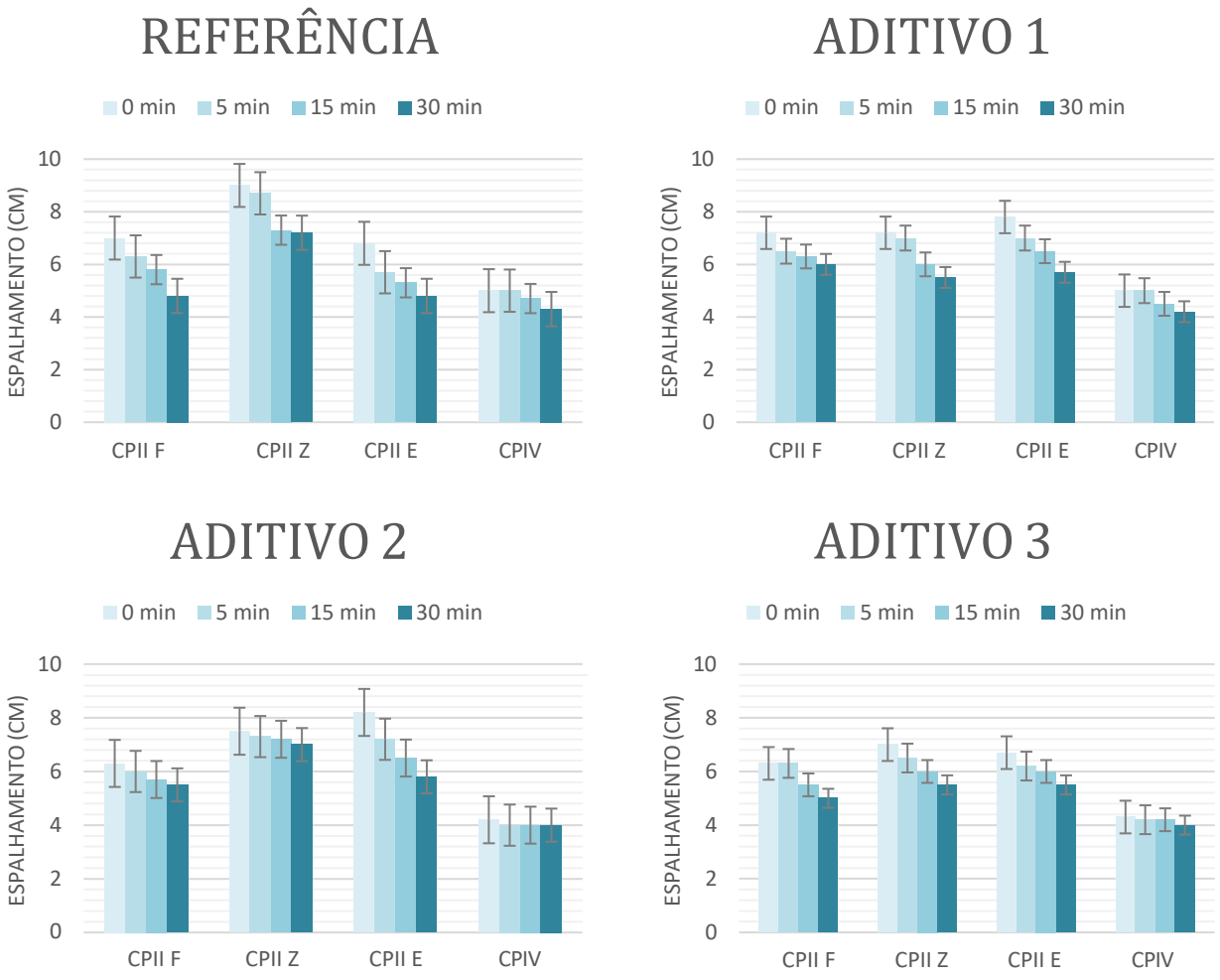


Figura 4 – Gráficos dos espalhamentos das pastas com teor de aditivos ao longo do tempo.

A influência de aditivos na trabalhabilidade de pastas de cimento Portland composto (CPII),Observou-se que, apesar da incorporação de aditivos, as pastas de CPII Z não apresentaram espalhamento superior à da referência, sugerindo uma compatibilidade limitada, decorrente da presença de material pozolânico, outra justificativa para a redução de compatibilidade pode ser justificada devido ao processo de fabricação do cimento, pois como já discutido as cimenteiras em que foram produzidos são diferentes, então as matérias-primas também se diferem. Em contrapartida, as pastas de CPII E exibiram maior espalhamento, que o de referência, e uma redução progressiva em todos os aditivos, comportamento análogo ao da referência, mantendo-se a relação água/cimento constante, as pastas de CPII E demonstraram uma redução consistente do espalhamento ao longo do tempo, sem variações abruptas, indicando estabilidade reológica.

No entanto, ao analisar o CPII F, podemos observar que houveram espalhamentos semelhantes em relação ao tempo inicial (0 min), mas ao longo do tempo ele apresentou uma pequena variação, que demonstrou que o aditivo apresentou um retardamento na pega, comportamento este também identificado no estudo de [11].

Em relação a interação do CPIV com o aditivo ADT1,obteve-se resultados bem parecido, todavia com os demais ele teve um efeito contrário, houve redução no espalhamento, mas mantendo a partir das leituras de cinco minutos uma constância,

sem abrir consideravelmente. O que podemos relacionar com o trabalho desenvolvido por [12], os autores explicam que o cimento pozolânico (CP IV) reduz o calor de hidratação da mistura cimentícia, dessa forma, a velocidade de reação é afetada e as reações ocorrem em tempos mais espaçados devido à essa baixa temperatura, sendo assim os aditivos também possui incompatibilidade no quesito de espalhamento.

3.3. Influência dos aditivos no estado fresco das argamassas

A Figura 5 apresenta o comportamento das argamassas aditivadas, pode-se observar que os aditivos desempenham um papel fundamental na modificação das propriedades reológicas das argamassas, melhorando sua trabalhabilidade e resistência. Os aditivos trabalhados nesta pesquisa têm função de plastificante, assim as dosagens foram feitas de acordo com a indicação do fabricante seguida para todas as argamassas, a análise feita se deu pela forma como cada argamassa se comportou no estado fresco segundo a norma [7].

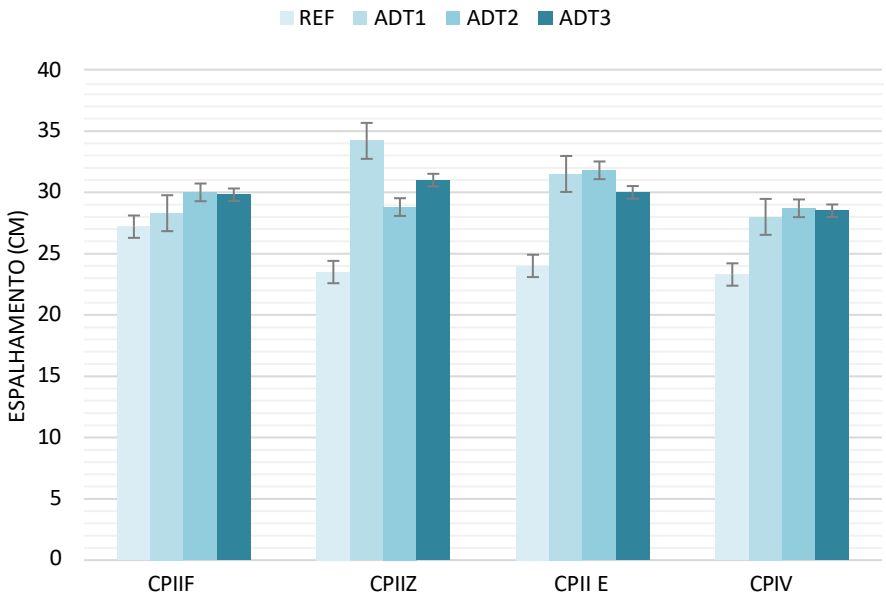


Figura 5 – Gráfico de espalhamento das argamassas com teor de aditivos.

Na Figura 5, observa-se que os aditivos exerceram influência significativa nas propriedades das argamassas em comparação com suas respectivas referências. O aditivo 1 apresentou melhor desempenho quando utilizado em conjunto com o cimento composto com pozolana tipo CPII-Z, indicando uma maior compatibilidade entre ambos. No entanto, ao ser aplicado com o cimento CPIV, que também contém material pozolânico, o aditivo 1 não demonstrou o mesmo comportamento. Essa diferença pode ser atribuída à natureza distinta das pozolanas presentes em cada cimento, bem como às variações na sua proporção na composição e à diferença na finura dos materiais, fatores que afetam diretamente as reações físico-químicas da mistura. Nas argamassas com o CPIIF não apresentaram uma grande variação no seu espalhamento, tendo em vista que o seu espalhamento de referência foi superior à das outras argamassas com outros cimentos em média 13% menor do que o espalhamento da argamassa com CPII F. Apesar dos espalhamentos terem pequenas divergências, a argamassa com CPII E indicou uma boa compatibilidade com os aditivos, apresentando bons espalhamentos em relação a referência, em média 29,5%. Já a argamassa com CPII E foi a que mais obteve reação com os aditivos, exceto o aditivo 1 que a argamassa com CPII Z teve um espalhamento considerável em relação as outras.

3.4. Influência dos aditivos nas propriedades mecânicas das argamassas

O comportamento das argamassas quanto as propriedades mecânicas podem ser identificados na Figura 6. Observou-se que o aditivo I foi o que apresentou maior influência em todas as argamassas quando comparados aos demais aditivos. As argamassas com CPII Z obtiveram um crescimento gradual aos 28 dias, se comportando de forma semelhante nas duas idades de cura.

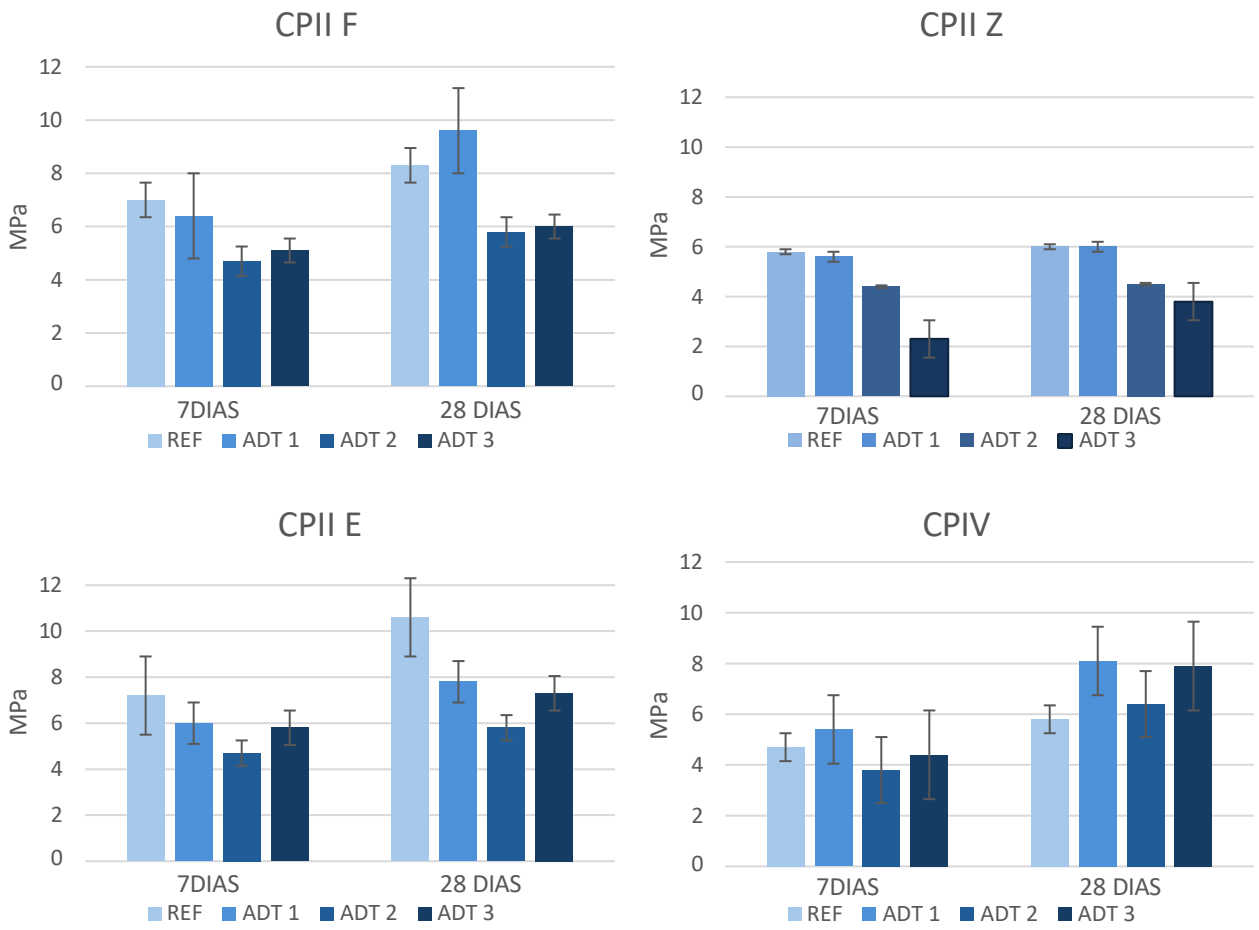


Figura 6 – Gráficos das compressões das argamassas.

Observou-se um comportamento semelhante entre algumas argamassas produzidas com os cimentos CPII F e CPII E, principalmente naquelas com adição dos aditivos ADT1, ADT2 e ADT3. Contudo, a argamassa de referência com CPII E aos 28 dias apresentou uma resistência significativamente superior, sendo aproximadamente 12,2% maior do que a obtida com ADT1, 45,66% maior que com ADT2 e 44% superior em relação ao ADT3.

Por outro lado, a argamassa de referência com CPII F obteve resistência inferior àquela com ADT1 (diferença de cerca de 1,34 MPa), porém superior às que continham os aditivos ADT2 e ADT3.

De modo geral, observou-se que as argamassas com CPII F e CPII E apresentaram comportamentos semelhantes em termos de resistência quando utilizados os aditivos.

Já em relação ao cimento CPIV, notou-se um comportamento distinto entre os resultados aos 7 e 28 dias de cura. Essa variação pode estar relacionada à natureza da pozolana presente no cimento e à sua reatividade inicial, conforme discutido nas normas [13] e [14]. Ainda que o desempenho aos 7 dias tenha sido menor, com apenas a argamassa contendo ADT1 superando a referência, aos 28 dias todas as formulações com aditivos apresentaram resistências superiores à da argamassa de referência. Isso demonstra o potencial da pozolana em contribuir para o ganho de resistência ao longo do tempo, além da ação complementar dos aditivos.

Ao comparar os resultados obtidos com os cimentos CPIV e CPII Z, ambos contendo materiais pozolânicos, observou-se um comportamento divergente. Tal diferença pode decorrer da natureza distinta das pozolanas presentes nas formulações comerciais, que impactam diretamente a cinética de reação e as interações com os aditivos. Ressalta-se, ainda, o comportamento atípico da argamassa com ADT3 e CPIV aos 28 dias, que pode indicar uma interação específica entre o aditivo e a pozolana presente, ou, alternativamente, tratar-se de um ruído experimental. Vale lembrar que o ADT3, além de plastificante, atua como estabilizador de argamassas, o que pode influenciar na evolução da resistência mecânica.

4. CONCLUSÃO

Este estudo investigou o estado fresco e o desempenho mecânico de pastas e argamassas comerciais formuladas com diferentes tipos de cimento Portland, provenientes de regiões sem utilização de cal em sua composição. O objetivo principal foi avaliar a compatibilidade desses cimentos com aditivos plastificantes de origem local, visando otimizar a trabalhabilidade e a resistência dos materiais compósitos. A metodologia empregada consistiu na caracterização do espalhamento e da resistência à compressão de amostras de pastas e argamassas preparadas com cimentos CPII E, CPII F e CPIV, em combinação com diferentes aditivos plastificantes. Os resultados indicaram que os aditivos exerceram sua função plastificante na maioria dos cimentos avaliados. No entanto, o cimento CPIV exibiu uma variação limitada no espalhamento, comprometendo a trabalhabilidade das misturas.

O cimento CPII E demonstrou um desempenho superior em termos de espalhamento e resistência, apresentando uma melhor interação com os aditivos plastificantes. Por outro lado, o cimento CPII F revelou-se mais adequado para a produção de argamassas, exibindo propriedades específicas vantajosas para essa aplicação. O aditivo 1, apesar de promover um aumento no espalhamento e contribuir para o desenvolvimento da resistência mecânica, demandou uma investigação mais aprofundada para otimizar seu desempenho e compreender seus mecanismos de ação. A análise dos resultados permitiu concluir que o cimento CPII E se destaca como a opção mais promissora, em virtude do seu desempenho abrangente e da sua compatibilidade com os aditivos plastificantes testados neste estudo. Recomenda-se a realização de pesquisas futuras para refinar a utilização do aditivo 1 e explorar as potencialidades do cimento CPII F em aplicações específicas de argamassas.

REFERÊNCIAS

[1] PAIVA, H. et al. **Effects of a Water-Retaining Agent on the Rheological Behavior of a Single-Coat Render Mortar.** Cement and Concrete Research, v. 36, p. 1257-1262, 2006.

[2] MENG, L. et al. Shape and size effects on the packing density of binary sherocylinders. Powder Technology, v. 228, p. 284-294, 2012.

[3] KANG, X., LEI, H., XIA, Z., “A comparative study of modified fall cone method and semi-adiabatic cal- orimetry for measurement of setting time of cement based materials”, Construction and Building Materials, v. 248, 118634, Mar. 2020.

[4] HARTMANN, C. T. et al. **Aditivos químicos para concreto.** In: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Ibracon, 2011. p. 347-380.

[5] KANTRO, D., **"Influence of Water-Reducing Admixtures on Properties of Cement Paste-A Miniature Slump Test,"** *Cement, concrete and Aggregates*, v. 2, n. 2, pp. 95-102, 1980.

[6] Silva Júnior, E., Ferreira, C., Neves, V., Costa, G. da, Paes, I., & Queiroz, L. (2025). ***Influência da permeabilidade em revestimentos argamassados com diferentes acabamentos*.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA).

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 13276:2016 – **Argamassa para Assentamento e Revestimento** – Determinação do Índice de Consistência pelo Método da Mesa de Flow.

[8] ABNT NBR NM 65: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega

[9] ABNT NBR 16606 – Cimento Portland – Determinação da consistência normal da pasta de cimento Portland.

[10] Pacheco, T. L., & Portugal, A. A. (2010). *Influência da granulometria e do teor de pozolana na trabalhabilidade de argamassas*. Revista IBRACON de Materiais, Vol. 3, No. 2, pp. 154-163. DOI: 10.1590/S2317-05052010000200007.

[11] LYRA, J.S**., “Estudo da influência de policarboxilato comercial na hidratação, reologia e físico-química de superfície do cimento”**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2010.

[12] SCHACKOW, A., EFFTING, C., GOMES, I.R., et al. **"Temperature variation in concrete samples due to cement hydration"**, Applied Thermal Engineering, v. 103, pp. 1362-1369, Jun. 2016.

[13] NBR16605 DE 06/2017 - **Cimento Portland e outros materiais em pó** — Determinação da massa específica.

[14] NBR12826 - **Cimento Portland e Outros Materiais em Pó - Determinação Do Índice de Finura Por Meio de Peneirador Aerodinâmico.**

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-3

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

ANÁLISE DE PONTE RODOVIÁRIA EM CONCRETO ARMADO COM USO DOS AÇOS CA-50 E CA-70: ESTUDO DE CASO ATRAVÉS DOS ESTADOS-LIMITE

ARAÚJO, Rafael Campos de Alencar[1]; OLIVEIRA, Romilde Almeida de[2]

[1] Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, rafael.camposalencar@ufpe.br, 0000-0003-4438-5400
[2] Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, romilde.oliveira@ufpe.br, 0000-0002-6786-9080

RESUMO

O aço CA-70 é de recente normatização por meio da ABNT NBR 7480:2024. Pesquisas apontam para a importância da cautela no uso deste aço em caso de carregamento cíclico - como em pontes e viadutos. No presente artigo são analisadas seções de uma longarina de ponte de concreto moldada *in loco*, nos Estados-Limite Último e Estados-Limite de Serviço a fim de comparar os resultados obtidos para os aços CA-50 e CA-70. O Estudo de caso é de uma ponte tradicional com duas longarinas em classe de agressividade ambiental (CAA) III, com vão total de 34 metros, biapoiado e com balanços de 4,5 metros. No Estado-Limite Último verificou-se economia de aço detalhado na seção da ordem de 30% em relação ao tradicional CA-50. Tal redução implicaria em acréscimo da ordem de 25% na flecha das longarinas a meio vão, na verificação do Estado-Limite de Serviço de Deformação Excessiva. Ademais, a tensão da armadura no Estado-Limite de Serviço de Abertura de Fissuras também aumenta, conduzindo a valores característicos de abertura de fissuras da ordem de 40% maiores que os obtidos para a mesma longarina armada com CA-50. No Estado-Limite Último de Fadiga, dada a flutuação de tensões na armadura, fez-se necessário o aumento do consumo de aço. A economia do aço CA-70 restou da ordem de 7% nas seções; a taxa geométrica de armação, porém, superou em 11% a obtida com CA-50.

Palavras-chave: Ponte; Estados-Limite; Fadiga; Aço CA-70.

ABSTRACT

The CA-70 steel has recently been standardized by ABNT NBR 7480:2024. Research indicates the importance of caution when using this steel in cases of cyclic loading, such as in bridges and viaducts. This article analyzes sections of a cast-in-place concrete bridge girder in the Ultimate Limit States and Serviceability Limit States in order to compare the results obtained for CA-50 and CA-70 steels. The case study is of a traditional bridge with two girders in environmental aggressiveness class (CAA) III, with a total span of 34 meters, simply supported and with 4.5 meter cantilevers. In the Ultimate Limit State, detailed steel savings in the section of approximately 30% were observed in relation to the traditional CA-50. Such a reduction would imply an increase of approximately 25% in the deflection of the girders at mid-span, when verifying the Service Limit State of Excessive Deformation. Furthermore, the reinforcement stress in the Service Limit State of Crack Opening also increases, leading to characteristic values of crack opening approximately 40% higher than those obtained for the same girders reinforced with CA-50. In the Ultimate Limit State of Fatigue, given the fluctuation of stresses in the reinforcement, it was necessary to increase the steel rate. The savings in CA-70 steel remained approximately 7% in the sections; the geometric reinforcement ratio, however, exceeded that obtained with CA-50 by 11%.

Keywords: Bridge; Limit State; Fatigue; Steel CA-70.

1. INTRODUÇÃO

Considerando-se obras já construídas, as pontes em viga simplesmente apoiada com balanços representam 57% das pontes cadastradas na base de dados do DER-SP [8]. Tal amostra pode ser considerada representativa, ou de percentuais até maiores ao longo do território nacional, muito embora tal tipologia tenha caído em desuso para obras novas.

Dada à relevância, em termos percentuais, bem como maior facilidade de verificação das condições destas pontes, comparando-se os aços tipo CA-50 e CA-70, a ponte biapoiada com dois balanços foi selecionada para este estudo de caso.

O presente trabalho se justifica para uma melhor compreensão do desempenho e das aplicações do aço CA-70 em projetos de Obras de Infraestrutura, tanto pela relevância destas obras, quanto pela proposta comercial do aço CA-70, voltada para obras de infraestrutura.

A ABNT NBR 7480 [4] disciplina o uso de aço para concreto armado; nela tem-se que as barras feitas de CA-70 possuem as propriedades e características gerais do tradicional aço CA-50, embora naquele a tensão de escoamento f_{yk} seja de 700 MPa, enquanto no CA-50 esta tensão corresponda a 500 MPa. Embora os requisitos para uso do novo aço CA-70 em estruturas de concreto armado estejam disciplinados pela norma supracitada, a norma de Projeto de estruturas de concreto [2] não o aborda.

Sobre o uso de aços de alta resistência para concreto armado, Gilbert, Mickleborough e Ranzi [11] expressam haver pouco benefício “visto que, a fim de satisfazer os requisitos em condição de serviço, a capacidade superior oferecida por aço de maior resistência não pode ser utilizada”. Também Cholfe e Bonilha [6] indicam a restrição do uso de aços acima do CA-50, sob o ponto de vista da fissuração da peça de concreto armado.

Em recomendação técnica, a ABECE [1] reconhece a tendência de maiores deslocamentos e maiores aberturas de fissuras nas estruturas executadas com o novo aço; provavelmente os Estados-Limite de Serviço (ELS) em peças armadas com CA-70 são atingidos antes do que em peças armadas com CA-50. São recorrentes as ressalvas apresentadas na recomendação da ABECE, diante da ausência de estudos e ensaios fundamentais ao bom uso do novo aço.

O aço CA-70 foi lançado em 2021 pela ArcelorMittal e em 2022 pela Gerdau com a proposta de atender a "diversos segmentos da construção, com destaque para o setor de infraestrutura, construções industriais e comerciais" [10], “aplicações de grandes estruturas” [14], não obstante o objetivo estratégico dos fabricantes, o uso do CA-70 é contraindicado para condições de carregamentos cíclicos, elementos a serem verificados à fadiga e em estruturas que potencialmente submetidas à ação de incêndio [1].

Sobre pontes em viga simplesmente apoiada com balanços, sabe-se que, ao introduzir os momentos negativos nos apoios, ocorre redução dos momentos positivos no vão, além da eliminação dos encontros. Todavia, frequentemente se constata erosão nas pontes com as extremidades em balanço, conforme Vitório [15]. A tendência de desuso deste tipo de ponte advém de questões como: compactação deficiente dos aterros de acesso, construção de taludes construídos na calha do rio, entre outras. Associada à susceptibilidade à erosão, tem-se as condições de grandes precipitações e cheias, falta de manutenção, apontadas por El Debs [7]. Destarte, este tipo estrutural tem assumido caráter majoritariamente didático.

Na avaliação da eficiência do aço CA-70, Moreira, Fontana e Meo [13] avaliam caso de um viaduto de comprimento total de 54 metros, divididos em dois vãos de 27 metros, constituído de longarinas pré-moldadas em seção I que descansam em travessas; as quais, por sua vez, são apoiadas nos pilares. O estudo constatou necessidade de aumento da área de aço CA-70 em relação ao valor calculado no Estado-Limite Último, para atender ao Estado-Limite de Serviço de Fissuração. Os autores concluíram pela economia de 13% do peso total de aço CA-70 em relação às longarinas armadas à flexão com CA-50.

2. METODOLOGIA

Para comparação da armadura longitudinal constituída de aço CA-50 e CA-70, foi selecionada e adaptada a ponte moldada in loco dada em Marchetti [12], cuja planta da meia fôrma é apresentada na Figura 1. Considerou-se a Classe de

Agressividade Ambiental (CAA) III e f_{ck} do concreto de 30 MPa. Sendo assim, o cobrimento mínimo de armadura na longarina foi fixado em 4 cm.

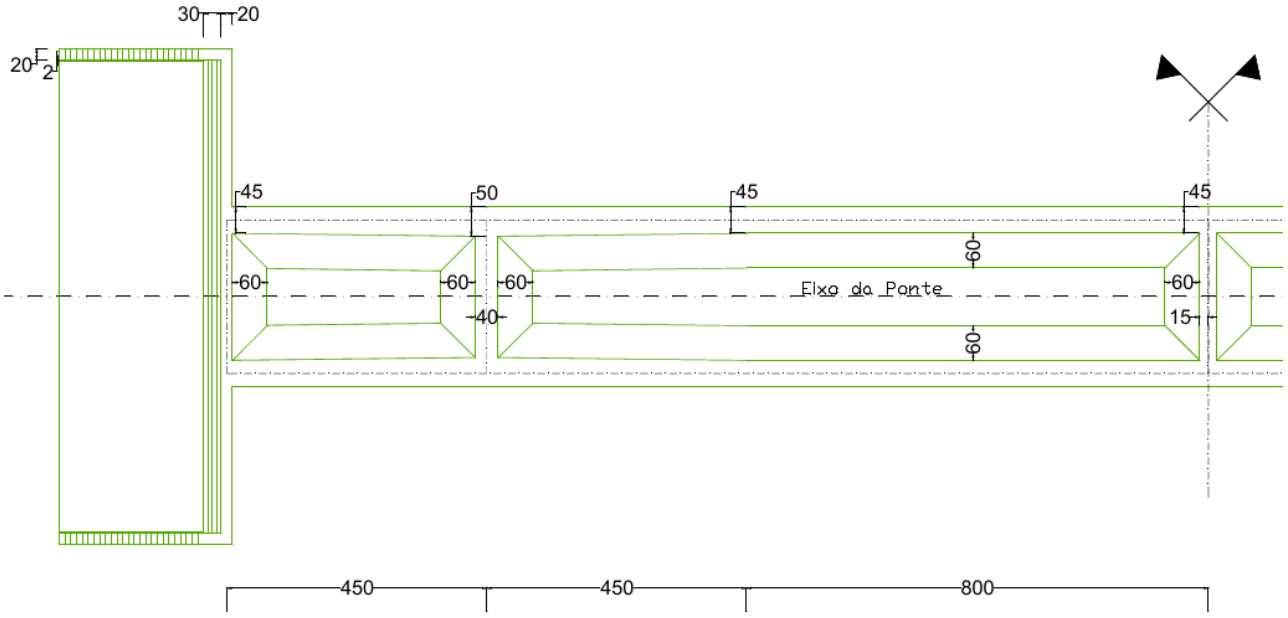


Figura 1 – Planta de fôrma (dimensões em centímetros).

A modelagem da obra de arte foi feita através do método dos elementos finitos. Fez-se uso de elemento linear dotado de 6 graus de liberdade, sendo 2 translações e 1 rotação em cada nó (elemento de pórtico plano). Para tanto foi utilizado o programa Ftool [9]. O esquema estrutural adotado, com carregamento permanente atuante, é apresentado de forma qualitativa na Figura 2.

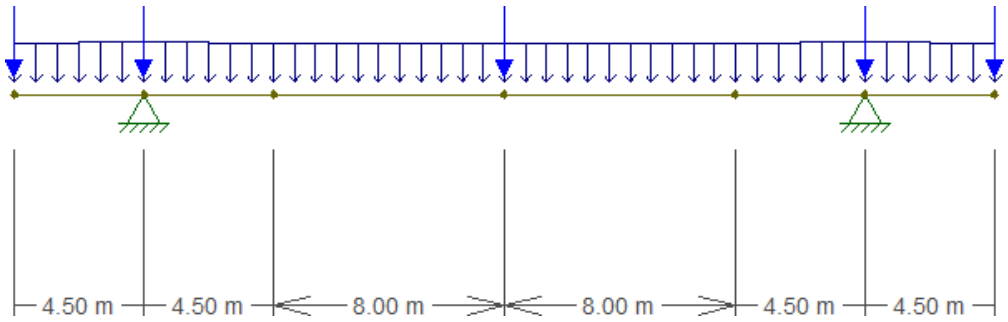


Figura 2 – Esquema estrutural com representação qualitativa do carregamento permanente.

O corte feito à meio vão é apresentado na Figura 3, cujas dimensões levam em consideração a contribuição de mesa colaborante conforme o item 14.6.2.2 da ABNT NBR 6118 [2]. As longarinas foram calculadas considerando-se a atuação da carga móvel rodoviária padrão TB 450 da ABNT NBR 7188 [3]. Os coeficientes de ponderação CIV, CNF e CIA foram determinados conforme o item 5.1.3 da ABNT NBR 7188 [3]. Não foram consideradas outras ações atuantes no tabuleiro da ponte em estudo, senão carga permanente e carregamento móvel rodoviário padrão. À semelhança de Marchetti [12], foram adotados coeficientes de ponderação das ações no Estado-Limite Último (ELU), em combinação normal, γ_g e γ_q iguais a 1,4. Para ponderação das ações nos Estados-Limite de Serviço de Deformação Excessiva (ELS-DEF) e de Abertura de Fissuras (ELS-W), foram utilizados os coeficientes ψ_1 e ψ_2 no valor de 0,5 e 0,3 respectivamente, conforme a ABNT NBR 8681 [5].

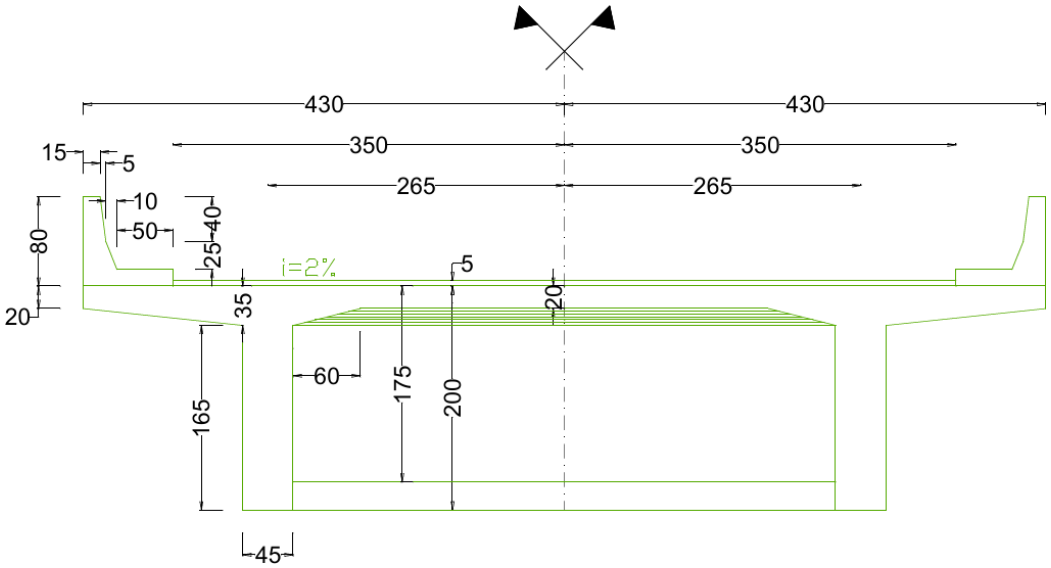


Figura 3 – Corte à meia ponte (dimensões em centímetros).

Embora haja recomendação da ABECE no sentido de adoção de normativas internacionais para o cálculo dos comprimentos de ancoragem e traspasse do aço novo, optou-se por considerar, para fins deste trabalho, a comunhão das propriedades expressa tanto pelo fabricante como pela ABNT NBR 7480 [4]. Assim, as mesmas formulações dadas na ABNT NBR 6118 [2] para o aço CA-50, foram usadas para o aço CA-70.

Na verificação do estado-limite de deformação (ELS-DEF), a razão modular foi calculada pela relação entre o módulo de elasticidade do aço e do módulo de elasticidade secante do concreto. No cálculo das flechas imediatas das longarinas, foram obtidas por avaliação aproximada dada na fórmula de Branson, disposta na ABNT NBR 6118 [2]. O cálculo normativo da flecha diferida no tempo não apresenta correlação direta ao tipo de aço; assim, foi aplicado indistintamente às longarinas armadas com os aços CA-50 e CA-70. Considerou-se liberação da estrutura para carregamento aos 28 dias; a idade foi adotada por simplificação das verificações e do relacionamento de parâmetros de módulo de elasticidade do concreto que seriam necessários a uma idade inferior.

Na verificação do estado-limite de abertura de fissuras (ELS-W), procedeu-se com o cálculo das tensões no Estádio II, considerando a relação α_e entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15. O valor característico da abertura de fissuras, w_k, foi determinado pelo menor valor entre os obtidos pelas expressões dispostas na ABNT NBR 6118 [2].

Na verificação do estado-limite último de fadiga (ELU-FAD), para o cálculo dos esforços solicitantes e a verificação das tensões, admitiu-se o modelo linear elástico com razão modular, α, igual a 10. Novamente, dada a ausência de disciplinamento normativo do aço CA-70 na ABNT NBR 6118 [2], consideraram-se os parâmetros do aço CA-50 nas curvas S-N (Woeller) como sendo diretamente aplicáveis ao aço CA-70. Logo, o Dfsd,fad,min para $2x10^6$ ciclos foi adotado igualmente para CA-50 e CA-70 no valor de 95 MPa – correspondendo à bitola de 25 mm da armadura passiva.

Não foram analisadas as armaduras transversais neste trabalho, visto que a ABNT NBR 6118 [2] em seu item 17.4.2.2 limita a tensão de escoamento de projeto da armadura passiva transversal (f_{ywd}) a 435 MPa. Assim, eventual ganho oferecido pela resistência superior do aço CA-70 deveria ser desprezado.

No lançamento das cargas atuantes na ponte, foram consideradas as cortinas nas extremidades dos balanços, no valor de 120,5 kN, transversinas descoladas de 20 cm do fundo da laje, sendo as de apoio com seção 40 cm x 180 cm (48,6 kN) e a transversina intermediária com seção de 30 cm x 155 cm (33,65 kN). O carregamento distribuído resultou 57,75 kN/m nas longarinas, sendo que devido ao alargamento das vigas na faixa de 4,5 m para cada lado dos apoios, foi acrescentado um carregamento linear de 2,5 kN/m. Deste modo, resultou na ponta do balanço 57,75 kN/m, no apoio 60,25 kN/m e a 4,5 m do apoio 57,75 kN/m – seguindo constante conforme se mostra esquematicamente na Figura 2.

Procedido o cálculo da largura de mesa colaborante, conforme a ABNT NBR 6118 [2], a seção transversal T utilizada no dimensionamento das longarinas é apresentado na Figura 4.

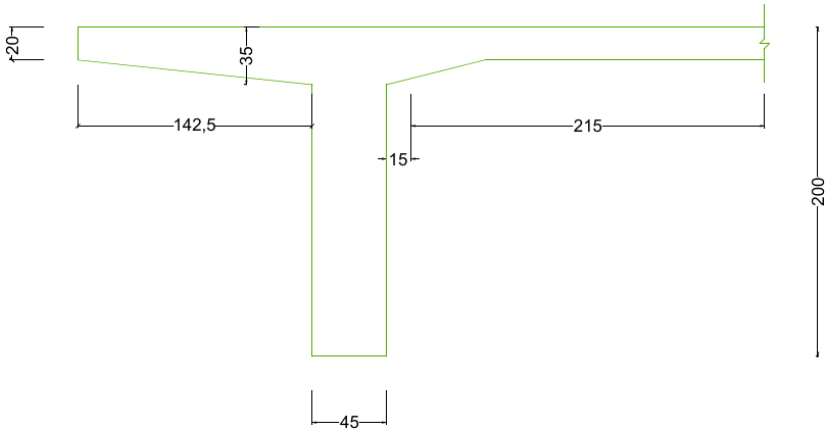


Figura 4 – Mesa colaborante na seção T calculada (dimensões em centímetros).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram feitas seções a, no máximo, cada metro da longarina e expressos os valores resultantes característicos dos momentos devidos ao carregamento permanente e devidos à carga móvel (Tabela 1). São também apresentados os referidos momentos afetados pelo coeficiente φ, dado pelo produto dos coeficientes CIV, CNF e CIA fixados na ABNT NBR 7188 [3]. A razão pela qual se tem valores diferentes no produtório advém do coeficiente CIV; na região de balanço resulta 1,39 e, nas demais seções, 1,28. Os coeficientes CNF e CIA resultaram 1 e 1,25, respectivamente.

Tabela 1 – Envoltória de momentos nas longarinas.

Seção (m)	Mgk (kN.m)	φ	Mqk+ (kN.m)	φ.Mqk+ (kN.m)	Mqk- (kN.m)	φ.Mqk- (kN.m)
0	0	1,74	0	0	0	0
1	-149,47	1,74	0	0	-145,75	-253,61
2	-357,24	1,74	0	0	-364,37	-634,00
3	-623,88	1,74	0	0	-661,7	-1151,36
4	-949,93	1,74	0	0	-1093,13	-1902,05
4,5	-1135,41	1,74	0	0	-1311,75	-2282,45
5,5	-421,11	1,6	542,7	868,32	-1267,24	-2027,58
6,5	233,48	1,6	1023,27	1637,23	-1222,73	-1956,37
7,5	828,94	1,6	1455,99	2329,58	-1178,21	-1885,14
8,5	1365,82	1,6	1843,65	2949,84	-1133,7	-1813,92
9	1612,46	1,6	2020,64	3233,02	-1111,45	-1778,32
10	2062,41	1,6	2340,34	3744,54	-1066,94	-1707,10
11	2454,61	1,6	2614,92	4183,87	-1022,42	-1635,87
12	2789,06	1,6	2844,39	4551,02	-977,91	-1564,66
13	3065,76	1,6	3039,31	4862,90	-933,4	-1493,44
14	3284,71	1,6	3197,37	5115,79	-888,89	-1422,22
15	3445,91	1,6	3310,33	5296,53	-844,38	-1351,01
16	3549,36	1,6	3378,17	5405,07	-799,86	-1279,78
17	3595,06	1,6	3400,89	5441,42	-755,35	-1208,56

Mgk: Momento característico devido ao carregamento permanente;
Mqk+: Momento característico positivo devido ao carregamento móvel;
Mqk-: Momento característico negativo devido ao carregamento móvel.

Na combinação normal de Estado-Limite Último (ELU), tem-se os momentos de projeto apresentados na Tabela 2 e, em decorrência, as áreas de aço da armadura longitudinal. Para esta combinação, a área de aço detalhada de aço CA-70 representou economia da ordem de 30%, quando comparado ao tradicional CA-50. Optando-se pelo uso de barras de diâmetro 25 mm, tem-se na Tabela 2 o número de barras necessárias para satisfação deste Estado-Limite.

Tabela 2 – Envoltória de Momentos e dimensionamento no Estado-Limite Último (ELU) das longarinas.

Seção (m)	Msd (kN.m)	CA-50			CA-70			ε (%)
		d (cm)	As (cm²)	Nº ϕ 25	d (cm)	As (cm²)	Nº ϕ 25	
0	0	194,75	40,19	9	194,75	28,71	6	28,6%
1	-564,31	194,75	40,19	9	194,75	28,71	6	28,6%
2	-1387,74	194,75	40,19	9	194,75	28,71	6	28,6%
3	-2485,33	194,75	40,19	9	194,75	28,71	6	28,6%
4	-3992,77	194,75	50,65	11	194,75	36,18	8	28,6%
4,5	-4785,00	194,75	61,69	13	194,75	44,07	9	28,6%
5,5	-3428,17	194,75	43	9	194,75	30,72	7	28,6%
6,5	2619,00	193,32	31,3	7	194,75	24,68	5	21,2%
7,5	4421,93	191	53,68	12	192,88	37,96	8	29,3%
8,5	6041,92	189,75	74,06	15	191	52,55	12	29,0%
9	6783,68	188,57	83,8	17	191	59,08	12	29,5%
10	8129,74	186,11	102,07	22	189,75	71,46	15	30,0%
11	9293,87	185,17	118,36	24	188,57	82,41	17	30,4%
12	10276,12	182,96	131,9	28	187,64	91,77	19	30,4%
13	11100,12	181,75	143,72	30	186,11	100,14	22	30,3%
14	11760,70	180,69	153,42	32	186,11	106,24	22	30,8%
15	12239,41	179,46	160,99	34	185,17	111,26	24	30,9%
16	12536,20	179,46	165	34	185,17	114,03	24	30,9%
17	12651,08	179,46	166,55	34	185,17	115,11	24	30,9%

Msd: Momento solicitante de projeto no ELU;
d: Altura útil;
As: Área de aço da armadura longitudinal;
Nº ϕ 25: Número de barras de aço de diâmetro 25 mm;
ε: Diferença percentual dos resultados.

O resultado é esperado, haja vista que a resultante de tração no aço se dá pelo produto da tensão atuante pela área de aço disposta à profundidade útil. Assim, como a tensão de projeto do aço CA-70 é 40% superior à do CA-50, houve redução da área de aço necessária. Entretanto, a relação de economia não se mostrou exatamente igual a este percentual, haja vista a influência de outras variáveis como altura útil diferente, armadura e momentos mínimos exigidos pela norma etc.

A seção mais solicitada para momentos positivos tem seu detalhamento, a partir dos resultados no Estado-Limite Último dispostos na Tabela 2, mostrada na Figura 5 – tanto para a armadura constituída de aço CA-50 como para o caso de uso de CA-70. Na Figura 4 percebe-se o ganho real obtido no uso de CA-70, resultando na redução de 3 camadas de armadura quando comparado ao caso de uso de CA-50.

Em contrapartida à economia de aço na seção, as emendas por traspasse necessárias ao detalhamento longitudinal da peça, igualmente se verificaram 40% superiores no caso do aço CA-70 em relação ao tradicional CA-50. Assim, a economia obtida nas seções sofre redução, resultado em uma taxa geométrica de armação longitudinal de 69,08 kg/m³ para o aço CA-50 e 50,95 kg/m³ para o aço CA-70, portanto a economia passaria a ser de 26 %.

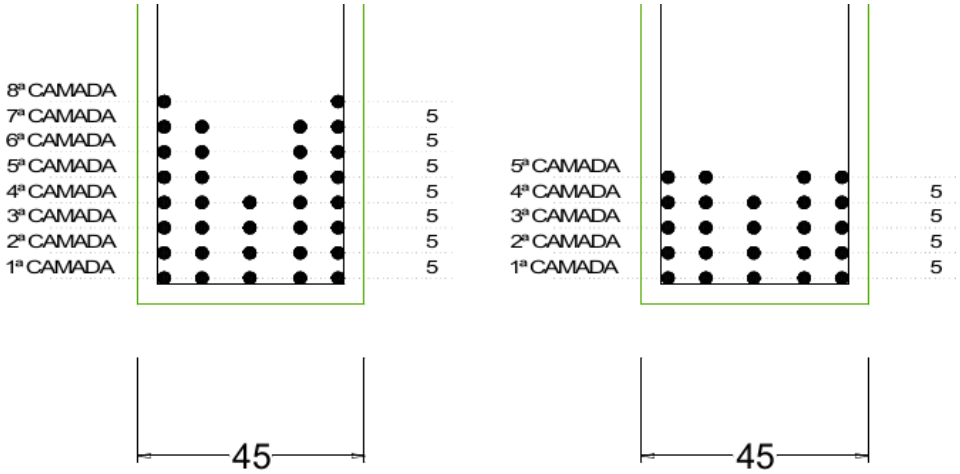


Figura 5 – Detalhamento da seção 17 no Estado-Limite Último para os aços CA-50 (esquerda) e CA-70 (direita) (dimensões em centímetros).

A verificação das longarinas detalhadas no Estado-Limite de Deformação se deu na consideração da seção mais solicitada à flexão considerada positiva, a saber na seção 17 (meio vão). O momento de serviço na combinação quase-permanente, bem como os deslocamentos finais, dados pela soma do elástico (imediato) e diferido no tempo para a seção mais solicitada (seção 17) são mostrados na Tabela 3. Conquanto ambas as flechas atendam ao limite normativo para o referido Estado-Limite, percebe-se o crescimento da ordem de 25% deformabilidade da peça armada com o aço CA-70.

Tabela 3 – Verificação no Estado-Limite de Serviço de Deformação Excessiva (ELS-DEF) para a seção 17.

Seção (m)	Msd (kN.m)	CA-50	CA-70	ε (%)
		δfinal (mm)	δfinal (mm)	
17	5227,49	68	91	25,4%

Msd: Momento solicitante de projeto no ELS-DEF;
δfinal: Deslocamento final obtido (flecha);
ε: Diferença percentual dos resultados.

O resultado, uma vez mais, é esperado pela condição da seção homogeneizada no Estádio II, onde a área de aço da armadura longitudinal é convertida área equivalente de concreto por meio da razão modular. Visto como nas longarinas armadas com CA-70 tem-se área de aço inferior àquelas longarinas armadas com CA-50, resulta menor inércia da seção no Estádio II e por conseguinte maior deformabilidade da estrutura, como previsto pela Abece [1].

A verificação das longarinas no Estado-Limite de Abertura de Fissuras foi procedida em duas seções, na mais solicitada à flexão considerada positiva (seção 17), bem como na seção mais solicitada à flexão considerada negativa (seção 4,5). O momento de serviço na combinação frequente, bem como tensão atuante nas seções, valor característico de abertura de fissuras e área do concreto de envolvimento, são mostrados na Tabela 4 para longarinas armadas com ambos os tipos de aço.

O aumento das tensões atuantes em serviço e consequente estado de fissuração do concreto são resultados esperados, haja vista a homogeneização supracitada procedida também no Estádio II. Os expressivos percentuais de 40% e 33%, para as seções 4,5 e 17, respectivamente, indicam condição mais crítica na fissuração do que na deformação excessiva das longarinas armadas com CA-70. Os resultados se harmonizam com o exposto na Recomendação Técnica da Abece [1], no trabalho de Moreira, Fontana e Meo [13] e na literatura em geral [6,11].

Tabela 4 – Verificação no Estado-Limite de Serviço de Abertura de Fissuras (ELS-W) para as seções 4,5 e 17.

Seção (m)	Msd (kN.m)	CA-50			CA-70			ε (%)
		wk (mm)	σ (Mpa)	Acr (cm²)	wk (mm)	σ (Mpa)	Acr (cm²)	
4,5	-2276,63	0,20	215,82	2606,4	0,33	296,96	2366,4	40,2%
17	6315,77	0,06	121,98	2655	0,09	185,81	1980	33,0%

Msd: Momento solicitante de projeto no ELS-W;
wk: Valor característico da abertura de fissuras;
σ: Tensão em serviço no centro de gravidade da armadura para o ELS-W;
Acr: Área do concreto de envolvimento;
ε: Diferença percentual dos resultados.

Muito embora a maior parte dos resultados obtidos permaneça dentro do resultado admissível de 0,3 mm para a Classe de Agressividade Ambiental (CAA) III adotada, a seção de apoio apresenta valor superior a este limite quando a longarina é armada com CA-70. A fim de se satisfazer o presente Estado-Limite, faz-se necessário o aumento da área de aço na seção 4,5, com, ao menos, uma barra de 25 mm.

A verificação do Estado-Limite Último de Fadiga, por sua vez, apresentou-se merecedora de especial atenção. Os momentos fletores para a combinação frequente, bem como a flutuação de tensões atuantes nas armaduras são apresentados na Tabela 5. Nos casos em que a flutuação de tensão ($D\sigma s_s$) superou o limite normativo de Dfsd,fad, a área de aço foi aumentada para atendimento do presente Estado-Limite.

Tanto as longarinas armadas com CA-50, como as armadas com CA-70, demandaram acréscimo de área de aço para atendimento do Estado-Limite Último de Fadiga. Não obstante, constatou-se que a flutuação de tensões na armadura das longarinas armadas com CA-70 foi da ordem de 40% superior à flutuação de tensão observada nas longarinas armadas com CA-50. A verificação neste Estado-Limite implicou em desfavor do aço CA-70, dado que em média a economia deste aço em relação ao CA-50 resultou da ordem de 7%.

Além disso, as emendas e ancoragem das barras constituídas de CA-70 são de comprimento 40% superiores às equivalentes de CA-50. Portanto, a economia oferecida pela resistência do aço CA-70 resulta inferior ao valor médio de 7,6% da Tabela 5. De fato, ao se proceder com o detalhamento longitudinal das longarinas armadas com ambos os tipos de aço, passa-se a ter uma taxa de 75,8 kg/m³ para o aço CA-50, enquanto para o aço CA-70 a taxa resulta 84 kg/m³ - ou seja, um consumo 11% superior ao do aço tradicional.

O resultado exposto na Tabela 5 tem respaldo na Recomendação Técnica da Abece [1] e, no sentido da redução da economia de aço quando da verificação da Fadiga, também no trabalho de Moreira, Fontana e Meo [13].

Não obstante, em termos de economia final de aço CA-70 sobre o CA-50, os resultados divergem do disposto por Moreira, Fontana e Meo [13]. A pretendida economia do aço se converteu em maior consumo em kg/m³ do que o obtido com CA-50. Possivelmente, tal divergência esteja associada à inversão do sinal de momentos verificada no presente trabalho, sobretudo na região próxima aos apoios onde há influência de momentos negativos e positivos. Tal inversão de sinais na flexão não se percebe no trabalho de Moreira, Fontana e Meo [13] haja vista que as longarinas são simplesmente apoiadas sem balanços.

Tabela 5 – Verificação no Estado-Limite Último de Fadiga (ELU-FAD) das longarinas.

Seção (m)	Msd+ (kN.m)	Msd- (kN.m)	CA-50		CA-70		ε (%)
			Δσss (MPa)	Asfinal (cm²)	Δσss (MPa)	Asfinal (cm²)	
0	0	0	0	40,19	0,00	28,71	28,6%
1	-149,47	-276,27	16,2	40,19	23,93	28,71	28,6%
2	-357,24	-674,24	40,5	40,19	59,81	28,71	28,6%
3	-623,88	-1199,56	73,56	40,19	108,62	32,83	18,3%
4	-949,93	-1900,95	100,29	53,47	136,05	51,81	3,1%
4,5	-1135,41	-2276,63	102,63	66,64	145,81	67,64	-1,5%
5,5	13,05	-1434,90	184,91	83,70	235,39	76,12	9,1%
6,5	1052,10	-744,70	285,23	93,98	393,34	102,16	-8,7%
7,5	1993,73	-113,63	180,99	102,27	288,15	115,14	-12,6%
8,5	2840,74	458,86	146,29	114,04	202,78	112,17	1,6%
9	3228,97	723,30	128,97	113,77	213,31	132,66	-16,6%
10	3934,68	1208,86	98,79	106,14	167,42	125,94	-18,6%
11	4546,55	1636,67	94,14	118,36	149,78	129,93	-9,8%
12	5064,57	2006,73	81,58	131,90	134,85	130,27	1,2%
13	5497,21	2319,04	78,03	143,72	115,19	121,42	15,5%
14	5842,61	2573,60	74,28	153,42	118,48	132,50	13,6%
15	6094,17	2770,41	70,39	160,99	107,53	125,93	21,8%
16	6251,90	2909,47	70,78	165,00	108,14	129,80	21,3%
17	6315,77	2990,78	70,41	166,55	107,57	130,34	21,7%

Msd+: Momento positivo solicitante de projeto no ELU-FAD;
Msd-: Momento negativo solicitante de projeto no ELU-FAD;
Δσss: Flutuação de tensão na armadura;
Asfinal: Área de aço da armadura longitudinal necessária para atendimento ao ELU-FAD.

CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou o caso de uma ponte rodoviária comparando o uso dos aços CA-50 e CA-70 na armadura longitudinal.

Para a ponte em estudo, confirmou-se a condição de maior deformabilidade de longarinas armadas com CA-70, quando comparadas às equivalentes armadas com CA-50. Os deslocamentos máximos foram da ordem de 25% superiores aos obtidos nas longarinas armadas com CA-50.

Ademais, as longarinas armadas com CA-70 se mostraram mais suscetíveis à fissuração, com abertura caraterística de fissuras da ordem de até 40% a mais daquelas observadas nas longarinas equivalentes armadas com CA-50. No Estado-Limite de Abertura de Fissuras, a longarina armada com CA-70 precisou de incremento de área de aço na seção 4,5 para que o referido Estado-Limite fosse satisfeito.

Na verificação do Estado-Limite Último de Fadiga, tanto as longarinas armadas com CA-50, como as armadas com CA-70, demandaram acréscimo de área de aço para atendimento do referido Estado-Limite. Porém, a armadura de CA-70 apresentou flutuação de tensão da ordem de 40% superior ao caso das longarinas armadas com CA-50.

Finalmente, após atendimento de todos os Estados-Limite propostos, a taxa geométrica de armação para as longarinas armadas com CA-50 foi de 75,8 kg/m³, enquanto no caso das equivalentes armadas com CA-70 foi de 84 kg/m³. O resultado para a ponte estudada, possivelmente guarde relação com a inversão no sentido dos momentos presente neste tipo estrutural; sendo prováveis resultados mais favoráveis ao aço CA-70 em casos de pontes cujo esquema estrutural não resulte inversão de sentido de momentos. Todavia, reforça-se a necessidade de se procederem maiores estudos e ensaios para o uso do aço novo, sobretudo em condições de carregamento cíclico e fadiga.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL. **Recomendação 008. Barras de aço com 700 MPa de resistência característica ao escoamento (CA-70): Projeto de blocos de fundação.** São Paulo, 2024. 18p.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2023.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: **Ações devido ao tráfego de veículos rodoviários e de pedestres em pontes, viadutos e passarelas.** Rio de Janeiro, 2024.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: **Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2024.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: **Ações e segurança nas estruturas - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.

[6] CHOLFE, L; BONILHA, L. **Concreto protendido: teoria e prática.** 1 ed. São Paulo: Pini, 2013.

[7] EL DEBS, M. K. **Pontes de concreto: com ênfase na aplicação de elementos pré-moldados.** 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

[8] EL DEBS, M. K. et al. **Análise das consequências do tráfego de CVCs (combinação de Veículos de Carga) sobre as obras de arte especiais da rodoviária do DER-SP.** Relatório Técnico EESC-SUP. São Carlos, 2001.

[9] FTOOL. **Two-dimensional Frame Analysis Tool.** Instituto de Desenvolvimento de Software Técnico-Científico PUC-Rio. Rio de Janeiro: Tecgraf/PUC-Rio, 2024.

[10] Gerdau lança novo vergalhão de alta resistência. Gerdau, 2022. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/2022/02/07/gerdau-lanca-novo-vergalhao-de-alta-resistencia/>. Acesso em: 09 de novembro de 2024.

[11] GILBERT, R.; MICKLEBOROUGH, N.; RANZI, G. **Design of prestressed concrete to Eurocode 2.** 2 ed. Boca Raton: Taylor&Francis Group, 2017.

[12] MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado.** 2 ed. São Paulo: Blucher, 2018.

[13] Moreira, A. R.; Fontana, P.; Meo, B. M. Estudo sobre a Eficiência e Aplicação do Aço GG 70 (Gerdau) em Obras de Arte Especiais – Um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 14., 2023, Rio de Janeiro. **Anais ...**Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pontes e Estruturas, 2023. p.1-12.

[14] Vergalhão ArcelorMittal 70 S AR, desenvolvimento pioneiro que combina eficiência, economia e sustentabilidade. Disponível em: <https://conexao.arcelormittal.com.br/distribuidor/noticias/vergalhao-arcelormittal-70-s-ar-desenvolvimento-pioneiro-que-combina-eficiencia-economia-e-sustentabilidade>. Acesso em: 10 de novembro de 2024.

[15] Vitório, J. A. P. Danos e acidentes estruturais causados pela erosão e pelas cheias nas fundações e nos aterros de acesso de pontes rodoviárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 9., 2016, Rio de Janeiro. **Anais...**.Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pontes e Estruturas, 2016. p.1-10.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-9

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

ANÁLISE DO CICLO DE PRODUÇÃO DO RCD NO DISTRITO FEDERAL/BRASIL EM 2025

SOUSA, Pedro Henrique[1]; RÊGO, João Henrique[2]; PEREIRA, Cláudio Henrique[3]

[1] UnB – Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, sousa.pedro@aluno.unb.br, 0009-0006-3547-2878
[2] UnB – Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, jhenriquerego@unb.br, 0000-0001-9060-2010
[3] UnB – Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, claudiopereira@unb.br, 0000-0003-2170-0068

RESUMO

A crescente geração de Resíduos da Construção Civil (RCC) no Brasil exige ações eficazes de gestão, especialmente em regiões como o Distrito Federal (DF) - Brasil, onde o uso de agregados reciclados (AR) pode impulsionar a sustentabilidade na construção civil. Este estudo teve como objetivo geral avaliar a gestão pública de RCC no DF, com ênfase na produção e uso de AR, a partir da análise de documentos oficiais, dados quantitativos e visitas técnicas às duas Áreas de Triagem e Transbordo de Resíduos (ATTRs) em operação. A metodologia combinou pesquisa documental e levantamento de dados secundários (2024), além de observação direta nas ATTRs. Os resultados apontam um desempenho institucional classificado como "baixo", com escore inferior a 25 pontos no PDGIRS, e uma taxa de reciclagem de 35,69%, aquém da meta de 50% até 2027. A ATTR privada demonstrou maior controle operacional e qualidade do material, em contraste com limitações da unidade pública. Conclui-se que o avanço na gestão de RCC no DF depende de melhorias técnicas, normativas e institucionais, promovendo a valorização do AR como estratégia de economia circular.

Palavras-chave: resíduos da construção; sustentabilidade; políticas públicas; reciclagem.

ABSTRACT

The growing volume of Construction and Demolition Waste (CDW) in Brazil highlights the need for efficient management strategies, especially in the Federal District (FD) - Brazil, where recycled aggregates (RA) can enhance sustainability in civil construction. This study aims to evaluate CDW public management in the FD, focusing on RA production and application, through the analysis of official documents, quantitative data, and technical visits to the two operating Waste Transfer and Sorting Areas (ATTRs). The methodology involved document analysis, secondary data from 2024, and direct observation. Results show that public performance was classified as "low" with a score below 25 points in the PDGIRS, and a recycling rate of 35.69%, below the 50% target for 2027. The private ATTR demonstrated superior operational and material quality. It is concluded that improvements in technical, regulatory, and institutional aspects are essential to strengthen CDW management and promote RA as a strategy aligned with the circular economy.

Keywords: construction waste; sustainability; public policy; recycling.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil desempenha um papel central na economia brasileira, representando aproximadamente 3,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional em 2020, segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2021). No entanto, o crescimento contínuo do setor está diretamente relacionado à intensificação da geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), que representam um dos maiores desafios ambientais e de gestão urbana nas cidades brasileiras.

Estima-se que, em 2022, foram geradas cerca de 45 milhões de toneladas de RCD no Brasil, conforme levantamento da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA, 2023). Grande parte desses resíduos ainda tem como destino os aterros, o que evidencia uma subutilização de seu potencial de reaproveitamento (Mello, 2022). No contexto do Distrito Federal, essa realidade é agravada pelo crescimento urbano acelerado, pelo adensamento populacional e pela falta de práticas eficazes de gestão integrada e reaproveitamento de resíduos.

A má gestão do RCD contribui para o descarte inadequado em locais ambientalmente sensíveis, como margens de rios, lotes vazios e áreas de preservação. Além disso, amplia a demanda por matérias-primas virgens, intensificando os impactos da cadeia produtiva da construção civil sobre os recursos naturais. A ausência de articulação entre os agentes públicos, o déficit de fiscalização e a carência de metas específicas para o setor dificultam a transição para um modelo sustentável de gestão de resíduos.

Nesse cenário, a análise do ciclo de vida dos resíduos da construção e demolição no Distrito Federal surge como ferramenta essencial para compreender as lacunas, identificar os gargalos operacionais e propor alternativas para a promoção de uma economia circular no setor. A gestão eficiente dos RCD passa por todas as etapas da cadeia: desde a geração, transporte, triagem e destinação final, até o reaproveitamento em novas aplicações, como a produção de agregados reciclados.

Este artigo tem como objetivo discutir o ciclo do RCD no Distrito Federal, destacando os desafios e oportunidades associados à gestão desses resíduos, bem como as tecnologias e práticas que podem contribuir para o seu reaproveitamento sustentável. A compreensão desse ciclo é essencial para subsidiar a formulação de políticas públicas, fomentar iniciativas privadas e promover o desenvolvimento urbano com menor impacto ambiental.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho seguiu uma abordagem qualitativa, dividida em três etapas principais: análise documental, levantamento de dados públicos e visitas técnicas a unidades de reciclagem de RCD no Distrito Federal. Essa estrutura permitiu compreender o funcionamento do ciclo de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) na região, identificar gargalos na gestão pública e privada e apontar oportunidades para aprimoramento do sistema. A seguir, são descritas as etapas que fundamentaram o desenvolvimento do estudo.

2.1 Análise do PDGIRS (Programa Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos)

A primeira etapa consistiu na leitura crítica do Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS), com foco na gestão dos resíduos da construção civil. O documento foi examinado com o intuito de compreender a organização institucional proposta, as metas estabelecidas e os indicadores de desempenho relacionados ao tema. Também foram analisadas as diretrizes relativas aos fluxos de resíduos, mecanismos de fiscalização, papel dos diferentes atores envolvidos (poder público, setor privado e sociedade civil), além das políticas previstas para a valorização de resíduos e a promoção da economia circular.

2.2 Levantamento de dados

Para embasar essa análise, foram consultadas fontes documentais oficiais, que forneceram dados sobre a geração e o manejo de resíduos sólidos no Distrito Federal. Entre as principais fontes, destacaram-se o Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS) do DF, publicado em 2024, que apresentou diretrizes e diagnósticos sobre a gestão de resíduos na região, e o Panorama dos Resíduos Sólidos, elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2017), que ofereceu um panorama nacional e regional sobre a geração e destinação de resíduos. Além disso, foram utilizados dados sobre jazidas de agregados naturais no DF, disponibilizados

pela Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (Novacap), os quais possibilitaram estimar a demanda por agregados e o potencial de substituição por materiais reciclados. Relatórios técnicos do Serviço de Limpeza Urbana (SLU) também foram analisados, com foco em informações sobre a geração de Resíduos da Construção Civil (RCC) no DF, incluindo os volumes coletados, as formas de destinação final e as práticas atualmente empregadas para reciclagem.
As informações obtidas por meio dessas fontes documentais foram utilizadas como base para caracterizar o cenário da geração e gestão dos RCC no Distrito Federal, além de subsidiar a preparação para as visitas técnicas descritas no tópico seguinte.

2.3 Visitas

A última etapa metodológica consistiu na realização de visitas técnicas e entrevistas semiestruturadas em duas unidades de reciclagem de resíduos da construção civil localizadas no Distrito Federal: a Unidade de Recebimento de Entulho (URE) da Estrutural e a empresa Martins Ambiental. Essas visitas tiveram como objetivo compreender os processos operacionais adotados pelas unidades, desde o recebimento dos resíduos até a produção final do agregado reciclado (AR). Durante as visitas, foram observadas as etapas de recepção, triagem (manual e mecânica), britagem, peneiramento e estocagem dos materiais reciclados. Além disso, foram coletadas informações sobre os equipamentos utilizados, os procedimentos de controle de qualidade adotados, os critérios de separação dos resíduos e as características físicas dos produtos finais.
Para além da observação direta nas visitas técnicas, também foram realizadas entrevistas com os responsáveis técnicos das unidades, com o intuito de aprofundar a compreensão sobre a estrutura de funcionamento, os tipos de resíduos predominantemente recebidos e os principais desafios enfrentados no processo de reciclagem. As entrevistas objetivaram complementar os dados levantados in loco, proporcionando uma análise mais detalhada do cenário. As informações foram registradas por meio de anotações e registros fotográficos, respeitando os protocolos de autorização das empresas envolvidas.

3. RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os principais resultados obtidos a partir do levantamento de dados, das visitas técnicas e da análise documental realizada ao longo da pesquisa. As informações são organizadas de forma a evidenciar as práticas atuais de gestão dos resíduos da construção civil no Distrito Federal, com destaque para os pontos críticos identificados, os avanços observados e o potencial de aproveitamento dos agregados reciclados na região.

3.1 Análise do PDGIRS

A partir da análise do Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS), foi possível compreender a complexidade do ciclo dos Resíduos da Construção Civil (RCC) no Distrito Federal e identificar as principais fragilidades e oportunidades dentro do sistema vigente. O PDGIRS apresenta um diagnóstico abrangente do cenário local, abordando a geração, a coleta, o transporte, o tratamento, a destinação final e a regulamentação dos RCC.
O documento identifica que os RCC representam a maior fração dos resíduos sólidos gerados no Distrito Federal, totalizando cerca de 1,5 milhão de toneladas por ano, e que sua gestão apresenta elevado grau de informalidade e dispersão. Nesse contexto, os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) são equipamentos públicos essenciais para viabilizar o descarte correto de pequenos volumes (até 1m³ por gerador/dia), sendo direcionados especialmente aos pequenos geradores. Atualmente, existem diversos PEVs em funcionamento distribuídos estrategicamente pelo território do Distrito Federal, conforme ilustrado na Figura 1, que foi elaborada a partir de levantamento realizado pelo autor.

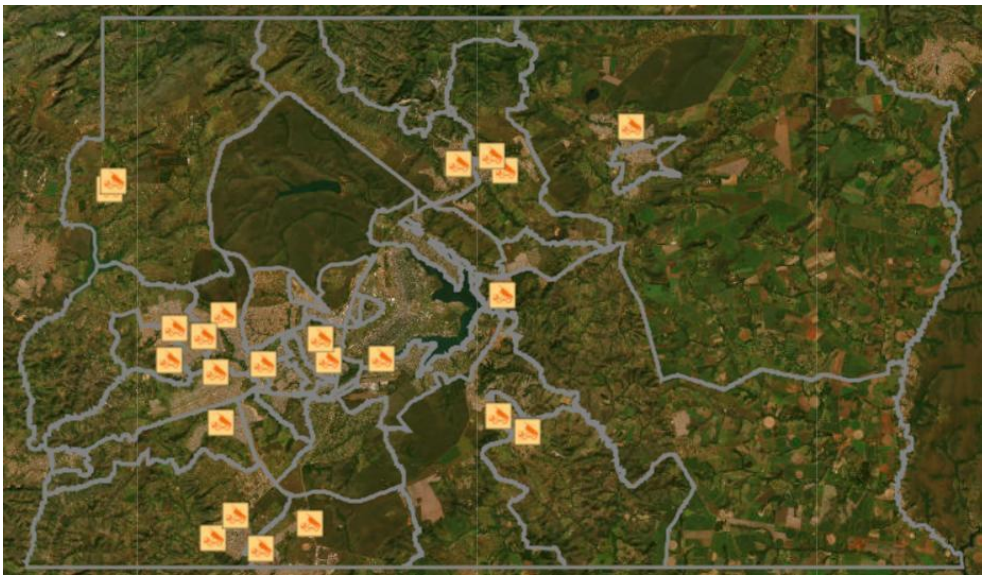


Figura 1 - Distribuição geográfica dos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) em funcionamento no Distrito Federal [11]

Apesar da presença dos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), o desempenho da gestão de Resíduos da Construção Civil (RCC) no Distrito Federal ainda é considerado insuficiente, conforme diagnóstico apresentado pelo próprio Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS). Esse diagnóstico se baseia na avaliação de desempenho das ações públicas voltadas ao manejo de RCC, que consiste na aplicação de uma metodologia que considera diversos indicadores institucionais, operacionais e estruturais da política pública, atribuindo-lhes pontuações de acordo com o nível de implantação e efetividade de cada ação.

A metodologia utilizada no PDGIRS estabelece uma escala de pontuação de 0 a 100 pontos, sendo considerado desempenho baixo quando a pontuação é inferior a 25 pontos, desempenho regular para pontuações entre 25 e 50 pontos, desempenho bom entre 50 e 75 pontos, e desempenho ótimo quando os escores superam os 75 pontos. Essa classificação permite uma leitura mais objetiva do estágio de desenvolvimento da gestão dos RCC e serve como referência para a definição de prioridades e o redirecionamento de estratégias no planejamento público.

A avaliação revelou que o desempenho geral da gestão de RCC foi classificado como baixo, com escore inferior a 25 pontos. Entre os aspectos com pior avaliação, destacaram-se a ausência de articulação entre os entes públicos envolvidos, a inexistência de metas específicas para RCC no planejamento governamental, a falta de controle efetivo sobre a destinação final dos resíduos e a ausência de um sistema robusto de fiscalização. Aspectos classificados com desempenho regular (com escore entre 25 e 50 pontos) incluíram o conhecimento ainda parcial sobre os principais geradores de RCC, a cobertura limitada dos serviços de coleta regular e a atuação restrita dos PEVs. Para ilustrar visualmente como funciona um desses pontos de entrega voluntária no Distrito Federal, apresenta-se na Figura 2 uma imagem representativa de um PEV em operação.

Por fim, os parâmetros que obtiveram melhor avaliação, embora ainda insuficientes, estão relacionados à existência de diretrizes gerais no marco legal vigente e à operação de algumas Áreas de Triagem e Transbordo de Resíduos (ATTRs), que atuam em conformidade com a legislação ambiental.



Figura 2 - Exemplo de PEV [21]

O funcionamento do ciclo de RCC no Distrito Federal é representado de maneira esquemática na Figura 33, que ilustra os principais agentes responsáveis pela coleta e transporte. O Serviço de Limpeza Urbana (SLU) atua em situações de descarte irregular em áreas públicas, enquanto empresas privadas e carroceiros são contratados diretamente pelos geradores para realizar o transporte dos resíduos. Essa diversidade de agentes evidencia a fragmentação e informalidade do sistema logístico, exigindo regulamentações mais rígidas e mecanismos de controle para assegurar a rastreabilidade e a destinação adequada dos RCC.

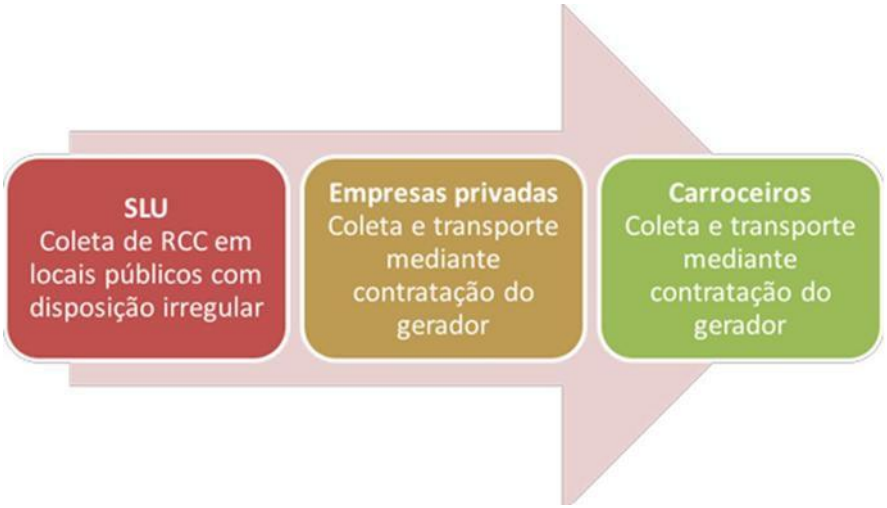


Figura 3 - Agentes responsáveis pela coleta e transporte dos RCC no Distrito Federal [22]

O ciclo de Resíduos da Construção Civil (RCC) no Distrito Federal envolve diversos agentes responsáveis pela coleta e transporte, conforme ilustrado na Figura 3. O Serviço de Limpeza Urbana (SLU) atua em casos de descarte irregular em áreas públicas, enquanto empresas privadas e carroceiros são contratados diretamente pelos geradores para o transporte dos resíduos. Essa multiplicidade de atores evidencia a fragmentação e informalidade do sistema logístico, demandando regulamentações mais rigorosas e mecanismos de controle para garantir a rastreabilidade e a destinação adequada dos RCC.

Além da logística física, o Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS) detalha a estrutura institucional que rege o gerenciamento dos RCC, conforme esquematizado na Figura 4. O processo inicia-se com os geradores públicos e privados, que devem elaborar o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), obrigatório para obras que gerem mais de 1 m³ de resíduos, conforme a Resolução CONAMA nº 307/2002. Pequenos

geradores podem dispor seus resíduos nos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) autorizados. O Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) é responsável pelo licenciamento ambiental dos PGRCC e coordena o Sistema Integrado de Gestão de Resíduos. A Agência de Fiscalização do Distrito Federal (AGEFIS) fiscaliza as etapas operacionais, especialmente a coleta, transporte e destinação final dos resíduos. O Comitê Orientador para Resíduos da Construção (CORC) estabelece diretrizes e regulamentos técnicos aplicáveis à cadeia dos RCC. Após a coleta, os resíduos são direcionados às Áreas de Transbordo e Triagem de Resíduos (ATTRs) e, conforme a triagem, seguem para reciclagem ou para o aterro de inertes, quando não há possibilidade de reaproveitamento.

Após a coleta, os resíduos são encaminhados para as Áreas de Transbordo e Triagem de Resíduos (ATTRs), onde passam por processos de separação. Os materiais com potencial de reaproveitamento seguem para a reciclagem, enquanto os rejeitos, que não apresentam viabilidade técnica ou econômica de reuso, são encaminhados ao aterro de inertes.

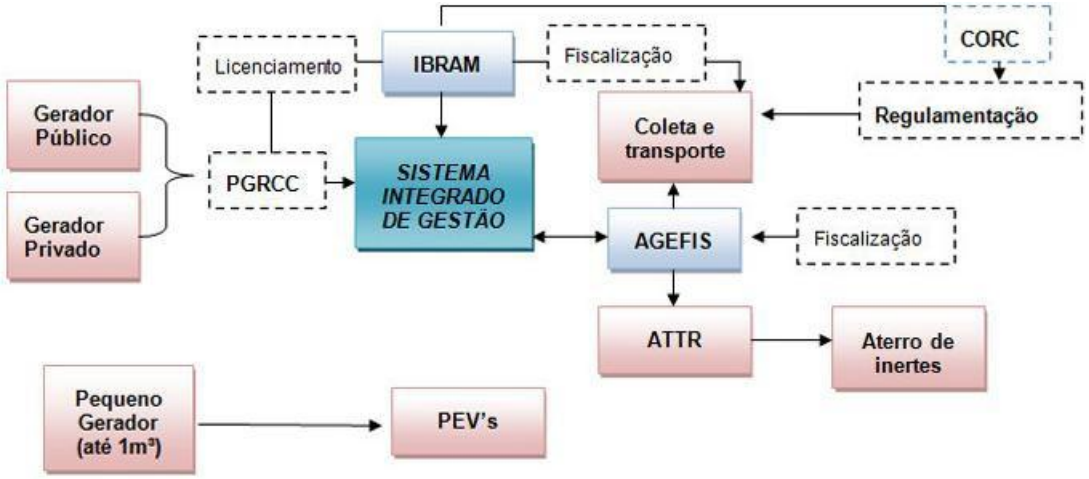


Figura 4 - Estrutura institucional do Sistema Integrado de Gestão dos RCC no Distrito Federal [22]

Por fim, a Figura 5, apresentada a seguir, esquematiza o fluxo de gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil (RCC) no Distrito Federal, destacando as principais etapas envolvidas, desde a geração até a disposição final. O diagrama evidencia que o processo tem início com a elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), obrigatório para grandes geradores mediante solicitação de licença junto ao Instituto Brasília Ambiental (IBRAM).

A etapa seguinte refere-se à geração dos resíduos, que pode ocorrer tanto em pequenas reformas e construções quanto em grandes obras que ultrapassem o volume de 1 m³. Após a geração, os resíduos devem ser devidamente acondicionados: pequenos geradores utilizam caixas e sacos, enquanto grandes geradores utilizam, geralmente, caçambas estacionárias do tipo “caixa brooks”.

A coleta e o transporte dos RCC são realizados por veículos específicos, como caminhões do tipo poliguindaste e basculantes, além de, em alguns casos, veículos de tração animal operados por carroceiros. Finalmente, os resíduos seguem para a disposição final, que, conforme apontado na imagem, ocorre no Aterro do Jóquei, que em outro momento do texto, foi nomeado como URE da Estrutural. Esse fluxo evidencia a necessidade de organização e controle em todas as etapas, desde a documentação obrigatória até a destinação ambientalmente adequada dos resíduos, reforçando a importância da fiscalização e do cumprimento das normas locais.

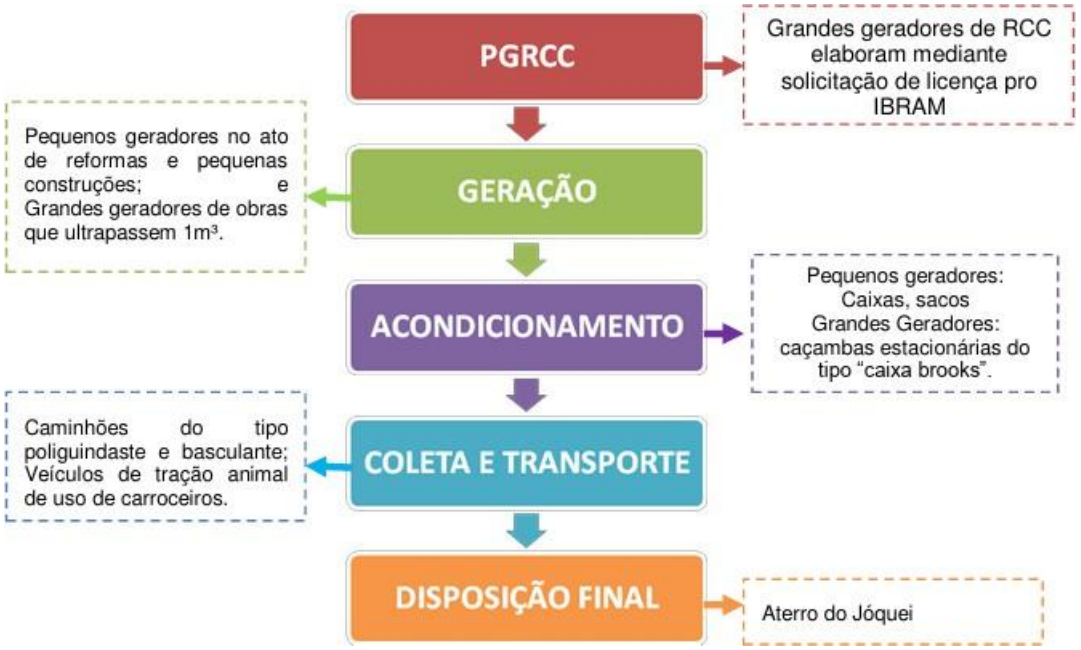


Figura 5 - Fluxograma do manejo de RCC [22]

3.2 Levantamento de dados

Nesta seção, são apresentados os principais resultados obtidos a partir da coleta e análise de dados documentais oficiais sobre a gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC) no Distrito Federal (DF), com ênfase no desempenho das ações públicas, produção de agregados reciclados e infraestrutura disponível para a triagem e destinação desses materiais.
No que se refere à infraestrutura, o DF conta atualmente com duas Áreas de Tratamento e Transbordo de Resíduos (ATTRs) em operação — uma pública e outra privada. As ATTRs são unidades projetadas para receber grandes volumes de RCC, concentrar o material em lotes maiores (transbordo), realizar a separação de frações recicláveis por triagem manual ou mecânica e encaminhar os resíduos valorizáveis para britagem e classificação, produzindo agregado reciclado, enquanto os rejeitos seguem para aterros de inertes. O PDGIRS prevê a instalação de sete ATTRs no DF, mas, até o momento, apenas duas unidades dispõem de licença de operação — a Cooperativa Ambiental dos Coletores e Recicladores de Resíduos Sólidos do DF (COOPERCOLETA) e a Areia Bela Vista — sendo que a primeira encontra-se paralisada. A ATTR pública, localizada na Cidade Estrutural, informou que, em 2024, processou 233.405,33 toneladas de agregados reciclados, classificados em diferentes granulometrias, conforme demonstrado na tabela de metodologia.
A análise da coleta de entulho no DF revelou claras diferenças entre as modalidades manual e mecanizada. Em 2024, o volume coletado manualmente foi de 21 489,95 toneladas, enquanto a coleta mecanizada alcançou 632 444,64 toneladas. Com base nesses valores, a taxa de reciclagem de RCC foi estimada em 35,69%, calculada pela proporção entre o agregado reciclado produzido e o total de resíduos coletados. O detalhamento da produção de agregados reciclados por faixa granulométrica encontra-se na Tabela 1, que exibe a quantidade processada em cada classe ao longo do ano.

Tabela 1 – Distribuição da Produção de Agregados Reciclados por Classe Granulométrica [Autor, 2025]

	Tipo de agregado reciclado de acordo com faixa granulométrica					
	Pó/Areia	Brita 2	Brita 3	Brita 4	Rachão	Total Reciclado
Quantidade em Toneladas	130.570,98	26.208,39	27.898,38	43.919,36	4.808,22	233.405,33

Por fim, em relação às metas estabelecidas, o PDGIRS busca elevar progressivamente a reciclagem de RCC — visando atingir 50% até 2027 — além de ampliar a cobertura dos serviços, reforçar a atuação das ATRRs e fortalecer o controle sobre a destinação final. Entretanto, os dados de 2024 indicam um descompasso relevante entre os objetivos traçados e a realidade operacional, ressaltando a necessidade de ações coordenadas para superar as lacunas identificadas e melhorar o desempenho da gestão de RCC no DF.

3.3 Visitas à ATTRs

Nesta seção, são apresentadas as principais observações obtidas durante as visitas técnicas às duas ATTRs em operação no Distrito Federal: a unidade pública da Cidade Estrutural e a unidade privada. O objetivo dessas visitas foi verificar in loco as condições de infraestrutura, os procedimentos de recepção, triagem, britagem e classificação dos resíduos, bem como os mecanismos de controle de qualidade do agregado reciclado em cada instalação. Os resultados estão organizados em dois subtópicos — ATTR pública e ATTR privada —, permitindo destacar as semelhanças e diferenças operacionais entre ambas as unidades.

3.3.1 ATTR Pública

A URE (Unidade de Recebimento de Entulho) da Estrutural está instalada sobre o antigo lixão desativado da região e funciona como principal polo público de recebimento de Resíduos da Construção Civil (RCC) no Distrito Federal. Todo o material ali encaminhado chega por dois canais principais: via coleta contratada — realizada por caminhões poliguindaste, basculantes ou, em pequenas quantidades, por carroceiros — que retiram o entulho direto dos canteiros de obras, e por descarte voluntário nos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), onde pequenos geradores depositam volumes de até 1 m³. Além disso, os rejeitos que não são aproveitados pelas unidades privadas de tratamento e transbordo também retornam à URE para destinação adequada.

No que diz respeito ao beneficiamento, o processo na URE da Estrutural inicia-se com a triagem manual do entulho, quando operários separam contaminantes e grandes volumes de não-inertes. Em seguida, os materiais selecionados são empilhados em montes e submetidos à britagem, etapa responsável pela geração do agregado reciclado. Após a britagem primária, o produto passa por peneiramento dividido em três faixas granulométricas distintas.

Entretanto, verifica-se considerável variação no diâmetro das partículas, sobretudo na fração mais fina, cuja distribuição granulométrica ultrapassa simultaneamente os limites para areia fina, média ou grossa definidos pela NBR 7211:2019. Isso ocorre porque, durante o peneiramento, o controle incide apenas sobre o diâmetro máximo, não havendo seleção rigorosa das partículas menores. Como consequência, a “areia reciclada” comercializada inclui partículas de diversas classes granulométricas, o que reforça a necessidade de um peneiramento complementar quando se pretende utilizar esse material em argamassas ou concretos que exigem controle estrito da granulometria. Uma ilustração esquemática do processo descrito pode ser visualizada na Figura 6, construída a partir da visita técnica à ATTR pública.



Figura 6 - Fotografia da operação na ATTR pública (URE Estrutural), capturada durante visita técnica [Autor, 2025]

3.3.2 ATTR Privada

Atualmente, a ATTR visitada representa a única unidade de economia privada em operação no Distrito Federal dedicada à coleta, triagem e reciclagem de resíduos da construção civil (RCC). A empresa é devidamente licenciada ambientalmente e atua exclusivamente com materiais provenientes da própria operação de coleta, permitindo um maior controle sobre a qualidade da matéria-prima recebida. Os resíduos, oriundos de obras da própria unidade de coleta, são triados de forma seletiva em caçambas específicas, de acordo com o tipo de material, como madeira, concreto ou cerâmica. Após o recebimento, os resíduos são depositados em um ponto denominado “montante principal” e, em seguida, submetidos a um processo de tri
agem que combina técnicas manuais e mecanizadas. A separação ocorre sobre esteiras transportadoras e conta com a atuação de sopradores e outros dispositivos automatizados, permitindo a segregação dos materiais em três categorias principais: resíduos rochosos (compostos por concreto e cerâmica), metais (como aço e ferro) e madeira. Os materiais metálicos são separados para fins de comercialização, enquanto os resíduos classificados como rejeitos, como plásticos, tecidos e outros materiais não passíveis de aproveitamento, são encaminhados à Unidade de Recebimento de Entulho (URE) da Estrutural. A madeira é triturada, originando cavacos, e os resíduos rochosos seguem para o processo de britagem e peneiramento, a fim de produzir agregados reciclados.

De acordo com informações obtidas durante entrevista com o responsável técnico da unidade, a separação granulométrica na ATTR privada ocorre em diferentes faixas, sendo controlada nas etapas de britagem e peneiramento. O material pulverulento, originado tanto da triagem quanto do processo de britagem, é classificado como “aterro” e pode ser associado a uma areia fina residual. Em sequência, é produzida a fração denominada “areia RCC”, cujas características granulométricas se assemelham às de uma areia média-grossa. Também são geradas outras faixas de agregados, como o pedrisco (brita 0), a brita 1 RCC e o rachão, sendo este último equivalente à brita 3 em termos de granulometria. Todas essas frações são destinadas à comercialização e aplicadas, principalmente, em obras de infraestrutura urbana. A Figura 7 apresenta um registro fotográfico realizado durante a visita técnica à ATTR privada, ilustrando aspectos operacionais e estruturais da unidade.



Figura 7 - Fotografia da operação na ATTR privada, capturada durante visita técnica [Autor, 2025]

4. CONCLUSÕES

A pesquisa avaliou a gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC) no Distrito Federal, com foco na produção e aproveitamento de agregados reciclados (AR), por meio de análise documental, levantamento de dados e visitas técnicas. Os resultados indicaram avanços pontuais, mas também limitações estruturais que comprometem a eficácia da política pública. O desempenho da gestão foi classificado como baixo pelo PDGIRS, com escore inferior a 25 pontos, evidenciando fragilidades na fiscalização, na articulação entre órgãos e no planejamento estratégico. A produção de 233.405,33 toneladas de AR em 2024 na ATTR pública e a taxa estimada de reciclagem de 35,69% indicam algum progresso, mas ainda distantes da meta de 50% até 2027. As visitas técnicas revelaram diferenças relevantes entre as unidades pública e privada, sendo que a iniciativa privada apresentou maior controle de qualidade e segregação dos resíduos, enquanto a unidade pública enfrenta desafios operacionais e ambientais, sobretudo por operar sobre um antigo lixão. O estudo conclui que o sistema atual carece de ações coordenadas para avançar, sendo prioritário o fortalecimento institucional com metas claras e fiscalização efetiva, a valorização do AR com incentivos e normatização técnica, e a expansão da infraestrutura com a efetiva implementação das ATTRs previstas no PDGIRS. Há, portanto, um potencial significativo para ampliar a reciclagem de RCC no DF, desde que sejam superados os entraves técnicos e institucionais, pois o aproveitamento do AR representa uma estratégia concreta para reduzir impactos ambientais e promover uma economia mais circular e sustentável no setor da construção.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e institucional concedido ao desenvolvimento desta pesquisa. Estendemos nossos agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (PECC/UnB) pelo suporte acadêmico e científico, bem como à Rede Ibero-Americana de Cidades e Comunidades Sustentáveis (RINCIMCI) e ao Programa

Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED), cuja cooperação e intercâmbio de conhecimentos foram fundamentais para o fortalecimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

[1] 56° CBQ - ESTUDO DA DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DE CALCITA. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2016/trabalhos/2/10222-18366.html>. Acesso em: 23 mar. 2025.

[2] Entendendo a participacao da construcao civil no PIB brasileiro ao longo dos anos. Disponível em: <https://www.feicon.com.br/pt-br/blog/construtores---engenheiros---projetistas/entendendo-a-participacao-da-construcao-civil-no-pib-brasileiro-.html>. Acesso em: 16 dez. 2024.

[3] SEEG Brasil – O Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) oferece dados em tempo real, que apoiam a transformação necessária para enfrentar os desafios globais que afetam todas as regiões brasileiras. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 14 abr. 2025.

[4] GDF oferece 23 papa-entulhos para descarte correto de resíduos. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2023/07/23/gdf-oferece-23-papa-entulhos-para-descarte-correto-de-residuos/agenciabrasilia.df.gov.br>. Acesso em: 16 mar. 2025.

[5] Instrução 43 de 21/10/2024. Disponível em: <https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/7df27e10f8bf4e5dab5944d281baff88/slu_ins_43_2024.html#art16>. Acesso em: 21 nov. 2024.

[6] IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 7 fev. 2025.

[7] LIXO: BRASIL GEROU MAIS DE 40 MIL TONELADAS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO – ABREMA. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/2024/06/18/lixo-brasil-gerou-mais-de-40-mil-toneladas-de-residuos-de-construcao/>. Acesso em: 16 dez. 2024.

[8] The 5C Approach. Cembureau. Disponível em: <https://lowcarboneconomy.cembureau.eu/5-years-on/the-5c-approach/>. Acesso em: 7 fev. 2025.

[9] Umidade agregados miúdos. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/09/umidade-agregados-miudos.html>. Acesso em: 21 mar. 2025.

[10] Entendendo a participação da construção civil no PIB brasileiro ao longo dos anos. Disponível em: <https://www.feicon.com.br/pt-br/blog/construtores---engenheiros---projetistas/entendendo-a-participacao-da-construcao-civil-no-pib-brasileiro-.html>. Acesso em: 16 dez. 2024.

[11] Papa-entulho. Disponível em: <https://sigportal.slu.df.gov.br/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=08124c9700904ab8af48589375af52c7>. Acesso em: 8 abr. 2025.

[12] CONVENÇÃO-QUADRO, À. Relatório do Inventário Nacional 1990-2022.

[13] FELIPESILVA; CONSTRUÇÃO, CBIC-Câmara Brasileira da Indústria da. Construção cresce 3,5% no 2º trimestre de 2024, superando expectativas econômicas. Disponível em: <https://cbic.org.br/construcao-cresce-35-no-2o-trimestre-de-2024-superando-expectativas-economicas/>. Acesso em: 14 abr. 2025.

[14] KABIRIFAR, K; MOJTAHEDI, M; WANG, C; et al. Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. Journal of Cleaner Production, v. 263, p. 121265, 2020.

[15] MARTÍN-MORALES, M.; ZAMORANO, M.; RUIZ-MOYANO, A.; et al. Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08. Construction and Building Materials, v. 25, n. 2, p. 742–748, 2011.

[16] XUAN, D; ZHAN, B; POON, C. S. Assessment of mechanical properties of concrete incorporating carbonated recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Composites, v. 65, p. 67–74, 2016.

[17] Entendendo a participacao da construcao civil no PIB brasileiro ao longo dos anos. Disponível em: <https://www.feicon.com.br/pt-br/blog/construtores---engenheiros---projetistas/entendendo-a-participacao-da-construcao-civil-no-pib-brasileiro-.html>. Acesso em: 16 dez. 2024.

[18] Papa-entulho. Disponível em: <https://sigportal.slu.df.gov.br/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=08124c9700904ab8af48589375af52c7>. Acesso em: 8 abr. 2025.

[19] DURAN, X; LENIHAN, H; O'REGAN, B. A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling—the case of Ireland. **Resources, conservation and recycling**, v. 46, n. 3, p. 302-320, 2006.

[20] AGÊNCIA BRASÍLIA. Papa-entulhos já receberam mais de 16 mil toneladas de resíduos em 2022. Agência Brasília, 06 nov. 2022. Disponível em: https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2022/11/06/papa-entulhos-ja-receberam-mais-de-16-mil-toneladas-de-residuos-em-2022/. Acesso em: 21 abr. 2025.

[21] CONVENÇÃO-QUADRO, À. Relatório do Inventário Nacional 1990-2022.

[22] DISTRITO FEDERAL. Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS). Brasília: Governo do Distrito Federal, 2018. Disponível em: [https://www.slu.df.gov.br/planos/plano-distrital-de-residuos-solidos/]

[23] MELLO, G; FERRARINI, S; CAETANO, M. CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM UMA USINA DE RECICLAGEM VISANDO A APLICAÇÃO COMO PAVIMENTO PARA CALÇAMENTO. In: [s.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2023/VII-015.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2025.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-10

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

APROVEITAMENTO DE CAREPA DE AÇO COMO ADIÇÃO NO CONCRETO: UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL

GUEDES, Luiz Fellipe de Sousa[1]; SILVA, Maria Nair de Sousa[2]; PINTO, Moacir Lima[2]; LIMA, Julia Paixão Carvalho[2]; DIAS, Alisson Rodrigues de Oliveira[3]

[1] Universidade Estadual do Piauí, Teresina, Brasil, luizfelliper7@gmail.com, n° do ORCID 0009-0006-2767-4322

[2] Universidade Estadual do Piauí, Teresina, Brasil

[3] Universidade Estadual do Piauí, Teresina, Brasil, alissondeoliveira@ctu.uespi.br, ORCID 0000-0002-9892-6834

RESUMO

A crescente preocupação com a preservação ambiental tem impulsionado o desenvolvimento de materiais sustentáveis, como a reutilização de resíduos industriais na construção civil, o que justifica a investigação de alternativas que promovam a economia circular e a redução das emissões de CO_2. Este estudo teve como objetivo analisar a viabilidade da utilização da carepa de aço, resíduo gerado no processo de laminação, como adição no concreto, avaliou-se especificamente seu impacto nas propriedades mecânicas e microestruturais. Foram produzidos concretos com classe de resistência à compressão de 30 MPa, encorpou-se carepa de aço em teores de 3% e 6% (em volume), sendo realizadas análises de resistência à compressão e absorção de água. Os resultados indicaram que a adição de 3% de carepa de aço aumentou a resistência à compressão, reduziu a porosidade e melhorou a densidade da matriz cimentícia, enquanto a adição de 6% gerou maior heterogeneidade, assim, prejudicando a uniformidade da mistura. Conclui-se que a adição de 3% de carepa de aço é viável, visto que são evidentes os benefícios técnicos e ambientais, e se apresenta como uma solução sustentável para o reaproveitamento deste resíduo industrial.

Palavras-chave: Resíduo; Resistência à compressão; Economia circular; Concreto sustentável.

ABSTRACT

The growing concern with environmental preservation has driven the development of sustainable materials, such as the reuse of industrial waste in the construction sector, which justifies the investigation of alternatives that promote circular economy practices and the reduction of CO_2 emissions. This study aimed to analyze the feasibility of using mill scale, a residue generated during the steel rolling process, as an addition to concrete, specifically evaluating its impact on mechanical and microstructural properties. Concrete mixes with a compressive strength class of 30 MPa were produced, incorporating mill scale at 3% and 6% (by volume), and were subjected to compressive strength and water absorption tests. The results indicated that the addition of 3% mill scale increased compressive strength, reduced porosity, and improved the density of the cementitious matrix, while the 6% addition led to greater heterogeneity, thus impairing the uniformity of the mix. It is concluded that the addition of 3% mill scale is viable, as it demonstrated technical and environmental benefits, offering a sustainable solution for the reuse of this industrial residue.

Keywords: Waste; Compressive strength; Circular economy; Sustainable concrete.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação do meio ambiente vem intensificando-se nos últimos anos, e a disposição inadequada dos resíduos, com o descarte de grandes quantidades em locais inapropriados, provoca impactos negativos ao meio ambiente, trazendo riscos de contaminação do solo, do ar e água. Como resultado direto desse problema, houve um avanço significativo no desenvolvimento de novos materiais, aproveitando resíduos de diferentes setores produtivos, com o objetivo de garantir a integração e o equilíbrio entre o crescimento industrial e a preservação ambiental.

Nesse cenário, a reutilização de resíduos industriais tem ganhado destaque como estratégia para mitigar impactos ambientais e promover a economia circular. Dentre os resíduos gerados pelo setor siderúrgico, destaca-se a carepa de aço, subproduto do processo de laminação a quente. De acordo com dados do Instituto Aço Brasil (2024) [1], a produção de carepa de aço, pós e finos corresponde a cerca de 8% do volume total de aço produzido. Esse material é formado por óxidos de ferro (FeO, Fe_2O_3 e Fe_3O_4) e apresenta elevada densidade, baixa porosidade e excelente estabilidade térmica, características que o tornam atrativo para aplicações em materiais cimentícios.

Diversos estudos têm investigado a viabilidade técnica dessa aplicação. Pereira et al. (2021) [2] avaliaram a substituição parcial da areia por carepa de aço em teores de até 40%, verificando que, embora o aumento do teor de resíduo exija maior quantidade de água para manter a trabalhabilidade, é possível obter concretos com desempenho satisfatório em resistência à compressão e absorção de água quando controlados os parâmetros de dosagem. Cunha et al. (2006) [3] destacam que a adequação física e química do resíduo, por meio de beneficiamento e briquetagem, pode ampliar suas possibilidades de uso industrial, inclusive na construção civil. Outros autores também demonstram que resíduos siderúrgicos de composição similar, como cavacos de aço, podem contribuir para o incremento de propriedades mecânicas do concreto, especialmente resistência à compressão e à flexão, quando incorporados em teores adequados [4].

A incorporação de resíduos industriais como aditivos no concreto não apenas contribui para a redução do consumo de cimento Portland — com consequente redução das emissões de CO_2 — mas também pode melhorar as propriedades mecânicas e de durabilidade do material. Estudos como o de Mehta e Monteiro (2008) [5] demonstram que a adição de minerais finos ao concreto pode otimizar o empacotamento das partículas, reduzir a porosidade e aumentar a resistência à compressão e à penetração de agentes agressivos.

Além dos benefícios mecânicos, a utilização da carepa de aço no concreto também traz vantagens ambientais, como a diminuição da quantidade de resíduos dispostos em aterros e a conservação de recursos naturais. Esse aproveitamento também pode reduzir os custos de produção do concreto, uma vez que a carepa de aço é amplamente disponível e possui baixo custo em relação ao cimento Portland.

Apesar do potencial para reaproveitamento, o descarte inadequado da carepa de aço permanece uma prática comum em muitos países, resultando em acumulação em aterros industriais e desperdício de recursos valiosos. Segundo dados do Instituto Aço Brasil (2024) [1], mais de 3,1 milhões de toneladas de aço bruto são produzidos anualmente no país, ressaltando a necessidade de soluções sustentáveis para o gerenciamento do resíduo produzido.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo principal avaliar a viabilidade da utilização da carepa de aço como adição no concreto, investigando suas influências nas propriedades mecânicas e de durabilidade, bem como os benefícios ambientais decorrentes de sua aplicação.

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais

Nesta pesquisa, utilizou-se o cimento Portland CP II – E – 32. A água utilizada é de qualidade potável e oriunda do sistema de abastecimento de água local. Além disso, foi adicionado aditivo superplastificante à base de policarboxilatos. Os agregados miúdos e graúdo, areia e brita, respectivamente, foram oriundos da Região de Teresina, os quais atendiam os requisitos previstos na NBR 7211:2022 [6], e possuem granulometria dentro da zona utilizável. Inicialmente, os agregados miúdos foram secos na estufa a aproximadamente 105 °C até a constância de massa. A Tabela 1 apresenta as propriedades físicas dos agregados utilizados no traço do concreto.

Tabela 1 – Propriedades físicas dos agregados utilizados

Ensaio	Unidade	Agregado	
		Areia	Brita 12,5 mm
Diâmetro máximo característico	mm	4,75	12,5
Módulo de finura	-	2,84	6,61
Massa unitária solta	g/cm³	1,47	1,51
Massa unitária compactada	g/cm³	1,54	1,52
Massa específica	g/cm³	2,69	2,62
Material pulverulento	%	1,0	0,97

Foram realizados os ensaios granulométricos dos agregados miúdos e graúdos, conforme a NBR NM 248:2001 [7]. As curvas granulométricas são apresentadas nos Gráficos 1 e 2.

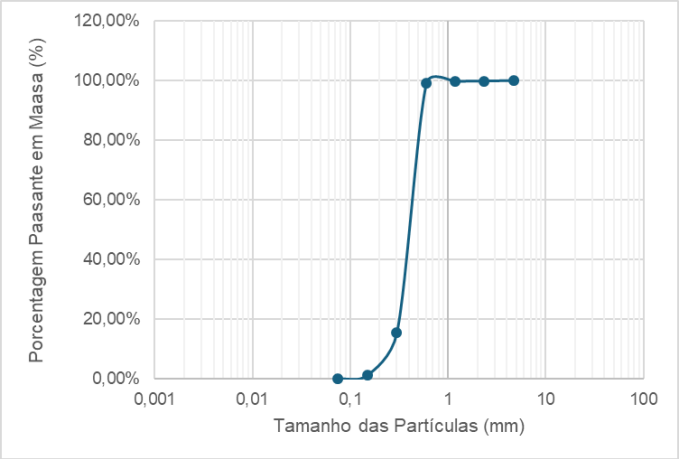


Gráfico 1 – Curva Granulométrica: Agregado Miúdo

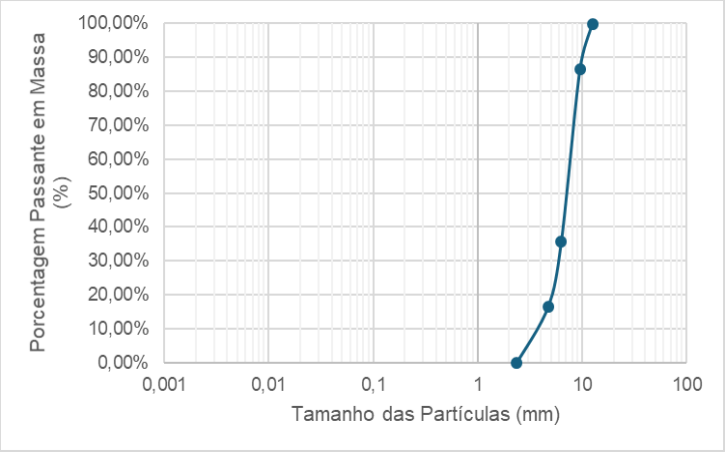


Gráfico 2: Curva Granulométrica: Agregado Graúdo

A carepa de aço é um resíduo sólido gerado na etapa de laminação do beneficiamento da matéria-prima que produz o vergalhão de aço, conforme indicado na Figura 1. A carepa de aço utilizada no presente estudo foi proveniente de indústria de beneficiamento de aço, situada em Teresina, no estado do Piauí. A princípio foi realizado o peneiramento nas peneiras com aberturas 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, respectivamente. A partir do ensaio granulométrico, obteve-se a curva granulométrica apresentada no Gráfico 3. A adição incorporada ao traço das misturas de concreto foi realizada em volume e calculada considerando o resíduo passante na peneira 0,6 mm, uma vez que o maior percentual das partículas deste ficou retido na peneira de abertura 0,3 mm.



Figura 1: Resíduo utilizado: Carepa de Aço

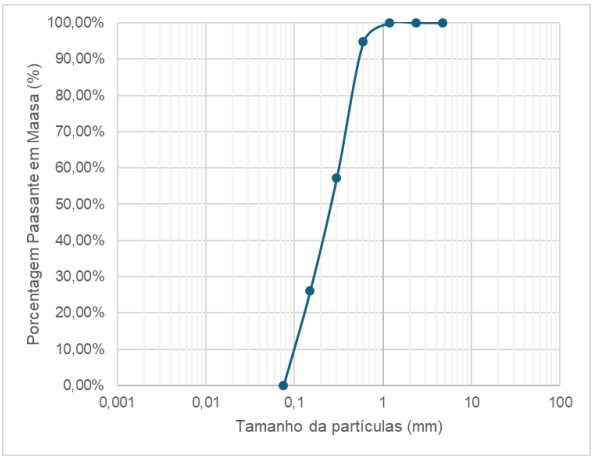


Gráfico 3: Curva Granulométrica: Carepa de Aço

A escolha por utilizar a carepa de aço como adição justifica-se pela elevada densidade, estabilidade térmica e composição predominantemente formada por óxidos de ferro (FeO, Fe_2O_3 e Fe_3O_4), que podem atuar como partículas de preenchimento, contribuindo para o empacotamento granular e redução da porosidade do concreto. Além disso, a adição da carepa de aço permite aproveitar um resíduo de expressivo volume gerado pela indústria siderúrgica, mitigando impactos ambientais decorrentes de sua disposição inadequada. Assim, mesmo não apresentando finura comparável à de adições minerais, o material foi incorporado visando avaliar seu efeito nas propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto, bem como seu potencial como componente complementar em misturas cimentícias, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade e economia circular no setor da construção civil.

2.2. Método de Pesquisa

Esta pesquisa é de caráter exploratória e quantitativa. Nesse sentido, esta teve o intuito de investigar a influência da adição do resíduo carepa de aço, advinda do beneficiamento de matéria-prima utilizada no processo de fabricação de vergalhão de aço, no concreto. Dessa forma, foram estudadas as adições de teores 3% e 6%, em massa calculadas em relação ao quantitativo de cimento Portland utilizado na produção de concreto com classe de resistência 30 Mpa. Para investigar, os efeitos da carepa de aço foram produzidos concretos com consumo de materiais por metro cúbico do traço de referência indicado na Tabela 2.

Tabela 2 – Consumo de Materiais dos Traços Confeccionados (em kg/m³)

Traço	Cimento	Carepa de aço	Areia	Brita	Água	Aditivo
Referência	460,00	-	794,00	967,00	220,00	2,0%
Teor 3%	460,00	13,80	794,00	967,00	220,00	2,0%
Teor 6%	460,00	27,60	794,00	967,00	220,00	2,0%

A consistência no estado fresco foi fixada em 100±10 mm de milímetros de abatimento do tronco de cone realizado por meio do ensaio *slump test*, conforme orienta a NBR NM 67:1998 [8]. Para atingir a consistência desejada da mistura de concreto no estado fresco, foi realizada a utilização de aditivo. Posteriormente, foram moldados os corpos de prova nas dimensões de 10 x 20 cm (diâmetro x altura), sendo submetidos à cura úmida por imersão em recipientes com água, expostos à temperatura ambiente, até a idade de realização dos ensaios resistência à compressão de 7 e 28 dias e ensaio de absorção de água.

A resistência à compressão foi realizada conforme a ABNT NBR 5739:2018 [9] nas idades de 7 e 28 dias. Além disso, foram avaliadas as propriedades de absorção de água por imersão e índice de vazios aos 28 dias, conforme ABNT NBR 9778:2005 [10].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 3 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias, realizados para o concreto do traço de referência (0%) e o concreto com adição de carepa de aço. Para a realização do ensaio, foram utilizados três corpos de prova para cada teor de adição e a partir dos resultados dos três corpos de prova foi feito a média aritmética entre os valores.

Tabela 3 –Resistência à compressão aos 7 e 28 dias

Teor de adição	Média aritmética aos 7 dias (MPa)	Média aritmética aos 28 dias (MPa)
0%	23,12	32,09
3%	27,66	37,65
6%	24,42	32,46

O Gráfico 4 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias considerando o valor médio entre os três corpos de prova para cada teor de adição. A partir dos resultados obtidos, é possível observar um aumento da resistência à compressão aos 7 e 28 dias no concreto com incorporação da carepa de aço em comparação com o concreto do traço de referência (0%).

Os maiores valores médios de resistência à compressão foram obtidos para o teor de 3% de adição. Embora não seja possível, com os ensaios realizados, afirmar com precisão as causas desse comportamento, tal resultado indica que este percentual apresentou desempenho superior aos demais na condição avaliada. Já para o teor de 6%, observou-se uma redução nos valores médios de resistência, o que sugere que incrementos elevados de adição podem não favorecer o desempenho mecânico do concreto nas condições deste estudo. Novas investigações, com análises complementares da microestrutura e da composição da pasta, seriam necessárias para compreender de forma mais aprofundada os mecanismos envolvidos. Sugere-se que a adição de carepa de aço pode ter causado um aumento da área superficial devido à maior quantidade de finos, redução da proporção de cimento hidratável, maior heterogeneidade da mistura e interferências químicas ou físicas desfavoráveis.

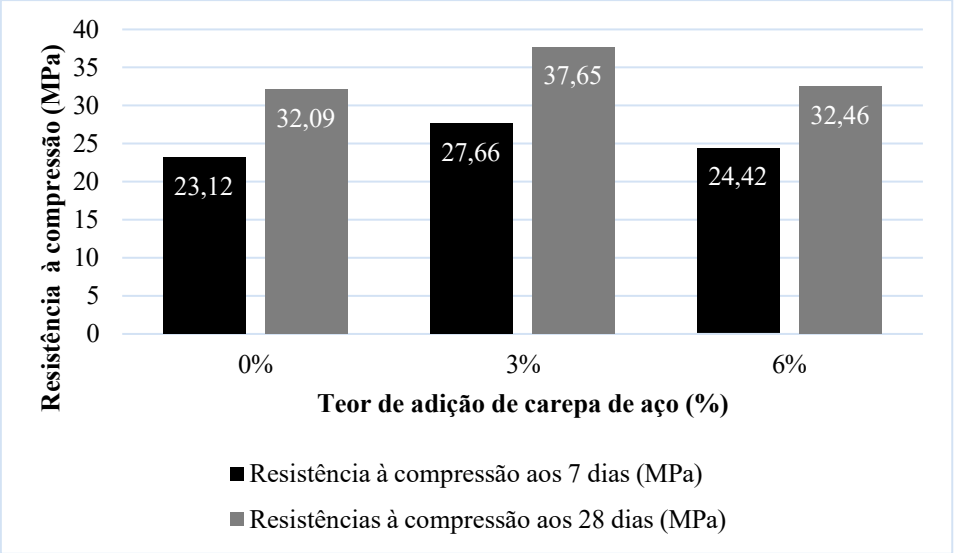


Gráfico 4 – Comportamento da resistência à compressão aos 7 e 28 dias

Foram realizados ensaios laboratoriais para a determinação de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica dos concretos no estado endurecido. Para os ensaios, foram utilizados dois corpos de prova para cada teor de adição – 0% (Traço de referência), 3% e 6%. A Tabela 4 apresenta a média aritmética dos resultados obtidos.

Tabela 4 – Média aritmética das massas das amostras

Estado físico	Teor de adição	Massa da amostra (g)
Seco	3%	3485
	6%	3538
	0%	3530
Saturada	3%	4090
	6%	4095
	0%	4070
Imerso	3%	3615
	6%	3610
	0%	3700

A partir dos valores médios da Tabela 6, foram realizados os cálculos necessários para determinar a absorção de água por imersão, o índice de vazios e as massas específicas, seca e saturada. Os resultados (Tabela 5) mostram que a incorporação de carepa de aço influenciou de maneira significativa as propriedades do concreto no estado endurecido. O teor de 3% resultou em uma absorção de água por imersão de 15,76%, inferior à do concreto de referência (0%, com 17,36%), indicando uma redução na porosidade. Além disso, o índice de vazios também foi menor para o traço com 3% de adição (1,15%) em comparação ao de referência (1,27%), sugerindo uma microestrutura mais densa. Por outro lado, o teor de 6% apresentou o menor índice de absorção (15,30%) e o maior índice de vazios (1,46%), possivelmente devido à maior heterogeneidade da mistura. As massas específicas seca e saturada também variaram, com os valores mais altos

observados no teor de 6%, indicando maior densidade geral da mistura, apesar de uma piora no desempenho em relação aos vazios. Esses resultados reforçam a hipótese de que o teor de 3% representa o equilíbrio ideal entre densidade e desempenho estrutural.

Tabela 5 – Resultados das propriedades no estado endurecido.

Teor de adição (%)	Absorção por imersão (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (g/cm³)	
			Seca	Saturada
0	17,36	1,27	7,337	8,611
3	15,76	1,15	7,294	8,443
6	15,30	1,46	9,541	11

4. CONCLUSÕES

Esta pesquisa apresentou uma análise do uso da carepa de aço como adição no concreto, investigando seus efeitos sobre as propriedades mecânicas do material. Os resultados obtidos indicaram que, nas condições avaliadas, o teor de 3% apresentou melhor desempenho em resistência à compressão em relação ao traço de referência.

Esta pesquisa apresentou uma análise do uso da carepa de aço como adição ao concreto, investigando seus efeitos sobre as propriedades mecânicas do material. Nas condições avaliadas, o teor de 3% mostrou o melhor desempenho em resistência à compressão quando comparado ao traço de referência, sugerindo que, em determinadas proporções, o resíduo pode atuar de forma positiva no desempenho mecânico. A aplicação da carepa de aço como adição deve ser compreendida como um recurso complementar, cujo potencial está relacionado à possibilidade de otimizar o empacotamento das partículas, influenciar a microestrutura da matriz cimentícia e agregar valor a um subproduto siderúrgico. Contudo, é importante ressaltar que estudos adicionais são necessários para elucidar os mecanismos de interação entre a carepa e a pasta de cimento, bem como para avaliar o impacto de diferentes teores e condições de processamento sobre propriedades como durabilidade, permeabilidade e resistência a agentes agressivos.

Além dos resultados técnicos, o trabalho reforça a importância de explorar alternativas sustentáveis na construção civil, especialmente considerando o elevado volume de carepa de aço gerado anualmente no Brasil e os impactos ambientais associados ao seu descarte. A utilização deste resíduo, quando tecnicamente viável, pode contribuir para estratégias de economia circular, reduzindo a destinação em aterros e agregando valor a um subproduto siderúrgico.

Por fim, a implementação de práticas que unam sustentabilidade e eficiência no setor da construção civil é crucial para atender à crescente demanda por materiais mais ecológicos. A adoção dessas soluções pode não apenas elevar a qualidade dos materiais utilizados, mas também deixar um legado positivo em termos de preservação ambiental e responsabilidade social, beneficiando as gerações futuras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Tecnologia e Urbanismo (CTU) e ao Laboratório de Materiais de Construção Civil, ambos pertencentes à Universidade estadual do Piauí – UESPI.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL, Instituto Aço. **Relatório de Sustentabilidade 2020**. 2021. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/relatoriodesustentabilidade/>. Acesso em: 14 jan. 2025.

[2] PEREIRA, F. M.; VERNEY, J. C. K.; LENZ, D. M. **Avaliação do emprego de carepa de aço como agregado miúdo em concreto**. Metalurgia e materiais. v. 64 (4), 463-469, 2021.

[3] CUNHA, A. F.; MOL, M. P. G.; MARTINS, M. E.; ASSIS, P. S. **Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos**. Metalurgia e materiais. v. 59 (1), 111-116, 2006.

[4] LOCH, A.; GURKEWICZ, R. P.; WANDERLIND, A.; PICCININI, A. C.; PIVA, J. H.; ANTUNES, E. G. P. **Análise do efeito da adição de cavacos de aço nas propriedades mecânicas do concreto**. Cerâmica Industrial. v. 28 (1), e202801, 2023.

[5] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Cimento Portland - Especificação**. Rio de Janeiro: 2009.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados - Determinação do conteúdo de matéria orgânica**. Rio de Janeiro: 2001.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: **Areia - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro**: 1998.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova**. Rio de Janeiro: 2018.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Agregados - Determinação da massa específica, do índice de vazios e da absorção de água**. Rio de Janeiro: 2005.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-5

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

AVALIAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS DA REGIÃO DE GURUPI-TO PARA CONCRETO

CASADO, Karlos Eduardo Nunes[1]; SANTANA, Mathias Melo[2]; BATISTA, Dorival da Cruz Neto[3]; MENDES, Ikaro Rodrigues de Souza[4]; ALVES, Kárita Christina Soares Kanaiama[5]

[1] Instituto Federal do Tocantins, Gurupi, Brasil, karlos.casado2@estudante.ifto.edu.br, 0009-0006-8826-8993
[2] Instituto Federal do Tocantins, Gurupi, Brasil, mathias.santana2@estudante.ifto.edu.br, 0009-0006-6808-7829
[3] Instituto Federal do Tocantins, Gurupi, Brasil, dorival.neto2@estudante.ifto.edu.br, 0009-0008-2221-0961
[4] Instituto Federal do Tocantins, Gurupi, Brasil, ikaro.mendes@estudante.ifto.edu.br, 0009-0006-1769-4709
[5] Instituto Federal do Tocantins, Gurupi, Brasil, karita.alves@ifto.edu.br, 0000-0002-4309-3812

RESUMO

A caracterização de agregados graúdos é fundamental para garantir a qualidade do concreto e a durabilidade das estruturas na construção civil. Este estudo teve como objetivo geral avaliar a conformidade dos agregados graúdos de duas pedreiras localizadas próximo a Gurupi-TO com as normas técnicas, visando seu uso em concreto. Especificamente, buscou-se analisar a granulometria, a resistência à abrasão Los Angeles, o teor de umidade, a densidade, a absorção de água e o teor de argila em torrões. A metodologia adotada envolveu a realização de ensaios conforme as normas da ABNT, e os agregados foram avaliados de acordo com as exigências da ABNT NBR 7211 [1]. Os resultados indicaram que as britas da Pedreira A atendem plenamente às exigências normativas, enquanto os resultados das britas da Pedreira B sugerem que os agregados não atendem aos requisitos, devendo ser repetidos para uma conclusão definitiva. Os demais parâmetros demonstraram boa qualidade dos materiais. Conclui-se que os agregados da Pedreira A são tecnicamente viáveis para uso em concreto, com potencial de aplicação em diferentes contextos da engenharia civil, e para os agregados da Pedreira B é recomendável o aprimoramento nos processos de britagem e controle operacional para melhor graduação das britas.

Palavras-chave: agregados graúdos; concreto; ABNT NBR 7211

ABSTRACT

The characterization of coarse aggregates is essential to ensure the quality of concrete and the durability of structures in civil construction. This study aimed to evaluate the compliance of coarse aggregates from two quarries located near Gurupi-TO with technical standards, focusing on their use in concrete. Specifically, it sought to analyze particle size distribution, Los Angeles abrasion resistance, moisture content, density, water absorption, and the content of clay lumps. The methodology adopted involved testing in accordance with ABNT standards, and the aggregates were evaluated based on the requirements of ABNT NBR 7211 [1]. The results indicated that the aggregates from Quarry A fully comply with the normative requirements, while the results for the aggregates from Quarry B suggest non-compliance, requiring retesting for a definitive conclusion. The remaining parameters demonstrated good material quality. It is concluded that the aggregates from Quarry A are technically suitable for use in concrete, with potential applications in various civil engineering contexts. For the aggregates from Quarry B, it is recommended to improve the crushing processes and operational control to achieve better grading.

Keywords: coarse aggregates; concrete; ABNT NBR 7211

1. INTRODUÇÃO

A brita é um tipo de agregado graúdo essencial na construção civil, sendo amplamente utilizada em obras de infraestrutura e de edificações. No Brasil, sua qualidade varia conforme a origem e as características geológicas das jazidas, influenciando diretamente o desempenho e a durabilidade das estruturas. A região de Gurupi-TO conta com pedreiras que abastecem a demanda local, sendo necessário avaliar os tipos de brita produzidos para identificar os mais adequados a cada aplicação.
Segundo Pinto [2], os agregados graúdos impactam significativamente a resistência, a durabilidade e a trabalhabilidade do concreto, além de reduzirem custos, por ocuparem volume e substituírem parte do cimento. Almeida [3] avaliou a influência das características dos agregados graúdos da região de Palmas-TO nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, concluindo que a brita de granito favorece melhores resultados do que o seixo, rolado ou britado.

A ABNT NBR 7211 [1] " especifica os requisitos para produção e recepção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland". Ela é aplicada aos agregados de origem natural lítica, já encontrados fragmentados ou resultantes do processo de britagem. Assim, para os agregados graúdos a norma traz especificações referentes a granulometria, presença de substâncias nocivas, durabilidade, aceitação e rejeição. Para aceitação, cada lote de agregado avaliado deve atender a todos os requisitos normativos. Se algum parâmetro estiver fora dos limites, o lote deve ser rejeitado ou reavaliado.

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a conformidade técnica dos agregados graúdos (brita 0 e brita 1) de duas pedreiras, com base nas normas da ABNT, especialmente em relação ao atendimento dos critérios da ABNT NBR 7211 [1], visando sua aplicação segura e eficiente na construção civil, de modo a garantir a qualidade e a durabilidade do concreto. Considerando a escassez de registros bibliográficos sobre os agregados da região de Gurupi-TO, este trabalho se justifica tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, pois o uso de materiais locais reduz custos logísticos e promove o desenvolvimento regional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram avaliados quatro agregados graúdos, sendo a brita 0 e a brita 1, coletadas de duas pedreiras situadas entre Gurupi e Peixe, no Tocantins. O granito é a rocha presente na região, o qual é conhecidamente um material de alta resistência amplamente empregado na construção civil.

As amostras da pedreira A foram adquiridas pelo IFTO *campus* Gurupi, enquanto as da pedreira B (cerca de 150 kg) foram doadas pela própria empresa. A coleta dos agregados seguiu os critérios da ABNT NBR 16915 [4] . A Figura 1 mostra a localização das pedreiras.

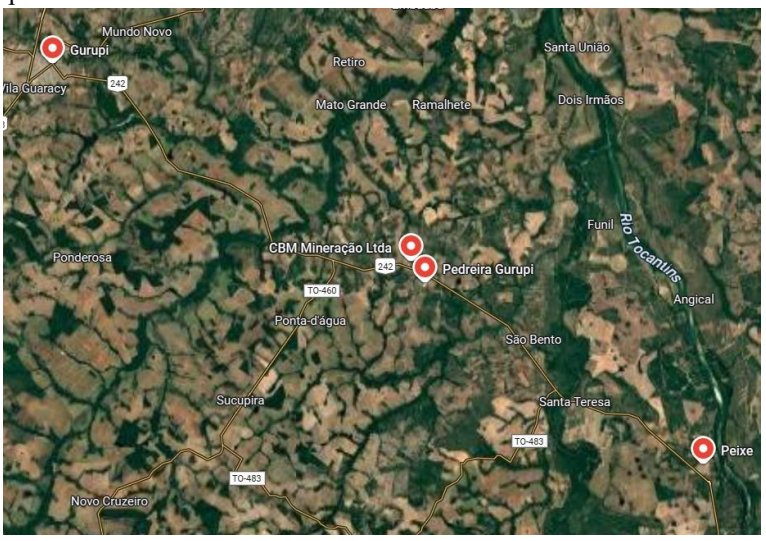


Figura 1 - Localização das jazidas [5].

2.1 Análise granulométrica

Os ensaios de análise granulométrica seguiram as orientações da ABNT NBR 17054 [6]. Considerando as massas mínimas exigidas, foram definidas as quantidades de 3 kg de amostra para as britas 0 e 5,5 kg para as britas 1.

As amostras foram secas em estufa a (105 ± 5) °C até a massa constante. Após a pesagem inicial, as amostras foram peneiradas por agitação mecânica durante 10 minutos, seguida de peneiramento manual com movimentos circulares e laterais por pelo menos 2 minutos por peneira, até que não houvesse mais variação de massa em cada peneira. Todo o material retido foi separado, identificado e escovado para evitar perdas. As porcentagens retidas e acumuladas em cada peneira foram calculadas com aproximação de 1%. A Tabela 1 apresenta as peneiras utilizadas nos ensaios.

Tabela 1 - Peneiras usadas no ensaio de granulometria [6].

Série Normal	Série Intermediária	Série Normal	Série Intermediária
37,5 mm	-	4,75 mm	-
-	31,5 mm	2,36 mm	-
-	25 mm	1,18 mm	-
19 mm	-	600 µm	-
-	12,5 mm	300 µm	-
9,5 mm	-	150 µm	-
-	6.3 mm		

Após a realização da análise granulométrica, os agregados graúdos foram avaliados de acordo com as zonas granulométricas presentes na tabela 6 da ABNT NBR 7211 [1], a qual também apresenta as faixas para módulo de finura.

2.2 Resistência a abrasão Los Angeles

O ensaio de resistência à abrasão Los Angeles foi realizado de acordo com a ABNT NBR 16974 [7]. A avaliação da graduação das britas foi feito baseado na análise granulométrica, sendo definido que as britas 0 apresentaram graduação C e as britas 1 graduação B. Assim, as amostras de cada brita foram preparadas, bem como o número de esferas do ensaio, conforme as definições da referida norma.

Na preparação das amostras, as frações foram peneiradas, separadas e lavadas, depois secas em estufa a (105 ± 5) °C até a massa constante. Antes do ensaio, o tambor estava limpo, e a amostra seca (massa inicial, m) foi pesada. Em seguida, foi adicionada ao tambor com a carga abrasiva. A máquina foi ajustada para 500 rotações, conforme indicado para as graduações A, B, C e D. Após a rotação, o material foi removido, peneirado em malha de 1,7 mm, lavado e novamente seco em estufa até atingir massa constante. A amostra final foi pesada (massa final, m1), e a perda de massa por abrasão e impacto foi calculada pela Equação 1.

$$P = \frac{m-m1}{m}.100 \quad (1)$$

Onde:

P: perda de massa por resistência ao impacto e à abrasão, expressa em porcentagem (%);

m: massa de amostra seca, expressa em gramas (g);

m1: massa de amostra retida na peneira com abertura de malha de 1,7 mm, expressa em gramas (g).

Para atendimento da ABNT NBR 7211 [1] a perda de massa deve ser inferior a 50%.

2.3 Determinação do teor de argila em torrões

O ensaio de determinação do teor de argila em torrões seguiu a ABNT NBR 7218 [8]. A amostra foi distribuída em bandejas metálicas, formando uma camada delgada, e submersa em água destilada por 24 horas. Após o repouso, não foi observada a presença de torrões de argila ou materiais friáveis.

O teor de argila em torrões e materiais friáveis é calculado utilizando a Equação 2.

$$mt = \frac{mi-mf}{mi}.100 \quad (2)$$

Onde:

mt: Teor de argila em torrões e materiais friáveis (%);

mi: Massa inicial da amostra antes do ensaio (g);

mf: Massa final após o peneiramento (g).

Os limites máximos de teor de argila em torrões, estipulado pela ABNT NBR 7211 [1] é de 1,0% para concreto aparente, 2,0% para concreto sujeito a desgaste superficial e 3,0% para outros concretos.

2.4 Determinação do teor de umidade total

O ensaio para determinar o teor de umidade total foi conduzido conforme a ABNT NBR 9939 [9]. A partir das massas mínimas definidas na norma, as amostras de brita 0 e de brita 1 foram de 3 kg e 5 kg, respectivamente. Após pesagem das massas iniciais (mi), cada amostra foi colocada na estufa a uma temperatura de (105 ± 5) °C até atingir massa constante.

Após a secagem, as amostras foram deixadas na estufa desligada até atingir temperatura ambiente, registrando assim a massa final (mf). Calcula-se o teor de umidade total (h) utilizando a Equação 3.

$$h = \frac{mi-mf}{mf}.100 \quad (3)$$

Onde:

h: teor de umidade total (%), arredondado ao décimo mais próximo;

mi: massa inicial da amostra (g);

mf: massa final da amostra seca (g).

2.5 Determinação da densidade e da absorção de água

Os ensaios de determinação da densidade e da absorção de água seguiram a ABNT NBR 16917 [10]. Para estes ensaios as massas iniciais foram de cerca de 2 kg e 3 kg, para as britas 0 e 1, respectivamente. Cada amostra foi lavada em peneira de 4,75 mm, espalhada em bandejas e mantida submersa em água potável por 24 h. Após a imersão, as amostras foram enxugadas com pano absorvente, removendo a água visível, sem permitir evaporação dos poros (condição saturada superfície seca). Em seguida, foram pesadas imediatamente, registrando a (massa saturada superfície seca, mB). As amostras foram então submersas em água a 24°C, e sua massa submersa (mC) foi determinada com balança zerada. Depois, foi seca em estufa a (105 ± 5) °C até massa constante, resfriada e pesada (massa seca, mA). A densidade e a absorção de água foram calculadas conforme as Equações 4, 5 e 6.

$$\rho s = \frac{mA}{mB-mC} \quad (4)$$

$$\rho sss = \frac{mB}{mB - mC} \quad (5)$$

$$abs = \frac{mB - mA}{mA} X100 \quad (6)$$

Onde:

mA: massa seca da amostra em estufa (g);

mB: massa na condição saturada superfície seca (g);

mC: massa submersa em água (g);

ρs: densidade do agregado seco (g/cm³);

ρsss: densidade saturada superfície seca (g/cm³);

abs: absorção de água (%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise granulométrica

As curvas granulométricas dos materiais avaliados estão apresentadas nas Figuras 2 a 5 juntamente com as faixas esperadas para brita 0 (4,75 - 12,5 mm) e para brita 1 (9,5 - 25 mm). A brita 0 da pedreira A apresentou granulometria dentro da zona granulométrica correta, no entanto, a brita 0 da pedreira B não enquadrou na zona correspondente e nem na zona de brita 1, o que indica que este material é uma brita mista, sendo intermediária entre essas granulometrias.

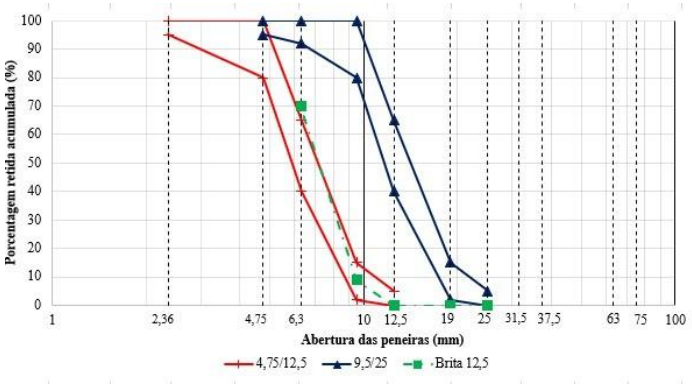


Figura 2 - Curva granulométrica da brita 0 (Pedreira A).

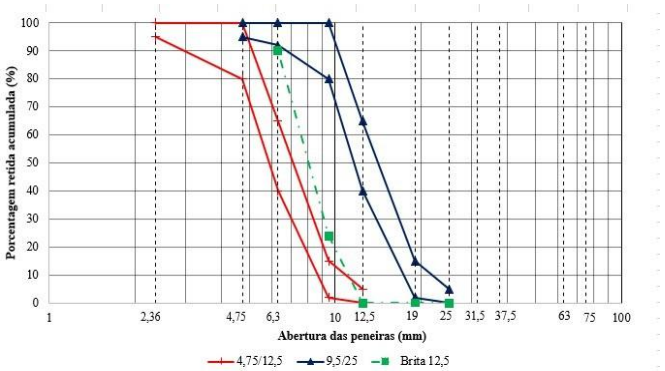


Figura 3 - Curva granulométrica da brita 0 (Pedreira B).

Em relação às britas 1, de ambas pedreiras, apresentaram-se ligeiramente fora da zona granulométrica, nas porcentagens retidas acumuladas da peneira de 12,5 mm. A brita 1 da pedreira A superou em 5% o limite da zona 9,5/25 e a brita 1 da pedreira B, superou em 15%. A ABNT NBR 7211 [1] estabelece uma tolerância máxima de 5% acima dos limites referentes a esta peneira, nesta zona 9,5/25, o que significa que a brita 1 da pedreira B está rejeitada por este critério, devendo os ensaios serem repetidos para confirmação do resultado.

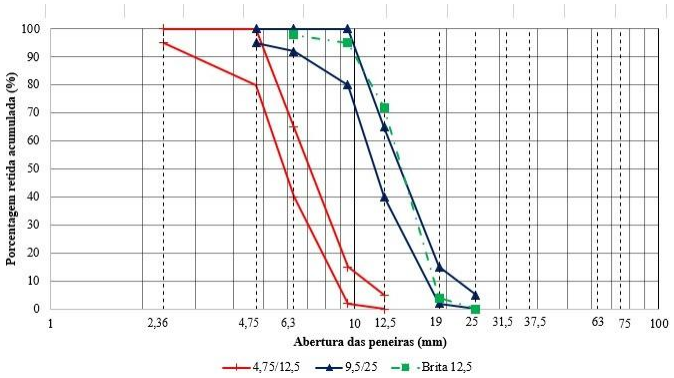


Figura 4 - Curva granulométrica da brita 1 (Pedreira A).

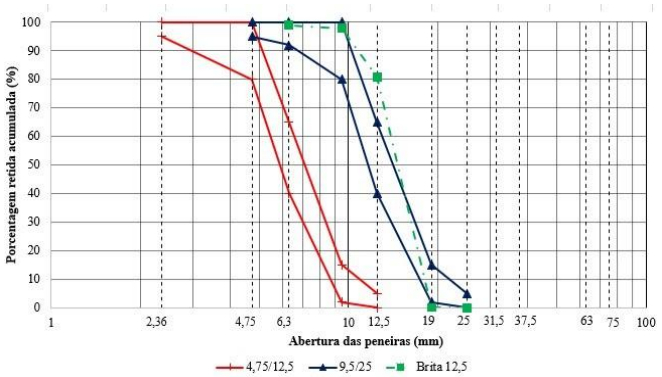


Figura 5 - Curva granulométrica da brita 1 (Pedreira B).

A partir das curvas granulométricas, foram definidos os DMC (diâmetro máximo característico) e calculados os módulos de finura, conforme apresentados na Tabela 2. Se as britas 0 e 1, de ambas pedreiras, estivessem nas devidas zonas granulométricas esperadas, os valores de módulo de finura estariam todos em acordo com os requisitos da ABNT NBR 7211 [1].

Tabela 2 – Diâmetro Máximo Característico (DMC) e módulo de finura das britas.

	DMC	**Módulo de finura**	**Módulo de finura conforme ABNT NBR 7211 [1]**
Brita 0 Pedreira A	12,5	5,99	5,77 a 6,15
Brita 1 Pedreira A	19	7,76	7,60 a 7,95
Brita 0 Pedreira B	12,5	6,13	5,77 a 6,15
Brita 1 Pedreira B	19	7,83	7,60 a 7,95

A partir destas análises, o resultado sugere que para as amostras avaliadas, as britas 0 e 1 produzidas na pedreira B não atendem aos requisitos de granulometria da ABNT NBR 7211 [1]. Desse modo, para uso futuro destes agregados, sugere-se que novos ensaios sejam realizados para dirimir dúvidas.

De acordo com Helene e Terzian [11] e o Manual de pavimentação do DNIT [12], os agregados graúdos são classificados em faixas como brita 0, brita 1, etc., com usos adequados às suas dimensões. Assim, a brita 0 é comumente empregada em artefatos de concreto e em calçadas, e a brita 1 em concretos convencionais, bem como as misturas dessas britas. Os resultados deste trabalho sugerem que as britas produzidas na pedreira A estão adequadas para esses usos indicados.

Outros autores avaliaram agregados graúdos de rocha granítica comercializados em outros municípios, como Pinto [2], Nogueira [13] e Almeida [3], das cidades de Mossoró-RN, Chapada de Apodi-RN e Palmas-TO, respectivamente, cujos resultados de análise granulométrica estão apresentados na Tabela 3. Observa-se que mesmo a rocha granítica sendo comum entre os materiais avaliados, há muita variação de resultados, o que pode estar relacionado com o processo de britagem de cada uma das pedreiras.

De modo semelhante a este trabalho, todas as britas 0 avaliadas nesses trabalhos [3, 11] apresentaram granulometria intermediária entre a brita 0 e a brita 1, sendo portanto, reprovadas de acordo com a ABNT NBR 7211 [1].

Tabela 3 - Resultados de análise granulométrica de agregados graúdos de rocha granítica [2, 3, 11].

	Zona	DMC (mm)	MF	Município	Avaliação
Brita 1 [2]	9,5/25	19	6,77	Mossoró/RN	Aprovada
Brita 0 [13]	Intermediária	9,5	1,04*	Apodi-RN	Reprovada
Brita 0 [13]	Intermediária	9,5	1,28*	Felipe Guerra-RN	Reprovada
Brita 0 [3]	Intermediária	12,5	1,8*	Palmas-TO	Reprovada

*Valores recalculados a partir dos resultados de análise granulométrica dos referidos trabalhos

3.2 Resistência a abrasão Los Angeles

Os ensaios de abrasão Los Angeles das britas avaliadas tiveram os resultados apresentados na Tabela 4. As britas da Pedreira A apresentaram perdas de cerca de 33% enquanto as britas da Pedreira B apresentaram perdas de cerca de 30%. Considerando os requisitos da ABNT NBR 7211 [1], os resultados obtidos no ensaio indicam que todas as amostras testadas apresentaram perdas de massa inferiores ao limite máximo de 50%. Pinto [2] encontrou resultados semelhantes para agregados graúdos de rocha granítica, com perdas de cerca de 29%.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de abrasão Los Angeles.

	Brita 0 (A)	**Brita 1 (A)**	**Brita 0 (B)**	**Brita 1 (B)**
Graduação	C	B	C	B
Massa inicial da amostra (g)	4975	4985	4985	4995
Massa final (g)	3145	3320	3450	3460
Perda de massa (%)	33,40	33,41	30,79	30,74

3.3 Determinação do teor de argila em torrões

Foram analisadas quatro amostras de britas das pedreiras A e B, cuja inspeção inicial não identificou partículas classificáveis como torrões de argila, tornando desnecessária a realização do ensaio específico. Assim, esse parâmetro apresentou conformidade com a ABNT NBR 7211 [1].

3.4 Determinação do teor de umidade total

Os resultados da determinação do teor de umidade total das amostras estão apresentados na Tabela 4. Os baixos valores indicam que as britas estavam bem secas durante a coleta. As variações entre os valores podem ser atribuídas a fatores como armazenamento, transporte e exposição à umidade. Em geral, os teores de umidade abaixo de 1% são ideais para uso em concreto, pois evitam impactos negativos na qualidade da mistura.

Tabela 4 – Teor de umidade das britas.

	h (%)
Brita 0 Pedreira A	0,33
Brita 1 Pedreira A	0,36
Brita 0 Pedreira B	0,25
Brita 1 Pedreira B	0,20

3.5 Determinação da densidade e da absorção de água

Foram realizados os ensaios conforme ABNT NBR 16917 [10] com objetivo de determinar as densidades do agregado nas diferentes condições e a sua absorção. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados de densidade e de absorção de água.

	Brita 0 (A)	**Brita 1 (A)**	**Brita 0 (B)**	**Brita 1 (B)**
Massa saturada superfície seca (g) mb	1960	2995	1975	2985
Massa submersa em água (g) mc	1215	1854	1225	1854
Massa seca em estufa(g) ma	1955	2979	1960	2975
Densidade do agregado seco (g/cm³)	2,62	2,61	2,61	2,63
Densidade saturada superfície seca (g/cm³)	2,63	2,62	2,63	2,64
Absorção de água (%)	0,3	0,5	0,8	0,3

Os resultados das densidades foram muito próximos entre si, variando de 2,61 g/cm³ a 2,63 g/cm³ para a densidade do agregado seco, e entre 2,62 g/cm³ e 2,64 g/cm³ para as densidades saturada superfície seca. Esses valores são próximos dos valores encontrados por Pinto [2] e Almeida [3] para os agregados graníticos avaliados nestes trabalhos.

Já os valores de absorção variaram de 0,3% a 0,8%, sendo semelhantes aos valores encontrados por Nogueira [13] que foram de cerca de 0,5% a 0,8%, e de Pinto [2] que foi de 0,7%. Na prática, absorções inferiores a 2% são consideradas ideais para agregados graúdos utilizados em concretos estruturais, devido à sua menor influência negativa na relação água/cimento e na durabilidade do concreto [14].

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa contribuíram significativamente para o entendimento das propriedades dos agregados graúdos provenientes de duas pedreiras situadas na região de Gurupi-TO. Foram avaliados parâmetros fundamentais para o uso desses materiais na construção civil, incluindo granulometria, resistência à abrasão, teor de umidade, densidade e absorção de água.

As análises granulométricas mostraram que as britas 0 e 1 da Pedreira A, atenderam aos requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 7211 [1]. No entanto, os resultados das britas da Pedreira B sugerem que os agregados não atendem aos requisitos, necessitando ser reavaliados.

Os demais ensaios indicaram boa qualidade dos materiais, indicando estarem adequados para diversas aplicações em engenharia. Os resultados possibilitam a otimização do uso dos agregados e podem contribuir para melhorias nos processos operacionais e no controle de qualidade das pedreiras, incentivando a conformidade com as normas técnicas.

Estudos futuros poderiam incluir análises mecânicas e químicas adicionais, além de testes em diferentes condições de aplicação. Por fim, esta pesquisa reforça a importância de estudos normativos para validar materiais e promover uma cadeia produtiva mais eficiente e sustentável no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

[1] ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7211: Agregados para concreto - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2022.

[2] PINTO, Gerry Felicio Silva. **Análise comparativa dos agregados graúdos, britas calcária e granítica, para utilização em concreto**. 2019. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, 2019.

[3] ALMEIDA, Miller Pereira. Influência dos agregados graúdos da região de Palmas no módulo de deformação tangente inicial e no módulo secante do concreto. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Luterana do Brasil, Palmas, TO, 2019.

[4] ABNT:_____. **NBR 16915: Agregados — Amostragem.** Rio de Janeiro, 2021.

[5] GOOGLE. Google Maps [imagem]. Disponível em: <https://maps.app.goo.gl/evLHYuLUoBebdxqy6>. Acesso em: 05 de agosto de 2025.

[6] ABNT:_____. **NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2022.

[7] ABNT:_____. **NBR 16974: Agregado graúdo - Ensaio de abrasão Los Angeles**. Rio de Janeiro, 2022.

[8] ABNT:___. **NBR 7218: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis**. Rio de Janeiro, 2010.

[9] ABNT:_____. **NBR 9939: Agregado graúdo - Determinação do teor de umidade total - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2011.

[10] ABNT:____. **NBR 16917: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

[11] HELENE, Paulo R.; TERZIAN, Paulo. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: PINI, 1992.

[12] DNIT: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação.** Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2018. 3. ed. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr_719_manual_de_pavimentacao_versao_corrigda_errata_1.pdf Acesso em: 05 de agosto de 2025.

[13] NOGUEIRA, Renata Samyla Matias. **Granulometria dos agregados graúdos comercializados nos municípios da Chapada do Apodi/RN – análise comparativa com a norma NBR 7211/2009**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Caraúbas, Caraúbas, 2019.

[14] MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** Tradução da 3ª ed. do original em inglês. São Paulo: IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto), [s.d.].

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-13

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

Estratégias para Redução da Retração: Uma Revisão

CORRÊA JUNIOR, José Ricardo Guimarães[1]; SOUSA, Pedro Henrique Pinheiro[2]; CAPUZZO, Valdirene Maria Silva[3]

[1] UnB – Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 241112440@aluno.unb.br, 0009-0006-7926-064X
[2] UnB – Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, sousa.pedro@aluno.unb.br, 0009-0006-3547-2878
[3] UnB – Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, valdirenemaria@unb.br, 0000-0001-6923-7565

RESUMO

O concreto é o material de construção mais utilizado mundialmente, mas apresenta comportamento complexo, especialmente quanto às variações volumétricas causadas pela retração. Essa retração pode comprometer a durabilidade das estruturas, favorecendo a corrosão das armaduras e outras formas de deterioração precoce. Diante disso, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura para identificar agentes contemporâneos capazes de mitigar a retração do concreto. A pesquisa foi conduzida por meio de mapeamento sistemático da literatura técnica e científica. Os resultados evidenciam diversas abordagens, como o uso de aditivos redutores de retração, materiais porosos à base de pedra-pomes, fibras de polipropileno e técnicas avançadas de cura interna. Apesar da eficácia desses métodos na redução da retração, muitos deles resultam em diminuição da resistência à compressão. Entretanto, alguns estudos demonstraram que é possível manter essa propriedade por meio da dosagem adequada de adições. Observa-se ainda uma tendência crescente na adoção de materiais orgânicos e recicláveis, visando à sustentabilidade ambiental. Este trabalho apresenta um panorama dos principais agentes mitigadores de retração, seus teores usuais de aplicação e os impactos na resistência mecânica do concreto.

Palavras-chave: Concreto, Retração, Agentes Mitigadores, Durabilidade.

ABSTRACT

Concrete is the most widely used construction material worldwide; however, it exhibits complex behavior, particularly with regard to volumetric changes caused by shrinkage. This shrinkage can compromise the durability of structures by promoting reinforcement corrosion and other forms of early deterioration. In this context, the objective of this study is to conduct a systematic literature review to identify contemporary agents capable of mitigating concrete shrinkage. The research was carried out through a systematic mapping of technical and scientific literature. The findings highlight several approaches, such as the use of shrinkage-reducing admixtures, pumice-based porous materials, polypropylene fibers, and advanced internal curing techniques. Although these methods are effective in reducing shrinkage, many of them also lead to decreased compressive strength. However, some studies have shown that this property can be preserved through proper dosage of supplementary materials. Furthermore, there is a growing trend toward the use of organic and recyclable materials aimed at improving environmental sustainability. This study provides an overview of the main shrinkage-mitigating agents, their typical dosage levels, and their effects on the mechanical strength of concrete.

Keywords: Concrete, Shrinkage, Mitigating Agents, Durability.

1. INTRODUÇÃO

O material de construção mais utilizado no mundo é o concreto, de maneira que, em certos países, o emprego de concreto armado é mais comum do que estruturas de aço. A utilização do concreto abrange desde pequenos blocos até grandes estruturas como vertedouros de barragens e tabuleiros de pontes [1][2][3].

Apesar de sua ampla utilização, o concreto é um material complexo, tanto do ponto de vista científico quanto em termos de qualidade, uma vez que frequentemente seu desempenho final é influenciado por aspectos intrínsecos a natureza, como a aplicação adequada de processos de cura [4].

É comum ocorrer fissuras no concreto devido a variações de volume, a fissuração pode comprometer significativamente a durabilidade das estruturas de concreto, proporcionando um caminho livre para substâncias nocivas no concreto. Isso pode resultar na corrosão das barras de aço, danos causados por congelamento e degelo, e outros tipos de deterioração prematura que podem reduzir a vida útil da estrutura [5][6]. De acordo com estudos do Instituto Brasileiro de Mineração [7], o custo anual da corrosão no Brasil foi estimado em 290 bilhões de reais, o que representa aproximadamente 4% do Produto Interno Bruto (PIB).

A retração desempenha um papel crucial na fissuração do concreto devido à evaporação da umidade, à tensão capilar, à tensão superficial e à pressão de separação dentro da matriz de cimento. Essa reação precoce pode ser atribuída a reações químicas de hidratação do cimento e à contração térmica. As retrações podem ser autógenas, térmicas, plásticas ou por secagem [8].

Dessa maneira, diversos métodos têm sido sugeridos para minimizar o potencial de fissuração do concreto, incluindo o uso de grãos de cimento mais grossos, aditivos expansivos, e aditivos que diminuem a retração ou melhoram as condições de cura [9][10][11]. Essas abordagens focam principalmente em reduzir a retração no concreto, diminuindo, assim, o nível de tensão residual que se forma [12].

Embora tais métodos diminuam a retração e a tendência à fissuração, geralmente não reduzem o impacto ambiental do concreto. Na verdade, com uma relação água/cimento (a/c) muito baixa, o conteúdo de cimento não hidratado que age como agente de ligação no concreto pode exceder 42% [13]. Portanto, seria vantajoso substituir parcialmente o cimento por um material menos oneroso que também pudesse melhorar o comportamento de retração e diminuir o impacto ambiental.

Assim, diante do cenário observado esse trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura por meio do TEMAC para identificar quais os agentes mitigadores de retração que estão sendo utilizados contemporaneamente, tanto no intuito de reduzir a retração como de atender os requisitos de pegada ecológica no intuito de ser ter o ambiente da indústria da construção civil mais desenvolvido.

A retração ocorre devido à perda de água por evaporação ou hidratação do cimento, além da carbonatação. A diminuição do volume, ou deformação volumétrica, é equivalente a três vezes a contração linear. Na prática, a retração é medida apenas como uma deformação linear, sendo suas unidades expressas em milímetros por milímetro, geralmente na ordem de 10-6. [14].

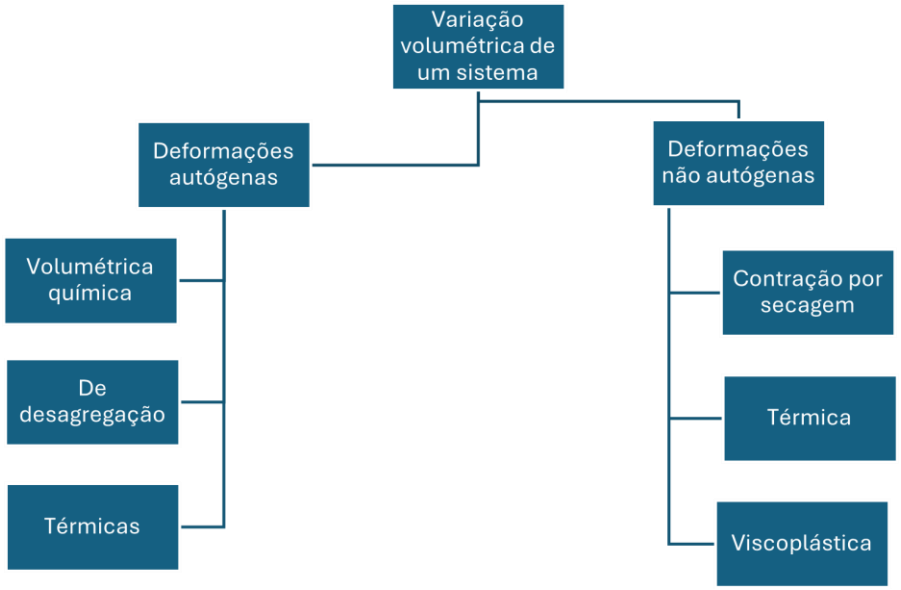


Figura 1 - Classificação das retrações.

A retração autógena consiste em uma variação volumétrica macroscópica em sistemas cimentícios fechados, sob condições isotérmicas, provocada pelas reações químicas de hidratação do ligante. Esse fenômeno ocorre independentemente de tensões externas, variações térmicas ou perda de umidade para o ambiente, e está associado à remoção de água dos poros capilares. É particularmente significativo em composições com baixa relação água/aglomerante (a/b), especialmente inferior a 0,40, sendo um dos principais desafios no uso de concretos de alta resistência e alto desempenho [15][16][17].

A instabilidade volumétrica da pasta de cimento hidratada foi demonstrada ainda em 1904, por meio de um experimento conduzido por Le Chatelier. O autor preencheu dois frascos com pasta de cimento até a base dos gargalos. No primeiro, adicionou-se água até uma marca no gargalo e instalou-se uma rolha perfurada para evitar a evaporação. No dia seguinte, observou-se que o nível da água havia baixado significativamente e continuava a diminuir lentamente até se estabilizar. Além disso, a base do frasco apresentava fissuras. No segundo frasco, mantido em contato com o ar, a pasta endurecida não ocupava mais todo o volume previamente preenchido, indicando encolhimento. A partir desses resultados, Le Chatelier concluiu que a pasta de cimento hidratada não é volumetricamente estável: quando curada sob água, tende a inchar; quando curada ao ar, tende a encolher (Figura 2)[18].

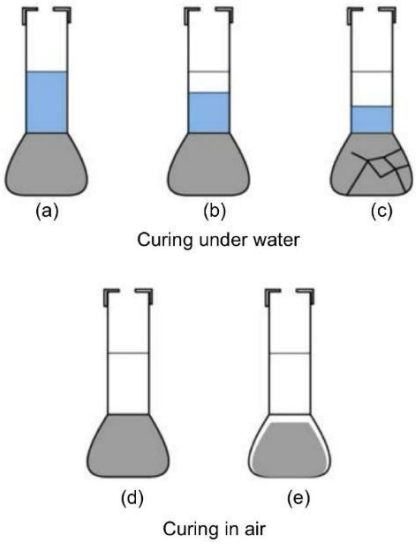


Figura 2 - Representação esquemática do ensaio de Le Chatelier [18]

Estudos subsequentes quantificaram essa variação, indicando que, durante a hidratação, o volume absoluto da pasta de cimento pode se reduzir em até 8%, caracterizando a retração autógena [1]. Com os avanços na tecnologia dos concretos de alto desempenho, esse tipo de retração passou a representar um fator crítico para o controle de fissuração, exigindo estratégias eficazes de mitigação.

Já contração térmica acontece quando o concreto passa por um processo de resfriamento. Esse resfriamento é influenciado tanto pela temperatura ambiente quanto pelo calor produzido durante a hidratação do cimento. Durante a hidratação, uma reação química exotérmica libera calor, aumentando temporariamente a temperatura do concreto. À medida que o concreto esfria, a diferença de temperatura pode causar retração, levando a possíveis tensões internas e fissuras no material [19].

A retração plástica ocorre quando a taxa de evaporação da água nas superfícies expostas do concreto supera a taxa de exsudação, promovendo a formação de gradientes de umidade que resultam em tensões internas. A velocidade de evaporação é influenciada por fatores ambientais, tais como temperatura do ar, umidade relativa e área exposta do concreto [20].

A retração por secagem é ocasionada pela contínua evaporação da umidade nos poros capilares estreitos, preenchidos com água, e nos poros do gel de hidrato de silicato de cálcio (CSH). A evaporação forma meniscos ao longo das redes capilares, gerando tensão superficial que causa tensões de tração nas paredes dos poros. Isso resulta em uma pressão negativa interna e forças de compressão nos poros capilares, levando ao encolhimento da pasta de cimento [21].

Em se tratando dos agentes mitigadores de retração, os campos de tensão gerados pela tensão capilar líquida são suficientemente fortes para causar fissuras prematuras, a menos que sejam adotadas precauções específicas. À medida que o uso de concreto de alta resistência e alto desempenho se torna mais comum, novas técnicas para combater esse fenômeno foram desenvolvidas. Os meios e métodos para mitigar a retração incluem a modificação do cimento, aditivos minerais, aditivos químicos, fibras, controle das condições de cura e métodos avançados de cura interna [22].

Nas últimas duas décadas, foram criados Aditivos Redutores de Retração (SRA). O principal mecanismo de ação desses produtos é a diminuição da tensão superficial do líquido presente nos poros do concreto. Este mecanismo também é eficaz na redução da retração autógena, especialmente quando a autodessecação é significativa [23][24][25].

Antes do desenvolvimento dos aditivos redutores de retração, cimentos expansivos foram utilizados por mais de quatro décadas para minimizar os efeitos da retração por secagem. Este método tem mostrado resultados positivos ao melhorar a integridade das juntas e limitar a necessidade de cura, mas sua aplicação exige cuidados especiais [26][27][28].

Atualmente, novos métodos para mitigar a retração, baseados em técnicas avançadas de cura interna (CI), estão sendo intensamente pesquisados. Os métodos mais populares de cura interna do concreto utilizando água envolvem o uso de agregados leves pré-saturados (LWA) e polímeros superabsorventes (SAP) [29].

3. METODOLOGIA

Para efetuar este estudo, foi conduzido um mapeamento sistemático da literatura, o qual, conforme descrito por Kitchenham e Charters [30], constitui-se como um método de pesquisa que emprega uma metodologia claramente estabelecida para detectar, examinar e compreender todas as evidências acessíveis sobre um tema de pesquisa específico de forma imparcial e reprodutível.

A coleta de dados envolveu a busca por artigos científicos nas bases de dados Web of Science e Scopus, acessadas por meio do Portal de Periódicos CAPES/MEC, com aplicação de filtros restritivos à área de engenharia, idioma inglês e formato de artigo, resultando em um total de 189 publicações. Após a triagem dos títulos e resumos com base em critérios de exclusão previamente definidos, 116 artigos foram selecionados por apresentarem aderência direta ao tema, estes critérios podem ser mais facilmente entendidos a partir da imagem disposta a seguir. Esses artigos foram analisados minuciosamente para identificar os agentes mitigadores de retração atualmente empregados, com os resultados organizados em formato tabular para destacar as contribuições mais relevantes. Também foram examinados com maior profundidade os estudos mais citados e os que apresentaram inovações práticas, permitindo evidenciar tendências, desafios e oportunidades no desenvolvimento de materiais cimentícios com menor retração.

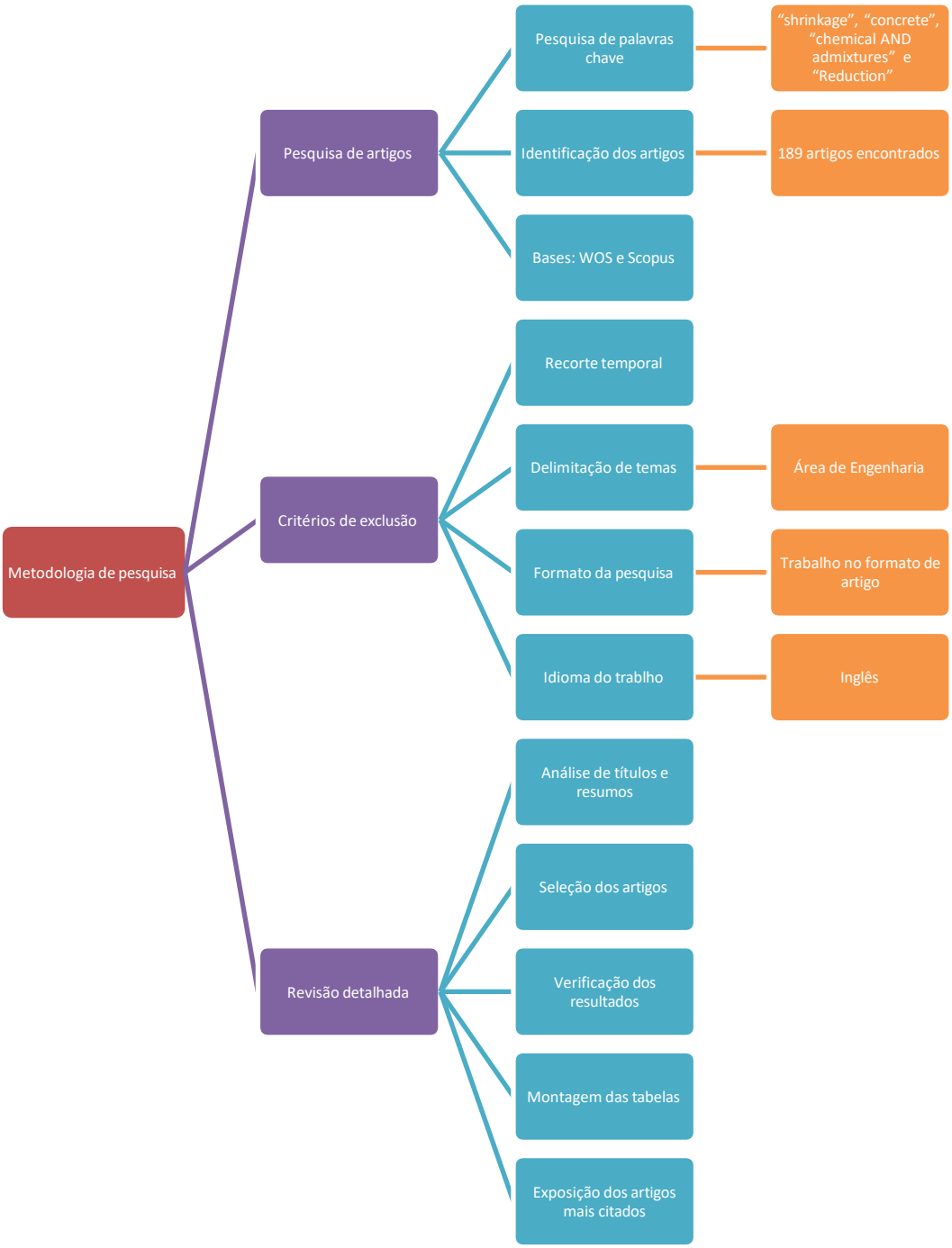


Figura 3 - Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.

4. RESULTADOS

4.1 Retração por Secagem

A partir da leitura dos artigos levantados, os resultados mais relevantes foram estruturados no Quadro 1 e Figura 4.

Quadro 1 - Análise de artigos de retração por secagem

Autores	Ano	Material avaliado	Agente mitigador utilizado	Teor de adição (por massa de cimento)	Redução da retração (%)	Resistência à compressão
Bakharev *et al.* [31]	1999	Concreto com escória ativada por álcalis	Cura a temperatura elevada	-	70%	Redução de 35% a 45%
Deboodt, Fu e Ideker [32]	2016	Concreto de alto desempenho	Agregado leve fino saturado (FLWA) e Aditivo redutor de retração (SRA)	FLWA: substituiu 25% do agregado fino SRA: 2%	17%	Aumento de 7% aos 7 dias e 8% aos 28 dias
Gong, Zeng e Zhang [33]	2018	Concreto de ceramsite	Aditivo redutor de retração (de ácido policarboxílico) e Fibras de polipropileno	SRA: 2%, 3% e 4% e Fibras de polipropileno: 0,2%, 0,3% e 0,4%	34% usando SRA e 35,3% quando combinado com PPF	-
Jiang *et al.* [34]	2018	Concreto com 60% de substituição por escória	Gesso	5%	16,6% aos 7 dias, 13,7% aos 14 dias e 8,6% aos 28 dias	Aumento de 17,7% aos 3 dias e 31,1% aos 7 dias
Liu *et al.* [35]	2018	Concreto de ultra-alto desempenho	Material poroso à base de pedra-pomes	10% e 30%	30,50%	-
Passuello, Moriconi e Shah [36]	2009	Concreto	Aditivo redutor de retração composto principalmente de propilenoglicóis	1%	40%	-

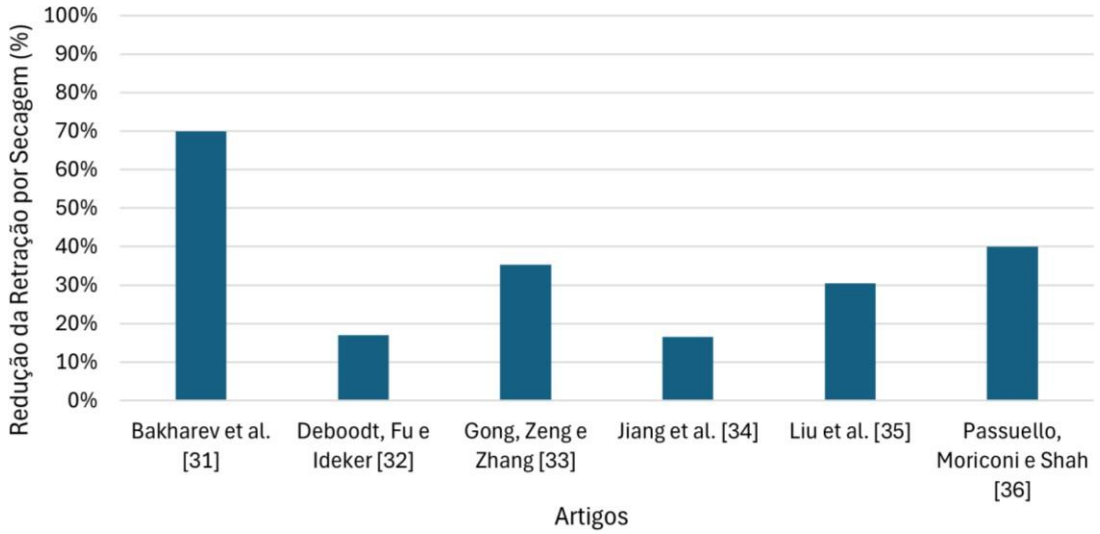


Figura 4 - Índice de redução de retração por secagem.

A partir das informações apresentadas, observa-se que há uma busca relativamente limitada envolvendo diferentes tipos de materiais utilizados como agentes mitigadores de retração por secagem. Dentre as pesquisas analisadas, a cura em temperatura elevada e o aditivo redutor de retração à base de propilenoglicóis foram os que apresentaram os resultados mais expressivos quanto à redução da retração por secagem: o primeiro promoveu uma redução de 70%, enquanto o segundo alcançou cerca de 40%.

Nesse contexto, destaca-se ainda a busca por métodos que reduzam a retração por secagem sem comprometer significativamente as resistências mecânicas. Como exemplo, o primeiro estudo analisado demonstrou uma redução significativa na retração do material; entretanto, observou-se, de forma concomitante, uma expressiva diminuição na resistência à compressão.

O estudo realizado por Deboot, Fu e Ideker [32], mostrou-se de grande relevância para o tema investigado, uma vez que apresentou uma redução significativa na retração por secagem, acompanhada de aumento na resistência à compressão do material. Nos demais estudos, ao se avaliar as características mecânicas, a maioria indicou redução nas propriedades mecânicas do compósito.

4.2 Retração Autógena

A partir da leitura dos artigos levantados, os resultados mais relevantes foram estruturados no Quadro 2 e Figura 5.

Quadro 2 - Análise de artigos de retração autógena

Autores	Ano	Material avaliado	Agente mitigador utilizado	Teor de adição (por massa de cimento)	Redução da retração (%)	Resistência à compressão
Bakharev et al. [31]	1999	Concreto com escória ativada por álcalis	Cura a temperatura elevada	-	85%	Redução de 35% a 45%
Deboodt, Fu e Ideker [32]	2016	Concreto de alto desempenho	Agregado leve fino saturado (FLWA) e Aditivo redutor de retração (SRA)	FLWA: substituiu 25% do agregado fino SRA: 2%	84%	Aumento de 7% aos 7 dias e 8% aos 28 dias
Gong, Zeng e Zhang [33]	2018	Concreto de ceramsite	Aditivo redutor de retração (de ácido policarboxílico) e Fibras de polipropileno	SRA: 2%, 3% e 4% e Fibras de polipropileno: 0,2%, 0,3% e 0,4%	81,2% usando SRA e 71,3% quando combinado com PPF	-
Muthukrishnan, Gupta e Kua [37]	2019	Argamassa com 20% de cimento substituído por 20% de CCA produzida em laboratório em condições controladas	Superplastificante à base de policarboxilato	1%	20%	Ganho de 21% aos 7 dias e 13,73% aos 120 dias
Oliveira, Ribeiro e Branco [38]	2014	Concreto auto-adensável	Aditivo redutor de retração e agente expansivo	0,5% a 2%	35% aos 2 dias	-
Roberti *et al.* [39]	2021	Concreto de alto desempenho e Concreto de ultra alto desempenho	Microfibras de aço	0.75% e 1.5%	HPC: 11% UHPC: 22%	Aumento de 23%

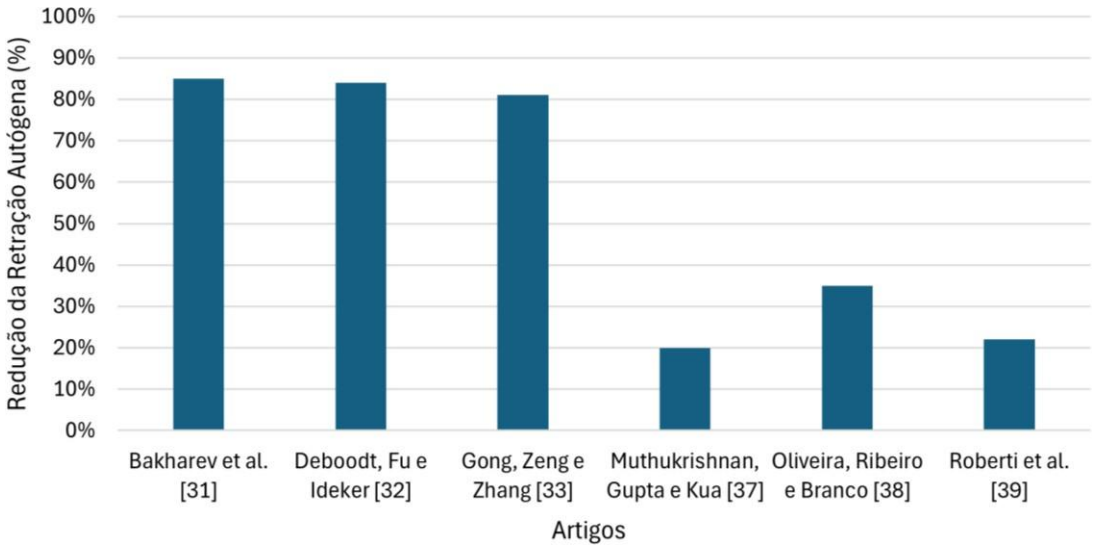


Figura 5 - Índice de redução de retração autógena.

Diante dos resultados trazidos a partir da revisão dos artigos encontrados, foi possível inferir que os estudos apresentaram resultados positivos quanto à mitigação da retração autógena. Os trabalhos de Bakharev *et al.* [31] e Deboodt, Fu e Ideker [32] apresentaram resultados superiores a 80%, indicando uma grande redução quanto à retração autógena.

Apesar dos desempenhos apresentados por Bakharev *et al.* [31], foi possível notar uma drástica redução quanto à resistência mecânica. Diante da avaliação mútua do desempenho quanto à retração e propriedades mecânicas, os trabalhos de Muthukrishnan, Gupta e Kua [37] e Deboodt, Fu e Ideker [32] se destacam pelo fato de apresentarem soluções que otimizam o desempenho tanto para retração quanto para melhoria do desempenho mecânico.

Não obstante à pouca convergência quanto ao agente redutor de retração empregado, observa-se que em dois dos seis trabalhos levantados, foi possível observar que o uso de fibras no intuito de reduzir a retração autógena. Nos estudos feitos por Gong, Zeng e Zhang [33], as fibras de polipropileno (PP) foram empregadas em consórcio com aditivo redutor de retração. Já no trabalho de Roberti *et al.* [39], foram usadas microfibras de aço, o que possibilitou uma redução na retração do material e aumento no desempenho mecânico do material. Este fenômeno ocorre porque a incorporação de fibras no concreto promove o aumento do módulo de elasticidade do material, tornando-o mais resiliente, sendo capaz de resistir determinadas tensões internas oriundas do processo de retração autógena.

4.3 Retração Plástica

A partir da leitura dos artigos levantados, os resultados mais relevantes foram estruturados no Quadro 3 e Figura 6.

Quadro 3 - Análise de artigo de retração plástica.

Autores	Ano	Material avaliado	Agente mitigador utilizado	Teor de adição (por massa de cimento)	Redução da retração (%)	Resistência à compressão
Combrinck, *et al.* [40]	2019	Concreto de alto fluxo com substituição de 25% do cimento por cinza volante silicosa	Superplastificante à base de melamina formaldeído sulfonado (SMF) e aditivo redutor de retração (SRA) a base de éter policarboxilato	SRA: 0,3% e 1,25% SMF: 0,6% e 1,0%	45% a 85%	SRA: redução de 7%; SMF: aumento de 10%

Autores	Ano	Material avaliado	Agente mitigador utilizado	Teor de adição (por massa de cimento)	Redução da retração (%)	Resistência à compressão
Gerhard *et al.* [41]	2018	Concreto com nano-sílica	Polímeros superabsorventes (SAP) e Fibras sintéticas de polipropileno	SAP: 0,3% e Fibras: 900 g/m³ de concreto	SAP: 29% Fibras: 8% SAP e Fibras: 36%	Resultados semelhantes com o do traço padrão
Gruszczyński e Bajorek [42]	2018	Argamassa de cimento	Aditivo expansivo baseado em CaO	3%	60%	-
Saliba, *et al.* [43]	2011	Concreto convencional	Aditivo redutor de retração	0,1%	56%	-
Rohollah *et al.* [44]	2021	Argamassas reforçadas com fibras	Polímeros superabsorventes (SAP)	0.25% e 0.50%	75%	Redução de 5% a 10% aos 28 dias
Saliba *et al.* [46]	2011	Concreto auto-adensável	Aditivo redutor de retração (SRA)	1%	25%	Redução de 7% aos 7 dias e 8% aos 28 dias

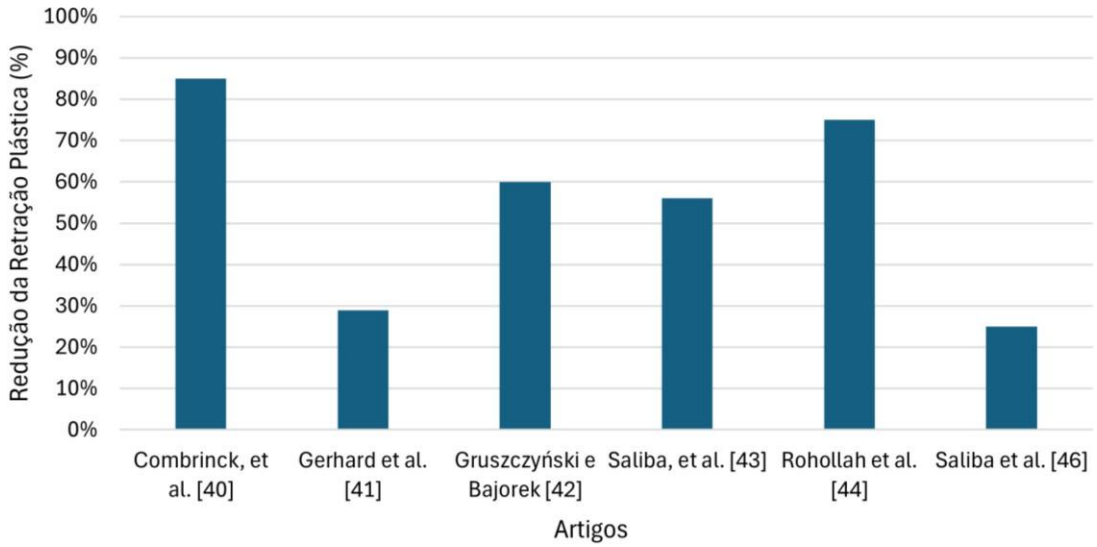


Figura 6 - Índice de redução de retração plástica.

A partir do levantamento das informações observou-se que os trabalhos realizados por Combrinck, *et al.* [40] e por Gerhard *et al.* [41] foram os únicos a apresentarem percentuais de redução de retração plástica superiores a 50%, destacando-se que na pesquisa feita por Saliba [46] houve uma redução na retração plástica superior a 50%, que seria para pastas com relação a/c mais elevada.

Ainda nessa perspectiva, nota-se que, em nenhum dos trabalhos levantados, houve simultaneamente redução da retração plástica e ganho de resistência mecânica. Entretanto, na pesquisa conduzida por Gerhard *et al.* [41], observou-se a estabilização das propriedades mecânicas do material.

Ao avaliar na perspectiva dos agentes mitigadores mais utilizados, é possível inferir que os aditivos redutores de retração e polímeros superabsorventes foram os mecanismos que se mostraram mais presentes na leitura dos artigos. Destacando-

se que quanto aos aditivos, há uma gama diversa e ampla quanto à composição química que baseia o aditivo, portanto, neste cenário não se teve nenhuma confluência quanto ao tipo de aditivo redutor de retração adotado.

4.4 Retração Térmica

A partir da leitura dos artigos levantados, os resultados mais relevantes foram estruturados no Quadro 4.

Quadro 4 - Análise de artigo de retração térmica.

Autores	Ano	Material avaliado	Agente mitigador utilizado	Teor de adição (por massa de cimento)	Redução da retração (%)	Resistência à compressão
Viggiano, *et al.* [47]	2017	Aerogéis de polimida	9,9'-bis(4-aminofenil)fluoreno (BAPF)	Entre 0% e 50% em mol em substituição ao 4,4'-oxidianilina (ODA)	50% após 500h	Não especificado
Pei, Li e Li [48]	2016	Pasta de cimento	Parafina e Óxido de magnésio	2% a 4%	20%	Não especificado

Dentre as pesquisas levantadas apenas uma abordou a temática com enfoque em materiais cimentícios propriamente dito, trazendo parafina e óxido de magnésio como agente mitigador de retração. Onde obteve-se uma redução aproximada de 20% e não foi abordado a respeito de possíveis efeitos deletérios no desempenho mecânico do material.

Foi notado uma escassez de pesquisa e de resultados que abordassem a respeito das retrações térmicas. Devido à lacuna, não foi possível fazer um levantamento de dados que pudessem embasar alguma conclusão a respeito da análise proposta por este trabalho.

4.5 Pegada Ecológica

Diante do contexto apresentado e estudado, observa-se que, embora grande parte das pesquisas analisadas utilizem produtos químicos como agentes mitigadores de retração, alguns estudos se direcionaram para a utilização de materiais orgânicos, materiais recicláveis ou técnicas que não envolvam a incorporação de produtos químicos ao concreto.

Gerhard *et al.* [41] utilizaram fibras sintéticas de polipropileno como agente mitigador de retração e obtiveram uma redução de 8% da retração plástica quando comparada ao traço de referência. Ademais, Liu *et al*. [35] incorporaram material poroso à base de pedra-pomes no concreto de ultra-alto desempenho e obtiveram uma redução de 50% da retração por secagem. Outrossim, Roberti *et al.* [39] estudaram a adição de microfibras de aço em concreto de alto desempenho e obtiveram como resultado uma redução de até 11% da retração autógena.

Portanto, pesquisas como essas anteriormente citadas podem indicar uma tendência revolucionária para a indústria da construção civil, visando reduzir ao máximo os efeitos negativos da retração, porém levando em consideração os impactos ambientais existentes da utilização de aditivos químicos. Assim, promove-se uma contribuição mútua, tanto para o setor da construção civil com a produção de novos agentes mitigadores de retração, quanto para o meio ambiente, desenvolvendo produtos menos agressivos ecologicamente.

5. CONCLUSÕES

Diante dos fatos supracitados, nota-se que diversas pesquisas sobre agentes mitigadores de retração foram realizadas nos últimos anos devido à vasta quantidade de agentes que podem ser utilizados para esse fim. Portanto, este artigo fornece uma visão abrangente da literatura no que tange aos possíveis produtos que podem ser utilizados com o intuito de mitigar a retração nos materiais cimentícios.

A presente pesquisa objetivou a realização de um mapeamento sistemático da literatura que contribua para a identificação dos agentes mitigadores de retração que estão sendo utilizados no hodierno, além de levantar uma preocupação com a pauta ambiental pouco discutida no setor da construção civil.

Os resultados apresentados indicam diversas alternativas de produtos que podem ser utilizados para reduzir os efeitos da retração no concreto, com resultados significativamente positivos. O escopo abrangido na pesquisa inclui produtos como aditivos redutores de retração (SRA), materiais porosos à base de pedra-pomes, fibras de polipropileno, agregados leves finos saturados, gesso, superplastificantes, entre outros, e técnicas para redução dos efeitos negativos da retração, como a cura a temperaturas elevadas.

Em todas as pesquisas analisadas, independentemente dos aditivos utilizados, os resultados obtidos em relação à mitigação da retração foram positivos. Entretanto, em grande parte das pesquisas, essa redução dos efeitos da retração no concreto foi acompanhada da consequente redução da resistência à compressão do material. Vale ressaltar que, embora esse seja um ponto crítico a ser considerado, algumas pesquisas conseguiram utilizar materiais com teores de adições que estabilizaram os valores de resistência à compressão do traço com adições quando comparado ao traço padrão.

Além disso, percebe-se que, embora muitas das pesquisas estudadas utilizem produtos químicos como agentes redutores de retração, alguns estudos se voltaram para o uso de materiais alternativos ou métodos que não envolvam a adição de produtos químicos ao concreto. Portanto, observa-se a criação de uma tendência para a indústria da construção civil, visando mitigar os efeitos da retração levando em consideração também aspectos ambientais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e institucional concedido ao desenvolvimento desta pesquisa. Estendemos nossos agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (PECC/UnB) pelo suporte acadêmico e científico, bem como à Rede Ibero-Americana de Cidades e Comunidades Sustentáveis (RINCIMCI) e ao Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED), cuja cooperação e intercâmbio de conhecimentos foram fundamentais para o fortalecimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

[1] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2006.
[2] SHARBATDAR, M. K.; HOSSEINI, S. A.; HAJI, M. A. Effect of different environmental conditions on the durability of concrete containing nano-silica. Construction and Building Materials, v. 106, p. 608–617, 2016.
[3] KHODABANDEH, R. et al. Evaluation of concrete structures exposed to aggressive environments. Construction and Building Materials, v. 211, p. 1230–1245, 2019.
[4] LURA, P. et al. Influence of curing temperature and type of cement on early-age shrinkage of high-performance concrete. Cement and Concrete Research, v. 37, n. 6, p. 866–872, 2007.
[5] COLLEPARDI, M. Modern concrete: durability and sustainability. Cement and Concrete Research, v. 41, n. 11, p. 1247–1258, 2010.
[6] COLLEPARDI, M.; COPPOLA, L. Mechanisms of resistance to sulfate attack: A review. In: International Conference on the Durability of Building Materials and Components, 6., 1992, San Francisco. Proceedings [...]. San Francisco: E & FN Spon, 1992. p. 1045–1054.
[7] IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Corrosão no Brasil: custos e desafios. Brasília: IBRAM, 2020. Disponível em: https://ibram.org.br/. Acesso em: [colocar data de acesso].
[8] SAKATA, N. Drying shrinkage and creep of concrete: the influence of drying, hydration, and temperature. Cement and Concrete Research, v. 13, n. 5, p. 631–640, 1983.
[9] BENTZ, D. P.; PELTZ, M. A. Reducing thermal and autogenous shrinkage contributions to early-age cracking. ACI Materials Journal, v. 105, n. 4, p. 414–420, 2008.
[10] TAZAWA, E. Autogenous shrinkage of concrete. RILEM Report 20. London: CRC Press, 1998.
[11] BREUGEL, K. van; VRIES, H. Mitigation of autogenous shrinkage through internal curing. In: International Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete, 1998, Hiroshima. Proceedings [...]. Hiroshima: RILEM, 1998. p. 87–99.
[12] SHAH, S. P.; WEISS, W. J.; YANG, W. Shrinkage cracking–can it be prevented? Concrete International, v. 20, n. 4, p. 51–55, 1998.

[13] ACKER, P. Micromechanical analysis of autogenous shrinkage of hardening cement-based materials. Cement and Concrete Research, v. 34, n. 3, p. 397–408, 2004.
[14] ADAM NEVILLE, J. J. BR. Tecnologia do concreto. 2. ed. [s.l.] Bookman, 2013.
[15] BENTZ, D. P.; JENSEN, O. M. Mitigation strategies for autogenous shrinkage cracking. In: Proceedings of the International Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete, 2004, Hiroshima. Proceedings [...]. RILEM Publications, 2004. p. 223–232.
[16] MECHTCHERINE, V.; REINHARDT, H. W. Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction: State-of-the-art report of the RILEM TC 225-SAP. Dordrecht: Springer, 2012.
[17] WU, H. et al. Mechanism of autogenous shrinkage of ultra-high performance concrete: multiscale analysis. Construction and Building Materials, v. 149, p. 62–71, 2017.
[18] MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2006.
[19] TMC – THE CONCRETE MANUAL COMMITTEE. Design and control of concrete mixtures. 15. ed. Skokie: Portland Cement Association, 2008.
[20] BARR, B.; EL-BADEN, M. Plastic shrinkage cracking and evaporation rates. Magazine of Concrete Research, v. 55, n. 1, p. 25–31, 2003.
[21] NOUSHINI, A. et al. Drying shrinkage and cracking risk of concrete: effects of binder composition and environmental conditions. Cement and Concrete Composites, v. 110, p. 103581, 2020.
[22] TAZAWA, E. et al. Mechanisms of autogenous shrinkage of cementitious materials. Cement and Concrete Research, v. 22, n. 6, p. 1179–1189, 1992.
[23] TAZAWA, E.; MIYAZAWA, S.; KOBAYAKAWA, M. Chemical shrinkage and autogenous shrinkage of hydrating cement paste. Cement and Concrete Research, v. 25, n. 2, p. 288–292, 1995.
[24] WEISS, J. et al. Shrinkage reducing admixtures: mechanisms and practical applications. ACI Materials Journal, v. 96, n. 1, p. 41–48, 1999.
[25] BENTZ, D. P. et al. Internal curing of high-performance blended cement mortars. Materials and Structures, v. 34, n. 239, p. 521–526, 2001.
[26] HÖGLUND, L. O. Expansive cement for shrinkage compensation in concrete. Cement and Concrete Research, v. 22, n. 4, p. 695–700, 1992.
[27] MEHTA, P. K.; GERWICK JR., B. C.; KRAUSS, P. D. Expansion of structural concrete due to the use of expansive cements. Journal of the American Concrete Institute, v. 79, n. 4, p. 295–304, 1982.
[28] CHEN, B. et al. Investigation on the properties of expansive concrete with fly ash. Construction and Building Materials, v. 22, n. 3, p. 185–189, 2008.
[29] KOVLER, K. Internal curing of concrete with lightweight aggregates to reduce autogenous shrinkage. Proceedings of the International Symposium on Shrinkage of Concrete, 2007, Haifa. p. 125–138.
[30] KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Version 2.3. Keele University and University of Durham, 2007. Technical Report EBSE-2007-01.
[31] BAKHAREV, T.; SANJAYAN, J. G.; CHENG, Y.-B. Effect of elevated temperature curing on properties of alkali-activated slag concrete. Cement and Concrete Research, v. 29, n. 10, p. 1619–1625, 1 out. 1999.
[32] DEBOODT, T.; FU, T.; IDEKER, J. H. Evaluation of FLWA and SRAs on autogenous deformation and long-term drying shrinkage of high performance concrete. Construction and Building Materials, v. 119, p. 53–60, 30 ago. 2016.
[33] GONG, J.; ZENG, W.; ZHANG, W. Influence of shrinkage-reducing agent and polypropylene fiber on shrinkage of ceramsite concrete. Construction and Building Materials, v. 159, p. 155–163, 20 jan. 2018.
[34] JIANG, L. et al. Utilization of flue gas desulfurization gypsum as an activation agent for high-volume slag concrete. Journal of Cleaner Production, v. 205, p. 589–598, 20 dez. 2018.
[35] LIU, K. et al. Effects of pumice-based porous material on hydration characteristics and persistent shrinkage of Ultra-High Performance Concrete (UHPC). Materials, v. 12, n. 1, 2018.
[36] PASSUELLO, A.; MORICONI, G.; SHAH, S. P. Cracking behavior of concrete with shrinkage reducing admixtures and PVA fibers. Cement and Concrete Composites, v. 31, n. 10, p. 699–704, 1 nov. 2009.
[37] MUTHUKRISHNAN, S.; GUPTA, S.; KUA, H. W. Application of rice husk biochar and thermally treated low silica rice husk ash to improve physical properties of cement mortar. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, v. 104, p. 102376, 1 dez. 2019.
[38] OLIVIER, G. et al. Combined effect of nano-silica, super absorbent polymers, and synthetic fibres on plastic shrinkage cracking in concrete. Construction and Building Materials, v. 192, p. 85–98, 20 dez. 2018.

[39] ROBERTI, F. et al. High- and ultra-high-performance concrete produced with sulfate-resisting cement and steel microfiber: Autogenous shrinkage, fresh-state, mechanical properties and microstructure characterization. Construction and Building Materials, v. 268, p. 121092, 25 jan. 2021.
[40] COMBRINCK, R. et al. Effect of various liquid admixtures on cracking of plastic concrete. Construction and Building Materials, v. 202, p. 139–153, 30 mar. 2019.
[41] OLIVIER, G.; COMBRINCK, R.; KAYONDO, M.; BOSHOFF, W. P. The effectiveness of polypropylene fibres and super absorbent polymers on mitigating autogenous shrinkage in concretes with nanosilica. Construction and Building Materials, v. 172, p. 597–605, 2018.
[42] GRUSZCZYŃSKI, M.; BAJOREK, G. The possibility of shrinkage strain reduction in cements mortars. MATEC Web of Conferences, v. 174, p. 02013, 2018.
[43] SALIBA, J. et al. Influence of shrinkage-reducing admixtures on plastic and long-term shrinkage. Cement and Concrete Composites, v. 33, n. 2, p. 209–217, 2011a.
[44] ROSTAMI, R.; KLEMM, A. J.; ALMEIDA, F. C. R. Influence of superabsorbent polymers on early age and hardened properties of fibre-reinforced mortars. Construction and Building Materials, v. 301, p. 124352, 2021.
[45] OLIVIER, G.; COMBRINCK, R.; KAYONDO, M.; BOSHOFF, W. P. The effectiveness of polypropylene fibres and super absorbent polymers on mitigating autogenous shrinkage in concretes with nanosilica. Construction and Building Materials, v. 172, p. 597–605, 2018.
[46] SALIBA, J. et al. Influence of shrinkage-reducing admixtures on plastic and long-term shrinkage. Cement and Concrete Composites, v. 33, n. 2, p. 209–217, 1 fev. 2011b.
[47] VIGGIANO, Rocco P.; WILLIAMS, Jarrod C.; SCHIRALDI, David A.; MEADOR, Mary Ann B. Aerogels of polyimide: Synthesis, characterization, and performance of 9,9'-bis(4-aminophenyl)fluorene (BAPF) aerogels. Journal of Materials Science, v. 52, n. 5, p. 2687–2697, 2017.
[48] PEI, H.; LI, Z.; LI, Y. Effects of paraffin and magnesium oxide on the hydration properties of cement paste. Cement and Concrete Research, v. 87, p. 88–96, 2016.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-15

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE EPS COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DE GESSO LEVE

RIBEIRO, João Pedro Reges[1]; OLIVEIRA, Joanderson Silva de[2]; MOTA, Julia Maria Carneiro[3]; SOUSA, José Getúlio Gomes de[4]

[1] UNIVASF, Juazeiro, Brasil, joao.pedror@discente.univasf.edu.br, 0009-0003-2396-3061
[2] UNIVASF, Juazeiro, Brasil, joanderson.silva@discente.univasf.edu.br, 0009-0006-1978-2649
[3] UNIVASF, Juazeiro, Brasil, carneirojjulia@gmail.com, 0009-0003-6965-2568
[4] UNIVASF, Juazeiro, Brasil, jose.getulio@univasf.edu.br, 0000-0000-8151-0971

RESUMO

Este trabalho avalia a viabilidade do uso de Poliestireno Expandido (EPS) em pastas de gesso para blocos de alvenaria de vedação, buscando reduzir a massa específica sem comprometer o desempenho. Foram utilizados gesso para fundição, pérolas de EPS e água, com relações água/gesso de 0,6 e 0,7. Produziram-se pastas de gesso puro (referência) e com adições de 0,20%, 0,40% e 0,60% de EPS. No estado fresco, analisaram-se as propriedades físicas de trabalhabilidade e consistência. No estado endurecido, avaliaram-se a massa específica aparente, dureza superficial e resistência à compressão, permitindo distinguir propriedades físicas e mecânicas. Observou-se que maiores teores de EPS dificultaram a moldagem, mas reduziram significativamente a massa específica, atingindo até 36,4% em relação ao gesso de referência. Em contrapartida, houve queda progressiva nas propriedades mecânicas. O teor de 0,40% de EPS apresentou o melhor equilíbrio, permitindo a produção de blocos de alvenaria de vedação mais leves e com desempenho mecânico adequado ao uso construtivo.

Palavras-chave: gesso; poliestireno expandido (EPS); agregado leve; propriedades mecânicas.

ABSTRACT

This study evaluates the feasibility of using Expanded Polystyrene (EPS) in gypsum pastes for non-structural masonry blocks, aiming to reduce bulk density without compromising performance. Casting gypsum, EPS beads, and water were used, with water/gypsum ratios of 0.6 and 0.7. Pure gypsum pastes (reference) and mixtures with 0.20%, 0.40%, and 0.60% EPS were produced. In the fresh state, the physical properties of workability and consistency were analyzed. In the hardened state, apparent density, surface hardness, and compressive strength were evaluated, allowing the distinction between physical and mechanical properties. It was observed that higher EPS contents made molding more difficult but significantly reduced bulk density, reaching up to 36.4% compared to the reference gypsum. On the other hand, a progressive decrease in mechanical properties was noted. The 0.40% EPS content showed the best balance, enabling the production of lighter non-structural masonry blocks with adequate mechanical performance for construction use.

Keywords: gypsum; expanded polystyrene (EPS); weight reduction; mechanical properties.

1. INTRODUÇÃO

O gesso é um aglomerante aéreo encontrado em jazidas distribuídas globalmente, comumente apresentado como um pó branco obtido a partir da gipsita, mineral composto por sulfato de cálcio di-hidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). A gipsita é amplamente utilizada na indústria do cimento como retardador de pega, sendo adicionada ao clínquer, além de ser aplicada diretamente na construção civil após sua transformação em gesso. A busca por soluções que otimizem e facilitem o trabalho dos profissionais da construção tem estimulado o desenvolvimento de novos materiais e formas de aplicação, e o gesso, embora tradicional, acompanha essa evolução, uma vez que sua ampla disponibilidade o torna um insumo de fácil acesso.

Dentre as possibilidades de aplicação do gesso na construção civil, destaca-se a fabricação de blocos moldados. Esses blocos apresentam vantagens como rápida e fácil instalação, associadas a boas propriedades de resistência mecânica e acabamento superficial. Além disso, existem blocos de gesso produzidos com compósitos, desenvolvidos para proporcionar características específicas e superiores às do gesso convencional, como maior resistência e aderência.

A redução da massa dos blocos de gesso apresenta vantagens técnicas, como a diminuição das cargas estruturais nas edificações, especialmente em construções antigas ou com limitações de carga. Além do alívio estrutural, a menor densidade influencia o desempenho do sistema de vedação, impactando aspectos como isolamento acústico, resistência e estabilidade dimensional. Essa relação orienta o leitor sobre os benefícios e limitações do uso de blocos mais leves. A redução de peso também favorece a saúde e segurança dos trabalhadores, ao minimizar riscos de lesões e fadiga pelo manuseio de blocos que podem ultrapassar quatorze quilos.

O transporte dos blocos de gesso também se beneficia da redução de massa, visto que o custo do frete é geralmente calculado com base no peso da carga. Além da economia, há um aumento da eficiência logística, permitindo o transporte de maior quantidade de unidades por viagem e a utilização de veículos com menor capacidade de carga, o que é vantajoso em áreas de difícil acesso para caminhões de grande porte.

Além dos ganhos diretos na logística e na execução da obra, a redução da densidade dos blocos de gesso impacta diretamente o desempenho do sistema de vedação. Paredes mais leves exercem menor pressão sobre a estrutura e fundações, ao mesmo tempo em que podem apresentar vantagens no conforto térmico e acústico, a depender da composição adotada. Essa relação entre massa específica e desempenho deve ser considerada para orientar tanto o projetista quanto o executor, garantindo que a redução de peso não comprometa a resistência e a estanqueidade do sistema como um todo.

Como alternativa para a redução da massa dos blocos, destaca-se o uso do poliestireno expandido (EPS), conhecido comercialmente como isopor, um compósito de baixa densidade. Esse material já vem sendo empregado na produção de blocos de concreto leve sem função estrutural, como demonstrado por Aberwanger (2021) [1], que avaliou propriedades como absorção de água, umidade relativa, massa específica e resistência à compressão.

A incorporação do EPS à pasta de gesso, tradicionalmente utilizada na produção de pré-moldados, surge como uma proposta promissora. A mistura de gesso com pérolas de EPS, em proporções ajustadas conforme as propriedades desejadas, resulta em um compósito que pode oferecer diversas vantagens: leveza, resistência ao fogo, bom isolamento térmico e acústico, além de ser economicamente viável quando comparado a agregados convencionais.

Embora o EPS seja amplamente empregado em diferentes setores, como embalagens, peças automotivas e lajes pré-moldadas, ainda há uma carência de estudos conclusivos sobre sua aplicação em blocos de gesso leve. Essa lacuna dificulta a definição de parâmetros técnicos e o avanço de pesquisas futuras na área.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade da utilização do poliestireno expandido (EPS) na formulação de pastas de gesso com menor massa específica, preservando propriedades físicas e mecânicas adequadas, além de investigar a possibilidade de produção de blocos com esse compósito. Contudo, a ausência de normas específicas que regulamentem o uso, a produção e a comercialização de misturas leves de gesso representa um desafio. Assim, foram adotadas as normas vigentes relativas ao gesso para construção civil e blocos como materiais de edificação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Agregados leves

Agregados são partículas minerais de forma e volume indefinidos, geralmente inertes, amplamente utilizados na composição de concretos e argamassas na construção civil. Os agregados leves, por sua vez, apresentam estrutura porosa e baixa densidade, sendo aplicados em soluções de isolamento térmico e acústico, aterros leves e concretos de baixa massa específica. Sua incorporação visa à sustentabilidade, à facilidade de manuseio e à redução de cargas estruturais.

i. Poliestireno expandido (EPS) como agregado leve

Entre os agregados leves utilizados na construção civil destacam-se o EVA (etileno-acetato de vinila), argila expandida, vermiculita, perlita e o poliestireno expandido (EPS), sendo este último o foco do presente estudo. Segundo Knauf (2019) [4], a sigla EPS deriva do termo em inglês Expanded Polystyrene, desenvolvido na Alemanha em 1949 e introduzido no Brasil na década de 1960, popularizando-se como "Isopor" a partir de 1988. Trata-se de um material termoplástico reciclável composto por 98% de ar e 2% de poliestireno, obtido por expansão de grânulos derivados do petróleo.

Conforme o BNDES (2022) [5], cerca de 46% do EPS consumido no país destina-se à construção civil, evidenciando crescimento significativo em comparação com 1995. Esse avanço é atribuído ao aumento da demanda por soluções construtivas mais eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis, impulsionado pelo crescimento populacional e pelo padrão de consumo.

O EPS destaca-se por sua baixa densidade, propriedades termoacústicas, resistência, facilidade de manuseio e baixo custo, fatores que contribuem para sua crescente aplicação em sistemas construtivos leves. Sua incorporação pode reduzir o consumo energético com climatização, melhorar o conforto ambiental e diminuir o peso das estruturas [6]. Ainda segundo Tessari (2006) [6], a indústria da construção civil possui elevado potencial de absorção de resíduos de EPS, embora o uso ainda seja limitado pela escassez de pesquisas e investimentos que validem sua viabilidade técnica.

ii. Agregado leve em gesso

Uma das principais vantagens do gesso como material de construção é sua reduzida massa específica em comparação a materiais como o concreto e a argamassa de cimento. No entanto, a discussão sobre a redução do peso das estruturas permanece relevante, e a incorporação de agregados leves à matriz de gesso desponta como alternativa promissora. Essa prática, além de reduzir a densidade do compósito, pode conferir melhorias no desempenho termoacústico, dependendo das características do agregado utilizado, mantendo, em alguns casos, propriedades mecânicas satisfatórias.

Oliveira (2012) [7] constatou que o aumento da proporção de vermiculita e da relação água/gesso resulta em redução da resistência à compressão do compósito. Santos (2022) [8] chegou a conclusões semelhantes, mas destacou a capacidade isolante da vermiculita, que proporcionou uma redução de até 19,5% na condutividade térmica. Medeiros (2017) [9], ao avaliar cinco agregados leves – resíduos de papel kraft, papel comum, pó de EVA, pó de EPS e resíduos da indústria do couro – identificou o pó de EVA como o que conferiu melhor desempenho global, embora os demais também tenham promovido ganhos na resistência à flexão e na condutividade térmica em comparação à matriz de gesso convencional.

Por fim, Rohden e Mecabô (2016) [10], ao analisarem placas de gesso reciclado com adição de EPS, verificaram que a inclusão de 10 g de EPS por kg de gesso reduziu a massa específica das placas em até 48%, evidenciando o potencial dos agregados leves para otimizar propriedades físicas do gesso sem comprometer seu desempenho funcional.

2.2 Produção de blocos de gesso

De acordo com o SINDUSGESSO (2023) [2], os blocos de gesso proporcionam um aumento de 3 a 4% na área útil das construções. Além disso, as paredes de gesso apresentam uma redução significativa no peso estrutural quando comparadas às de alvenaria ou concreto, que podem ser até nove vezes mais pesadas do que as de gesso [11]. Essa característica resulta em maior esbeltez das estruturas, além de promover ganhos em produtividade na montagem das divisórias, otimizando o acabamento e a eficiência térmica, o que contribui para a redução no consumo de energia elétrica. Entretanto, é possível

reduzir ainda mais a massa dos blocos de gesso por meio da adição de agregados leves à pasta de gesso, o que melhora ainda mais as propriedades já vantajosas do material.

A produção de blocos de gesso, amplamente disseminada globalmente, tem como principal aplicação a alvenaria de vedação. O processo de fabricação pode variar de acordo com as tecnologias empregadas, mas, de maneira geral, o gesso é misturado com água e, eventualmente, com aditivos plastificantes e controladores de pega para facilitar a manipulação e o endurecimento. A pasta de gesso é então colocada em moldes de tamanhos e formas específicas, e o desmolde ocorre após o processo de endurecimento, cujo tempo depende das dimensões do bloco.

Após o desmolde, os blocos passam por um processo de cura e acabamento, no qual são deixados ao ar livre para que o gesso continue a endurecer e atinja sua resistência final. Eventualmente, pode-se realizar lixamento e nivelamento para otimizar a qualidade superficial do bloco, caso necessário.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os materiais empregados nos ensaios de caracterização do gesso, o desenvolvimento dos procedimentos experimentais e as avaliações das propriedades tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. O estudo foi conduzido em duas fases: a primeira consistiu em um estudo preliminar de pastas de gesso com EPS, realizado em corpos de prova, e a segunda fase envolveu a produção de blocos de gesso a partir das pastas com melhor desempenho obtidas na etapa inicial.

A água utilizada nos ensaios foi obtida por meio do processo de destilação da água fornecida pelo Sistema de Abastecimento de Água de Juazeiro – BA (SAAE), em conformidade com a norma NBR 12129 [12]. O gesso, por sua vez, foi fornecido pela empresa Ecogesso como doação ao Laboratório de Materiais e Técnicas Construtivas (LABMATEC) da UNIVASF, localizado em Juazeiro – BA. Esse material, oriundo da cidade de Araripina, situada no Polo Gesseiro do Araripe em Pernambuco, corresponde ao tipo beta para fundição, cuja caracterização laboratorial resultou nos dados apresentados na Tabela 01.

Tabela 1 – Caracterização do gesso utilizado no estudo.

Propriedades	Resultados obtidos da amostra	Critérios da NBR 13207/2017 [13]	Método de Ensaio
Massa unitária (g/cm^3)	0,66	≥0,60	NBR 12127 (2019) [14]
Massa específica (g/cm^3)	2,55	-	NBR NM 23 (2000) [15]
Granulometria (%)	99,42	≥ 90 (passante na peneira de abertura 0,21 mm)	NBR 12127 (2019) [14]
Consistência normal (a/g)	0,47	-	NBR 12128 (2019) [16]
Tempo de início de pega (min)	9,0	≤10	NBR 12128 (2019) [16]
Tempo de fim de pega (min)	16,0	≤20	NBR 12128 (2019) [16]
Resistência à compressão (MPa)	15,8	≥8,4	NBR 13207 (1994) [17]

O poliestireno expandido (EPS) utilizado nos ensaios foi adquirido pelo Laboratório de Materiais de Construção da UNIVASF, no Campus Juazeiro, apresentando-se na forma de pérolas com diâmetro médio de 5,0 mm.

A primeira etapa do estudo foi conduzida considerando duas relações água/gesso, 0,6 e 0,7, com o objetivo de otimizar a trabalhabilidade sem comprometer as propriedades mecânicas.

Além das pastas de referência, sem adição de EPS, foram analisadas três formulações com diferentes teores do material, correspondentes a 0,2%, 0,4% e 0,6% em relação à massa de gesso, definidos a partir de testes preliminares realizados no LABMATEC.

As proporções utilizadas em cada uma das pastas estudadas estão apresentadas na Tabela 02.

O poliestireno expandido utilizado nos ensaios foi adquirido pelo Laboratório de Materiais de Construção da UNIVASF, localizado no Campus Juazeiro. O material apresentou-se na forma de pérolas, com diâmetro médio de 5,0 mm..

Tabela 2 – Proporção de materiais utilizada em cada pasta de gesso estudada.

Pasta	Água/gesso	EPS (%)
P6-0,0	0,6	0,0
P6-0,2	0,6	0,2
P6-0,4	0,6	0,4
P6-0,6	0,6	0,6
P7-0,0	0,7	0,0
P7-0,2	0,7	0,2
P7-0,4	0,7	0,4
P7-0,6	0,7	0,6

Para cada teor de gesso, foram avaliadas as características de espraiamento e as propriedades mecânicas, incluindo resistência à compressão e dureza superficial. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Material e Técnicas Construtivas (LABMATEC) e no Complexo de Laboratórios da Mecânica (CLM/CENMEC), na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), em Juazeiro-BA.

Na segunda etapa do estudo, foram produzidos blocos de gesso para alvenaria com dimensões de 10x20x40 cm. A pasta utilizada na produção dos blocos foi selecionada com base na melhor proporção de EPS que proporcionasse redução na massa específica, mantendo consistência e trabalhabilidade adequadas durante a moldagem dos blocos, além de garantir dureza e resistência à compressão compatíveis com os parâmetros normativos. Cada bloco produzido foi avaliado quanto à massa específica e resistência à compressão. As proporções utilizadas para cada bloco estão apresentadas na Tabela 03.

Tabela 3 – Proporção de materiais utilizada em cada pasta de gesso estudada.

Pasta	Água/gesso	EPS (%)
P6-0,0	0,6	0,0
P6-0,4	0,6	0,4
P6-0,0	0,7	0,0
P6-0,4	0,7	0,4

Durante a etapa de mistura de cada pasta, os procedimentos adotados seguiram as orientações da NBR 12128 [16]. Inicialmente, a amostra de gesso previamente pesada foi polvilhada sobre a água no recipiente durante um minuto, permanecendo em repouso por dois minutos. Em seguida, o EPS foi adicionado e incorporado com movimentos circulares por um minuto, resultando em uma pasta homogênea.



Figura 1 – Mistura da pasta de gesso: a) Gesso sendo polvilhado e b) Pasta de gesso com EPS sendo misturada.

Para a avaliação da consistência foi empregado o método de espraiamento, amplamente utilizado na indústria do gesso. A pasta foi vertida até o transbordamento de um molde cilíndrico de PVC (Ø 40 mm × 150 mm), apoiado sobre uma placa de vidro lisa e nivelada. Após o período inicial de pré-endurecimento, o molde foi removido verticalmente, permitindo que a amostra se expandisse livremente sobre a placa (Fig. 02). Em seguida, foi determinado o diâmetro médio do círculo formado, calculado pela média de duas medidas perpendiculares ao centro de espraiamento. Esse ensaio fornece um indicador rápido e reprodutível da fluidez e da ação plastificante da pasta.

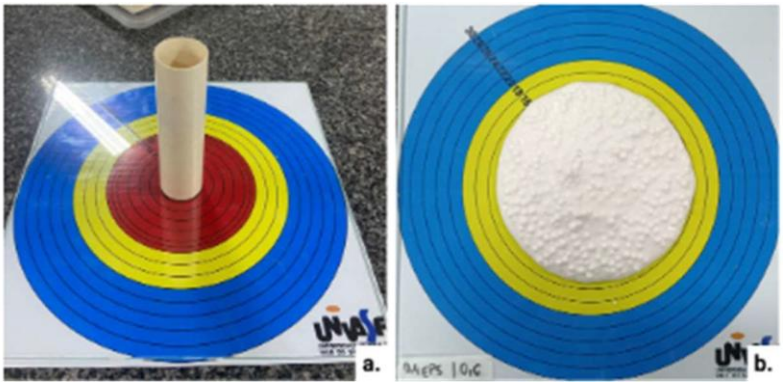


Figura 2 – Ensaio de consistência por espraiamento: a) Dispositivos utilizados no ensaio de espraiamento e b) Espalhamento da pasta de gesso, após ensaio.

De acordo com a NBR 12129:2019 [12], preparou-se pasta de gesso em quantidade suficiente para a moldagem simultânea de três corpos de prova cúbicos com aresta de 50,0 mm. Após o endurecimento inicial, cada espécime foi codificado e submetido à cura em estufa a 40 °C por sete dias. Em seguida, definiu-se a face de contato com o molde (base) e duas faces laterais opostas em cada corpo de prova para a realização dos ensaios de dureza superficial, conforme o método padronizado.

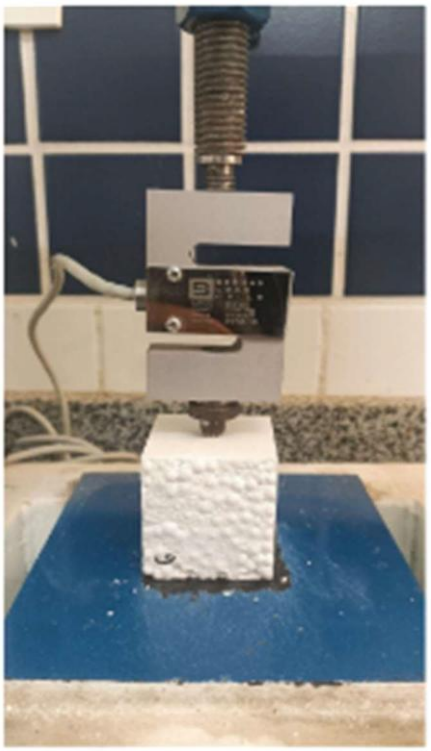


Figura 3 – Ensaio de dureza.

Para o ensaio de compressão, empregou-se uma prensa hidráulica com capacidade nominal de 10 000 kgf, conforme ilustrado na Figura 04.

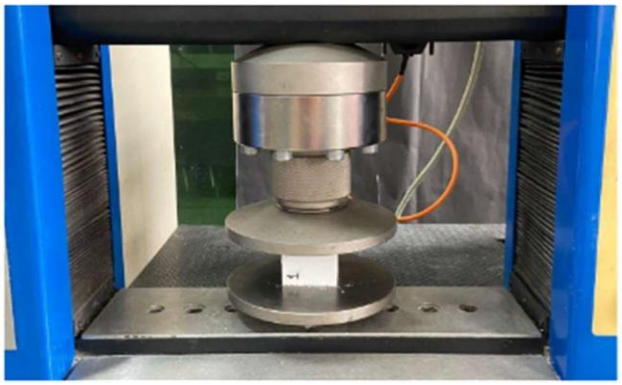


Figura 4 – Ensaio de compressão.

Após a moldagem, os corpos de prova contendo 0,0; 0,2; 0,4 e 0,6 % de EPS em relação à massa de gesso, para as relações água/gesso de 0,6 e 0,7, foram submetidos à cura em estufa a 40 ± 2 °C por sete dias. Concluído o período de secagem, os espécimes foram acondicionados em ambiente climatizado e pesados em balança analítica com precisão de 0,01 g para a obtenção da massa seca. A massa específica de cada corpo de prova foi determinada pela relação entre essa massa seca e o volume geométrico do cubo (50 mm × 50 mm × 50 mm).

A moldagem dos blocos de gesso foi realizada de forma análoga à dos corpos de prova destinados aos ensaios de compressão e dureza. A pasta de gesso foi vertida em moldes produzidos com componentes fabricados por impressão 3D, apoiados em estrutura de madeira (Figura 05). Decorrido o tempo de fim de pega, realizou-se o desmolde e a secagem ao

ar livre. Foram confeccionados oito blocos: quatro com relação água/gesso de 0,6 e quatro com relação de 0,7, sendo, em cada grupo, dois blocos sem adição de EPS e dois com teor de 0,4 % em relação à massa de gesso. O valor de 0,4 % foi escolhido por representar um teor intermediário, garantindo facilidade de moldagem e preservação da resistência à compressão próxima à dos blocos sem agregado leve.

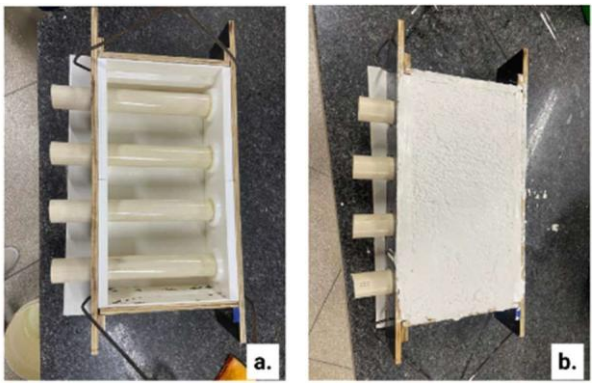


Figura 2 – Molde utilizado na produção dos blocos de gesso: a) Molde do bloco de gesso e b) Molde preenchido com pasta de gesso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção investigará o efeito da incorporação de poliestireno expandido (EPS) nas pastas de gesso, objetivando quantificar as alterações em suas propriedades físico-mecânicas em função das diferentes dosagens de EPS. Serão avaliados o índice de espraiamento (consistência), a massa específica, a dureza superficial e a resistência à compressão.

4.1 Análise das propriedades avaliadas no estado fresco

i. Resultados de consistência pelo método do espraiamento

Em relação ao ensaio de espraiamento, verificou-se que o aumento do teor de EPS de 0,2% para 0,6% promoveu uma redução progressiva no diâmetro médio de espraiamento, indicando incremento na consistência das pastas (Figura 06). Esse comportamento foi observado para ambas as relações água/gesso (0,6 e 0,7), sendo que, em todas as dosagens, as pastas com relação 0,7 apresentaram diâmetros de espraiamento superiores aos das pastas com relação 0,6. Os valores numéricos correspondentes encontram-se na Tabela 04.

Além disso, a adição de EPS comprometeu a trabalhabilidade das pastas, dificultando o preenchimento do molde de espraiamento. Esse efeito é atribuído à baixa densidade das pérolas de EPS, que tendem a migrar verticalmente e concentrar-se na porção superior do molde, prejudicando a uniformidade da amostra e a reprodutibilidade do ensaio.

Tabela 4 – Resultado de espraiamento.

Pasta	C1 (mm)	C2 (mm)	C3 (mm)	CMED (mm)
P6-0,0	232,6	226,28	230,69	229,86
P6-0,2	163,36	169,82	164,94	166,04
P6-0,4	150,49	152,40	152,98	151,96
P6-0,6	137,33	136,21	138,86	137,47
P7-0,0	281,71	276,18	279,06	278,98
P7-0,2	227,80	221,78	231,73	227,10
P7-0,4	174,85	175,33	174,43	174,87
P7-0,6	156,66	154,27	156,63	155,85



Figura 3 – Espraiamento de pasta de gesso.

4.2 Análise das propriedades avaliadas no estado endurecido

i. Resultados de dureza superficial

Os valores de dureza superficial das pastas de gesso estão apresentados na Tabela 05. Observou-se que, para uma mesma Em relação à dureza superficial, o aumento do teor de EPS (0,20 %, 0,40 % e 0,60 %) resultou em decréscimos progressivos, atingindo reduções máximas de 45,87 % (água/gesso = 0,6) e 38,57 % (água/gesso = 0,7) em comparação ao compósito sem EPS. Para um mesmo teor de EPS, a relação água/gesso de 0,6 apresentou valores de dureza superiores aos obtidos com relação 0,7. A elevada variabilidade dos resultados provavelmente se deve à heterogeneidade local gerada pela presença de pérolas de EPS na superfície de ensaio, que provocou diferentes profundidades de penetração da esfera de dureza.

Comparando-se aos requisitos da NBR 13207:2007 [17], que estabelece dureza mínima de 20 N/mm² para gessos moldados na consistência normal (água/gesso = 0,47), verificou-se que apenas as pastas com relação água/gesso de 0,6 e teor de até 0,40 % de EPS atenderam ao critério normativo. As pastas com relação 0,7, incluindo o gesso puro, não alcançaram o valor de referência para dureza superficial.

Tabela 5 – Resultados de dureza nas pastas com relação água/gesso de 0,6 e 0,7.

Água/gesso	EPS	Dureza (N/mm^2)	Dureza média	Água/gesso	EPS	Dureza (N/mm^2)	Dureza média
0,6	0,00%	61,64	26,97	0,7	0,00%	20,33	17,72
		21,81				17,63	
		27,45				15,21	
	0,20%	30,82	26,23		0,20%	20,24	15,61
		30,62				14,93	

		17,25				11,65	
	0,40%	28,27	22,02		0,40%	18,66	11,33
		19,90				9,89	
		17,89				5,45	
	0,60%	33,17	14,60		0,60%	18,23	10,89
		5,04				7,84	
		5,57				6,60	

Hipotetiza-se que as deformações excessivas observadas nos corpos de prova, causadas pela presença de pérolas de EPS, possam ser mitigadas por meio de moldagem estratificada. Nessa abordagem, o núcleo seria constituído pela pasta de gesso com EPS, enquanto as camadas periféricas seriam formadas por pasta de gesso sem adição de EPS. Essa estratégia permite preservar os benefícios do agregado leve no interior do espécime, reduzindo sua densidade, ao mesmo tempo em que as camadas externas proporcionam maior uniformidade mecânica e integridade superficial, minimizando a heterogeneidade nos ensaios de dureza e melhorando a consistência dimensional do material.

ii. Resultados de resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão, apresentados nas Tabelas 06 e 07 e na Figura 07, evidenciam uma redução progressiva desse parâmetro com o aumento do teor de EPS. Nas pastas com relação água/gesso de 0,7, a adição de apenas 0,20 % de EPS já resultou em resistência inferior ao valor de referência de 8,4 MPa, estabelecido pela NBR 13207 (1994) para gesso na consistência normal (r = 0,47; Tabela 01). Nas pastas com relação água/gesso de 0,6, o teor de 0,20 % de EPS manteve a resistência acima de 8,4 MPa, enquanto 0,40 % de EPS reduziu a resistência para 5,7 MPa (Figura 08), ainda dentro dos limites usuais para essa proporção água/gesso. Para efeito de comparação, Barbosa (2014) reportou resistências à compressão entre 10,5 e 12,5 MPa para r = 0,6 e entre 8,5 e 10,5 MPa para r = 0,7 em gesso do Polo do Araripe.

Tabela 6 – Resultados de resistência à compressão para a relação água/gesso de 0,6.

EPS	Força (N)	Área (mm^2)	Resistência (Mpa)	Resistência média (MPa)
0,00%	36564,42	2500,00	14,63	14,29
	34617,59	2500,00	13,85	
	36023,26	2500,00	14,41	
0,20%	22994,44	2500,00	9,20	8,55
	22034,63	2500,00	8,81	
	19087,15	2500,00	7,63	
0,40%	15125,41	2500,00	6,05	5,70
	15513,42	2500,00	6,21	
	12109,86	2500,00	4,84	
0,60%	10962,86	2500,00	4,39	3,85
	8978,59	2500,00	3,59	
	8964,97	2500,00	3,59	

Tabela 7 – Resultados de resistência à compressão para a relação água/gesso de 0,7.

EPS	Força (N)	Área (mm^2)	Resistência (Mpa)	Resistência média (MPa)
0,00%	28807,71	2500,00	11,52	11,21
	28794,10	2500,00	11,52	
	26506,91	2500,00	10,60	
0,20%	16660,42	2500,00	6,66	6,39
	13631,25	2500,00	5,45	
	17623,62	2500,00	7,05	
0,40%	11732,06	2500,00	4,69	4,28
	12024,77	2500,00	4,81	

	8355,74	2500,00	3,34	
0,60%	12351,51	2500,00	4,94	3,88
	6820,73	2500,00	2,73	
	9958,81	2500,00	3,98	

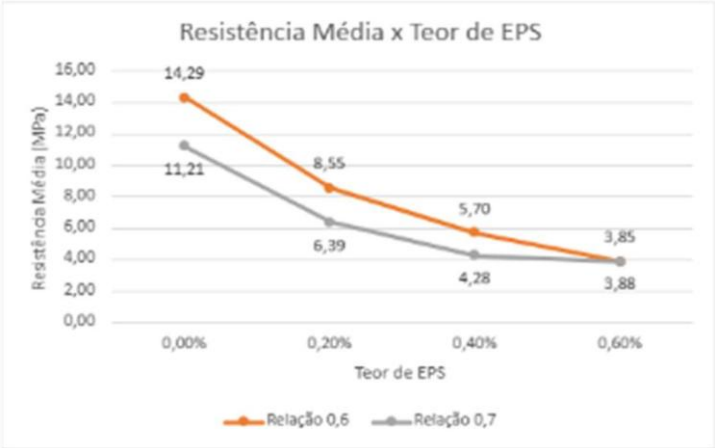


Figura 4 – Resistência à compressão x Teor de EPS.

iii. Resultados de massa específica

A massa específica (ρ), definida como a razão entre a massa e o volume do corpo de prova, apresentou decréscimo progressivo com o aumento do teor de EPS. Para a relação água/gesso de 0,6, a adição de 0,6 % de EPS resultou em redução de massa específica de até 36,4 % em relação ao compósito sem EPS; para r = 0,7, a redução máxima foi de 26,52 % (Tabelas 08 e 09). Embora se espere um comportamento monotônico, o maior decréscimo ocorreu na dosagem de 0,6 % de EPS em r = 0,6, comportamento atípico que pode ser atribuído à dificuldade de homogeneização da elevada proporção de pérolas de EPS na matriz de gesso, ocasionando agregações locais e interfaces irregulares que amplificam a diminuição da densidade aparente.

Tabela 8 – Resultados da redução de massa com relação água/gesso de 0,6.

A/G	EPS	A1 (g)	A2 (g)	A3 (g)	Média (g)	Massa específica (g/cm³)	Redução de massa
0,6	0%	148,07	147,21	148,10	147,79	1,18	-
	0,20%	131,47	132,67	125,65	129,92	1,04	12,08%
	0,40%	110,81	119,12	123,31	117,75	0,94	20,33%
	0,60%	94,98	90,84	96,15	93,99	0,75	36,40%

Tabela 9 – Resultados da redução de massa com relação água/gesso de 0,7.

A/G	EPS	A1 (g)	A2 (g)	A3 (g)	Média (g)	Massa específica (g/cm³)	Redução de massa
0,7	0%	134,40	133,52	134,57	134,16	1,07	-
	0,20%	116,60	119,91	121,48	119,33	0,95	11,05%
	0,40%	111,03	100,90	106,71	106,21	0,85	20,83%
	0,60%	101,91	104,39	99,64	101,98	0,82	23,99%

Na análise comparativa da redução de massa específica em função do teor de EPS para as relações água/gesso de 0,6 e 0,7, verificou-se que o decréscimo máximo ocorreu em r = 0,6. Contudo, a influência da relação água/gesso sobre o

percentual de redução de massa mostrou-se desprezível, uma vez que as curvas de regressão das duas proporções apresentam-se praticamente sobrepostas, indicando comportamento similar em ambos os ensaios (Figura 09).

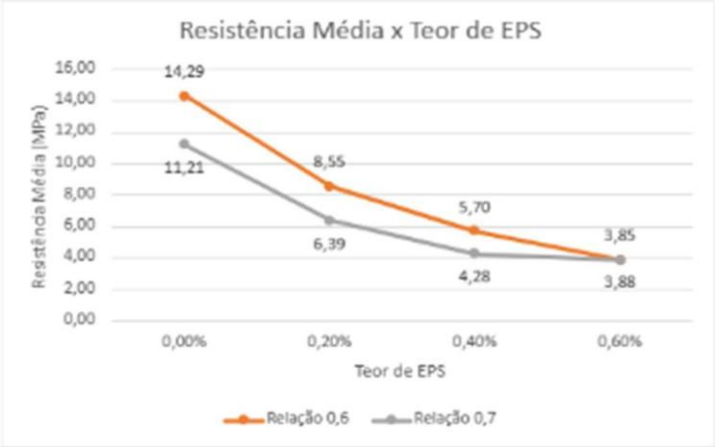


Figura 5 – Redução de peso x Porcentagem de EPS.

4.3 Análise dos blocos de gesso produzidos

Para a produção dos blocos de gesso, adotou-se o teor de 0,40 % de EPS em ambas as relações água/gesso, por apresentar a maior redução de massa específica sem comprometer a trabalhabilidade, a dureza superficial e a resistência à compressão. Conforme evidenciado na Tabela 10, os blocos confeccionados atingiram resistência à compressão superior a 2 MPa, valor equivalente ao de tijolos de solo-cimento, blocos cerâmicos e de concreto, cujas resistências típicas variam entre 1,5 e 3 MPa (Tabela 11).

Tabela 10 – Resultados de resistência à compressão para blocos de gesso.

A/G	EPS	Força (N)	Área (mm^2)	Resistência (Mpa)	Resistência média (MPa)
0,6	0,00%	258250,00	40000,00	6,46	6,98
		299790,00	40000,00	7,49	
	0,40%	101650,00	40000,00	2,54	2,51
		99070,00	40000,00	2,48	
0,7	0,00%	162590,00	40000,00	4,06	4,27
		178770,00	40000,00	4,47	
	0,40%	94220,00	40000,00	2,36	2,23
		84290,00	40000,00	2,11	

Tabela 11 – Valores de resistência à compressão especificados para blocos produzidos com outros materiais.

Blocos	Valores mínimos de resistência à compressão (MPa)	Norma (NBR)
Solo-cimento maciço	2,0	8491:2012 [18]
Solo-cimento vazado	2,0	8491:2012 [18]
Cerâmico (vedação)	1,5	15270-1:2017 [19]
Cerâmico (estrutural)	3,0	15270-1:2017 [19]
Concreto (vedação)	3,0	6136:2016 [20]
Concreto (estrutural)	3,0	6136:2016 [20]

O decréscimo da massa específica nos blocos de gesso contendo 0,40 % de EPS foi mais acentuado do que o observado nos corpos de prova. Nos corpos de prova, as reduções de massa foram de 20,33 % e 20,83 % para as relações água/gesso

de 0,6 e 0,7, respectivamente. Já nos blocos produzidos com a mesma dosagem de EPS, as diminuições atingiram 25,78 % e 25,15 %, conforme mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultado de massa específica dos blocos de gesso.

A/G	EPS	A1 (g)	A2 (g)	Média (g)	Resistência (Mpa)	Redução de massa
0,6	0,00%	8090,00	8320,00	8205,00	1,17	-
	0,40%	5940,00	6240,00	6090,00	0,87	25,78%
0,7	0,00%	7415,00	6960,00	7187,50	1,03	-
	0,40¨%	5450,00	5310,00	5380,00	0,77	25,15%

5. CONCLUSÃO

Este estudo avaliou a viabilidade técnica da incorporação de poliestireno expandido (EPS) em pastas de gesso, com o objetivo de reduzir a massa específica sem comprometer a trabalhabilidade e as propriedades mecânicas. Foram preparadas pastas com relações água/gesso de 0,6 e 0,7, adicionando-se 0,0 %, 0,2 %, 0,4 % e 0,6 % de EPS em relação à massa de gesso. No estado fresco, o ensaio de espraiamento mostrou que o aumento do teor de EPS promoveu redução progressiva do diâmetro médio de espalhamento, indicando incremento da consistência e aceleração do início de pega, o que pode afetar a moldagem de corpos de prova e pré-moldados.

No estado endurecido, a massa específica apresentou decréscimos de até 36,4 % (r = 0,6) e 26,5 % (r = 0,7) para 0,6 % de EPS, confirmando a eficácia do EPS na redução do peso. A dureza superficial diminuiu em até 45 %, devido à presença de pérolas de EPS que geram penetrações localizadas e heterogeneidade na superfície, enquanto a resistência à compressão decresceu quase linearmente com o aumento do EPS, variando de 14,3 a 3,9 MPa (r = 0,6) e de 11,2 a 3,9 MPa (r = 0,7), refletindo a menor coesão e a migração das partículas leves durante a moldagem.

Para a produção de blocos de alvenaria (10 × 20 × 40 cm), adotou-se 0,4 % de EPS, que proporcionou equilíbrio entre redução de massa (25,8 % em r = 0,6; 25,2 % em r = 0,7), trabalhabilidade e desempenho mecânico, resultando em resistências à compressão de 2,51 MPa (r = 0,6) e 2,23 MPa (r = 0,7), valores compatíveis com blocos cerâmicos e de solo-cimento.

Esses resultados indicam que a adição moderada de EPS constitui estratégia promissora para a produção de elementos de gesso leve, permitindo redução de massa, manutenção das propriedades mecânicas e facilidades de manuseio, além de potencial economia de material.

REFERÊNCIAS

[1] ABERWANGER, Cleofas. **AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE POLIETILENO TEREFTALATO (PET) E POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) RECICLADOS NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO**. 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território (Ilatit), Foz do Iguaçu, 2021. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/6473/Avalia%c3%a7%c3%a3o%20da%20Utiliza%c3%a7%c3%a3o%20de%20Polietileno%20Tereftalato%20%28PET%29%20e%20Poliestireno%20Expandido%20%28EPS%29%20Reciclados%20na%20Produ%c3%a7%c3%a3o%20de%20Blocos%20de%20Concreto?>. Acesso em: 14 de novembro de 2023.

[2] SINDUSGESSO (Brasil) (Org.) - SINDUSGESSO – Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcáreos, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do estado de Pernambuco. Disponível em: <https://sindusgesso.org.br/dados-do-setor/>. Acesso em: 29 de julho de 2023.

[3] **Cadernos do PNM 2050**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/pnm-2050/estudos>. Acesso em: 6 de novembro de 2023.

[4] EPS ISOPOR®: TUDO O QUE VOCÊ PRECISA SABER. 2019. Elaborada por Knauf Isopor®. Disponível em: <https://www.mundoisopor.com.br/knauf/eps-isopor-tudo-o-que-voce-precisa-saber>. Acesso em: 23 de julho de 2023.

[5] BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Aspectos Gerais do Poliestireno**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em:
<http://www.bndes.gov.br>. Acesso em: 03 de julho de 2023.

[6] TESSARI, Janaina. **UTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO E POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE SEUS RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88811/234096.pdf>. Acesso em: 13 de outubro de 2023.

[7] Oliveira, Marília P. de, et al. "**Compósitos à base de gesso com resíduos de EVA e vermiculita/Compósitos a base de gesso com resíduos de EVA e vermiculita**." Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 16, 6, junho de 2012, pp. 684+. Gale OneFile: Informe Académico. Disponível em:
<link.gale.com/apps/doc/A610675281/IFME?u=anon~93f2697b&sid=googleScholar&xid=6efc9602>. Acesso em 24 de julho de 2023.

[8] SANTOS, Fernanda Maria Vieira dos. **AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMOMECÂNICAS NA UTILIZAÇÃO DE VERMICULITA EM COMPÓSITO NO GESSO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2022. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2022. Disponível em:
<http://www.univasf.edu.br/~tcc/000028/00002872.pdf.> Acesso em: 13 de outubro de 2023.

[9] MEDEIROS, Thiago Almeida. **Propriedades de compósitos à base de gesso com diferentes resíduos para proteção térmica em edificações**. 2017. 70 f Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2017. Disponível em:
<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/12845>. Acesso em: 24 de julho de 2023.

[10] ROHDEN, Abrahão Bernardo; MECABÔ, Rodolfo Antônio. PLACAS PARA FORRO PRODUZIDAS COM COMPÓSITO DE GESSO E EPS RECICLADOS. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau - SC, v. 17, n. 2, p. 60-73, 20 jun. 2016. Fundação Universidade Regional de Blumenau.

[11] AZ, Ana Claudia. Drywall ou Alvenaria: qual opção é mais vantajosa? 2023. Disponível em:
<https://conteudo.espacosmart.com.br/drywall-ou-alvenaria-comparativo/#:~:text=U
ma%20parede%20de%20Drywall%20simples,peso%20de%20210%20kg%2Fm%C2%B2>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. NBR 12129: **Gesso para construção – Determinação das Propriedades mecânicas – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2019.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13207: **Gesso Para Construção Civil – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. NBR 12127: **Gesso para construção – Determinação das Propriedades físicas do pó**. Rio de Janeiro, 2019.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação de massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. NBR 12128: **Gesso para construção – Determinação das Propriedades físicas da pasta de gesso**. Rio de Janeiro, 2019.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13207: **Gesso Para Construção Civil – Requisitos**. Rio de Janeiro, 1994.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. NBR 8491: **Tijolo de solo-cimento — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. NBR 15270-1: **Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.

[20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. NBR 6136: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-12

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO GESSO COM ADIÇÃO DE ENDURECEDOR DE SUPERFÍCIE

FAGUNDES, Giulliano de Souza[1]; DANTAS, Alan Christie da Silva[2]; SOUSA, Jose Getúlio Gomes de[3]; OLIVIER, Nelson Cárdenas[4]; ALENCAR JUNIOR, Jose Pereira[5]

[1] Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina-PE, Brasil, giulliano.fagundes@ifsertao-pe.edu.br, 0000-0002-3851-3800
[2]Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, alan.dantas@univasf.edu.br, 0000-0002-2357-5427
[3]Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, jose.getulio@univasf.edu.br, 0000-0002-8151-0971
[4]Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, nelson.cardenas@univasf.edu.br, 0000-0003-0501-4949
[5]Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil, jose.pereira@univasf.edu.br, 0000-0001-9613-748X

RESUMO

A indústria da construção civil utiliza o gesso como material de acabamento em paredes, forros, sancas e chapas, muitos dos usos e aplicações que se faz do gesso são limitados, devidas as suas propriedades mecânicas não atenderem aos requisitos dos pretendidos usos, por exemplo a baixa dureza, limitando as utilizações. A melhoria das propriedades mecânicas permite ampliar os usos do gesso e aumentar o valor agregado. O estudo tem o objetivo de avaliar as propriedades mecânicas do gesso com a adição de endurecedor de superfície e hidróxido de cálcio. Todos os corpos de prova foram elaborados com fator água/gesso de 0,7. Foram fabricados corpos de prova de referência, com 15% e 30% de hidróxido de cálcio com e sem aplicação do endurecedor e por fim, gesso e endurecedor. Avaliou-se os corpos de prova em relação a dureza, a resistência a compressão e analise da Microscopia Eletrônica de Varredura. A dureza melhorou para as amostras em que hidróxido de cálcio e endurecedor, atuam juntos. Não houve mudanças na resistência à compressão.

Palavras-chave: gesso; propriedades mecânicas; hidróxido de cálcio.

ABSTRACT

The civil construction industry's use of gypsum for finishing is limited by its mechanical properties, notably low hardness, restricting applications. Enhancing these properties increases its usability and value. This study evaluated the impact of a surface hardener and calcium hydroxide on gypsum's mechanical properties, using a 0.7 water/gypsum ratio. Specimens included reference samples, those with 15% and 30% calcium hydroxide (with and without hardener), and gypsum with hardener alone. Hardness, compressive strength, and SEM analysis were performed. The combination of calcium hydroxide and hardener improved hardness, while compressive strength remained unchanged. The hardener alone significantly increased hardness but not compressive strength.

Keywords: gypsum; mechanical properties; calcium hydroxide.

1. INTRODUÇÃO

O gesso é um aglomerante aéreo produzido por meio da calcinação da gipsita. Á medida que a temperatura ultrapassa 100°C há perda parcial ou total da água de cristalização e entre 140-160°C ocorre a perda de 1,5 mols de água, resultando na formação do hemi-hidrato [1]. A indústria da construção civil utiliza o gesso como material de acabamento, em revestimentos de paredes, forros, chapas, molduras, sancas e paredes de gesso acartonado, demais aplicações, ainda tem

o uso incipiente. Entretanto, há em curso uma mudança dos usos que a construção civil faz do gesso, tais como blocos, contrapiso autonivelante e uma infinidade de compósitos em que o gesso é a matriz.

Apesar de ser muito utilizado na construção civil, o gesso tem suas aplicações limitadas a produtos de menor valor agregado. Em parte, devido às limitações das suas propriedades mecânicas, como a baixa dureza. O aprimoramento das propriedades mecânicas é uma estratégia, para ampliar as utilizações, aplicações e aumentar o valor de mercado. Uma das formas mais comuns é a utilização de aditivos.

Atualmente o mercado da construção civil disponibiliza aditivos hidrofóbicos, retardadores e aceleradores de pega, plastificantes, incorporadores de ar e aditivos para aumentar a resistência mecânica, todos exclusivos para gesso. A finalidade e as propriedades que se deseja melhorar determinam se o aditivo será aplicado no estado fresco ou endurecido.

Aditivos endurecedores de superfície para o gesso são escassos ou inexistentes no mercado, motivo pelo qual, optou-se por utilizar aditivo aplicado em concretos e argamassa de revestimento. Os endurecedores de superfícies são utilizados em concretos e argamassas com o objetivo de aumentar a resistência mecânica superficial e como proteção contra intempéries, em ambos os casos, é usual nos pisos, pavimentos de concreto e argamassas de revestimentos. A utilização de endurecedores de superfície é uma opção vantajosa, pelo baixo custo e disponibilidade do produto no mercado, além da facilidade de aplicação em superfícies de qualquer idade.

O endurecedor de superfície penetra nos poros capilares do concreto e reagem quimicamente com seus componentes, aumentando a resistência superficial Com isso, eles protegem a estrutura contra a degradação e prolongam sua durabilidade, esses produtos também melhoram a resistência mecânica da superfície, tornando-a mais dura e resistente ao desgaste por abrasão [2] [3].

Em geral, os aditivos da indústria do cimento para melhorar a resistência a abrasão e a dureza superficial, partem do princípio de que a cal (hidróxido de cálcio - $Ca(OH_2)$ - presente no cimento reage com os compostos químicos do endurecedor (silicatos) e formam uma camada superficial compacta e densa, aumentando a dureza [5] [6]. Esta reação pozolânica resulta em Silicato de Cálcio Hidratado (C-S-H) nos concretos e argamassas [4]. Este trabalho busca recriar esta reação na matriz de gesso com aperfeiçoamento das propriedades mecânicas do gesso.

Diante do contexto de melhorar as propriedades mecânicas e ampliar as utilizações do gesso o presente artigo tem como objetivo estudar a influência da aplicação de um endurecedor de superfície comercial nas propriedades mecânicas do gesso de revestimento.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais (caracterização)

i. Gesso

Esta pesquisa utilizou gesso de revestimento (Sulfato de cálcio hemi-hidratado) obtido no polo gesseiro do Araripe, em Araripina – PE. O gesso foi caracterizado no estado anidro e no fresco, nas propriedades de granulometria, massa unitária, consistência normal, início e fim de pega. A caracterização do gesso pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização do gesso no estado anidro, fresco e endurecido

Propriedade	**Metodologia**	**Resultados**	**Requisito da NBR 13.207/2017** [4]
Granulometria	NBR 12127 [8]	98,45%	≥ 90% passante na peneira de 0,21 mm
Massa unitária	NBR 12127 [8]	651,32 g/cm³	≥ 600,00 g/cm³
Consistência normal	NBR 12128 [9]	0,45	-
Tempo de pega - Início	NBR 12128 [9]	15,00 min	≥ 10,00 min

Tempo de pega - Fim	NBR 12128 [9]	23,41 min	≥ 35,00 min
Dureza	NBR 12128 [9]	20,23	≥ 20 N/mm²
Resistência à compressão	NBR 12128 [9]	9,62	MPa

A NBR 13207 [7] especifica que o gesso para revestimento tenha, no mínimo, 90% passante na peneira de abertura 0,21 mm e a massa unitária de, no mínimo, 600 kg/m³. Assim o gesso atende a estes requisitos para o estado anidro. Quanto ao estado fresco, as pastas dosadas com a consistência normal atendem os requisitos da NBR 13207/2017 [7], quanto ao início de pega, com tempo maior ou igual a 10 minutos. No entanto, não atendem os requisitos para final de pega, em que deveriam ter o tempo maior ou igual a 35 minutos. A dureza atende os pré-requisitos da NBR 13207/2017 [7], atingindo média de 20,23 N/mm².

A análise semi-qualitativa por Fluorescência de Raio-X (FRX) avaliou a pureza do gesso, conforme Tabela 2. Observa-se o alto grau de pureza de aproximadamente 97% e a presença de pequenos traços de outros componentes, dos quais destaca-se o Fe, Si, P e Sr.

Tabela 2 – Composição semi-quantitativa (FRX) do gesso.

Elemento	% em massa
S (Enxofre)	39,1738
Ca (Cálcio)	58,6505
Cr (Cromo)	0,0235
Mn (Manganês)	0,0149
Fe (Ferro)	0,1326
Ni (Níquel)	0,0062
Si (Silício)	0,5640
P (Fósforo)	0,7387
Rb (Rubídio)	0,0011
Sr (Estrôncio)	0,6866
Th (Tório)	0,0003
U (Urânio)	0,0032
Pd (Paládio)	0,0046
Total	100

ii. Endurecedor de superfície

O FRX identificou os principais constituintes do endurecedor, o S, Mg e Cl com 34,55%, 28,36% e 25,60%, respectivamente. Os demais elementos encontrados estão presentes em pequenas frações, abaixo de 5%, conforme Tabela 3 apresenta os resultados do FRX.

Tabela 3 – Composição semi-quantitativa (FRX) para o endurecedor.

Elemento	%
S (Enxofre)	34,55
Cl (Cloro)	25,60
Cr (Cromo)	0,96
Fe (Ferro)	3,83

Sn (Estanho)	0,62
Mg (Magnésio)	28,36
Si (Silício)	2,45
Rb (Rubídio)	0,02
Mo (Molibdênio)	3,31
Pd (Paládio)	0,30
Total	100,00

iii. Cal

O difratograma da cal hidratada identificou essencialmente a presença de hidróxido de cálcio ou portlandita - $Ca(OH)_2$ - (ICSD 064951) e calcita ou carbonato de cálcio - $CaCO_3$, - (ICSD 100676) conforme Figura 1 abaixo. Os picos referentes a portlandita em 2θ = 18,04°, 34,11º, 47,13º, 50,84º, 54,38º, 62,64º, 64,25º, que correspondem aos planos (101), (102), (110), (111), (021) e (013), respectivamente. [10] [11] [12]. Picos do carbonato de cálcio (calcita) em 2θ = 29,40º, 35,96º, 39,40º, 43,15º, 47,50º, 48,50º, que correspondem aos planos (104), (110), (113), (202), (018) e (116), respectivamente, [7] [8] [9].

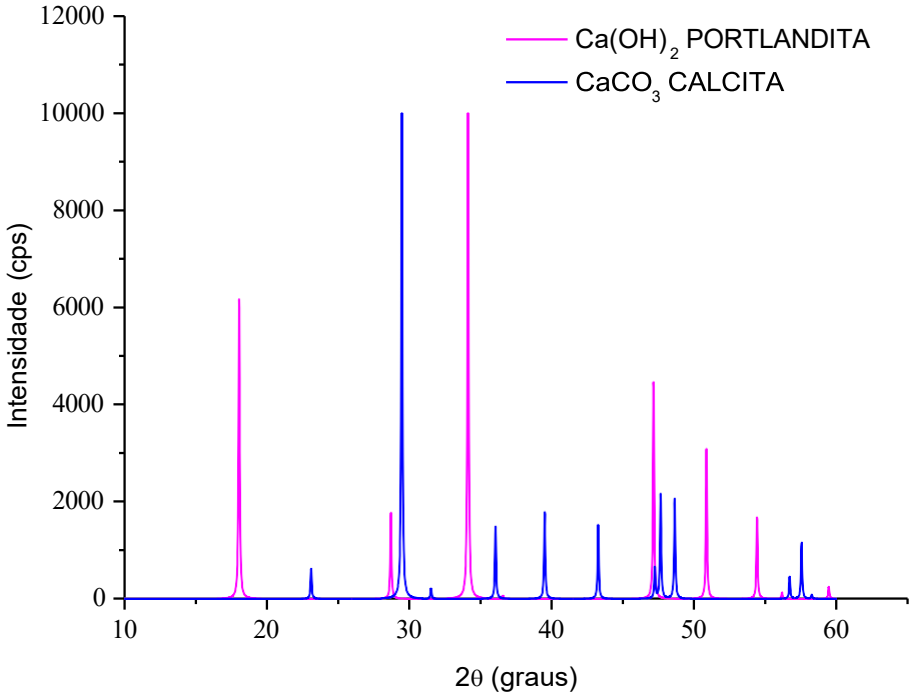


Figura 1 – Difratometria de raio X da cal

iv. Definição das dosagens

Foi utilizada a relação água/gesso de 0,7 para todas as amostras com o intuito de manter as características de aplicação do mercado. Foram produzidos corpos de prova de referência (GR) e corpos de prova com adição de cal e a aplicação do endurecedor, ao todo foram produzidos 6 corpos de prova por amostra. Em relação a cal adicionou-se a dosagem de 15% e 30%, considerando os limites abordados por Antunes [10] para trabalhabilidade da pasta. No que se refere a mistura, não houve alteração quantitativa do gesso para todas as amostras e a cal foi tratada como adição em relação a quantidade de gesso nas amostras G15, G15D, G30 e G30D, mantendo a proporcionalidade de gesso para todas as amostras. Na

Tabela 4 é possível visualizar a proporção de aglomerantes e total de aglomerante. Por fim o endurecedor foi aplicado diluído conforme recomendação do fabricante.

Tabela 4 – Identificação dos corpos de prova

Amostra	Gesso (%)	Cal (%)	Total Gesso (%) + Cal (%)	Aplicação do endurecedor
GR – Gesso de referência	100	-	100	-
G15	100	15	115	-
G15D	100	15	115	D
G30	100	30	130	-
G30D	100	30	130	D
GD	100		100	D

2.2 Métodos

i. Moldagem dos corpos de prova

Para a elaboração dos corpos de prova foram utilizados gesso, cal e água. Inicialmente, os materiais foram pesados separadamente. O gesso e a cal foram pesados em balança com precisão de 0,01 g. Em todas as misturas foi utilizada água destilada. A mistura seca do gesso e cal foi realizada com auxílio de espátula em recipiente de alumínio, em movimento circulares por 3 minutos, até completa homogeneização, tomando o devido cuidado para não perder material. Da mistura seca foram confeccionados os corpos de prova obedecendo o preconizado pela norma NBR 12129 [13], em que a mistura seca é polvilhada sobre a água por 1 minuto, depois em repouso por 2 minutos e por fim, mistura a água e a mistura seca em movimentos circulares por 1 minuto. Todo o processo de polvilhar, repousar e misturar foi realizado em argamassadeira. Em seguida a mistura foi colocada nos moldes. Após a moldagem e endurecimento, os corpos de prova foram colocados na estufa a 40 ºC ± 2ºC durante 7 dias.

ii. Aplicação do endurecedor

No sétimo dia os corpos de prova foram retirados da estufa e colocados em temperatura ambiente aproximadamente por 1 hora, para resfriarem. Depois foram mergulhados no endurecedor por 1 minuto ± 20 segundos para total absorção do endurecedor, aplicado diluído na proporção de 1:1 (endurecedor:água), conforme ilustrado na Figura 2 abaixo, seguindo a recomendação do fabricante. Após a aplicação do produto, os corpos de prova foram armazenados em bandejas a temperatura ambiente até o décimo segundo dia. Após a secagem em temperatura ambiente, os corpos de prova retornaram para a estufa por dois dias e no décimo quarto dia, após uma hora em temperatura ambiente, foram submetidos aos ensaios mecânicos de dureza e compressão, conforme preconizado NBR 12129 [13] – Determinação das propriedades mecânicas.



Figura 2 – Aplicação do endurecedor.

iii. Propriedades analisadas

As propriedades mecânicas analisadas antes e após a aplicação do endurecedor são indicadas na Tabela 5. Os ensaio de dureza e resistência à compressão utilizaram os mesmos corpos de prova, realizando inicialmente o ensaio de dureza e por último da resistência à compressão, aplicando-se a força na face não utilizada no ensaio de dureza, excetuando a face superior da moldagem. As Figuras 3 e 4 ilustram o procedimento de dureza e resistência à compressão. A análise microscópica foi realizada no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) modelo Hitachi TM-1000.

Tabela 5 – Ensaio realizado antes e após a aplicação do endurecedor

Propriedade	Método de ensaio
Dureza	NBR 12129[13]
Resistência à compressão	NBR 12129[13]



Figura 3 – Prensa da dureza



Figura 4 – Prensa para resistência à compressão

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resistência à compressão

Observa-se na Figura 5 que a resistência à compressão apresenta resultados semelhantes entre as amostras, independentemente da adição da cal e da aplicação do endurecedor.

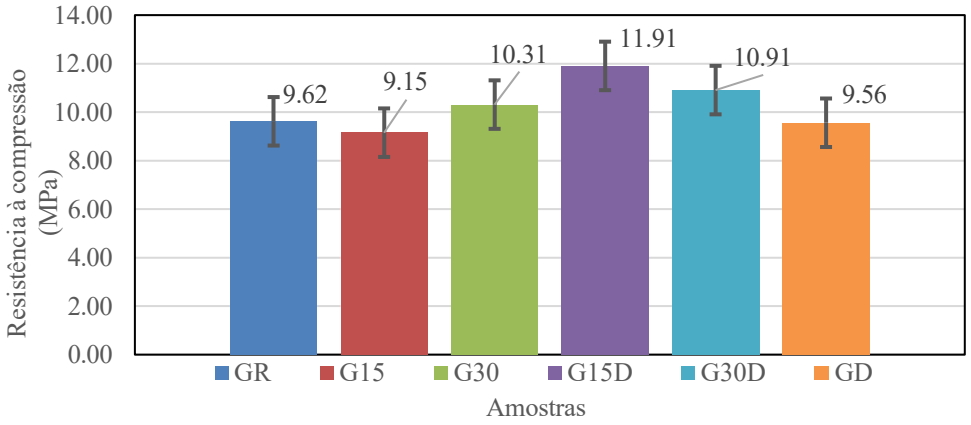


Figura 5 – Gráfico da resistência à compressão.

3.2 Dureza

Todas as amostras com cal obtiveram resultados superiores ao recomendado pela NBR 13.207 [7] (20,00 N/mm²). Analisando a Figura 6, nota-se o aumento da dureza a medida que aumenta a quantidade de cal, mesmo comportamento que ocorre nas amostras G15D e G30D, com a aplicação do endurecedor, evidenciando que o endurecedor reagiu com a cal. Além do mais, a amostra gesso e endurecedor (GD), apresentou o menor resultado, comprovando que a mistura gesso e o endurecedor não melhorou a dureza.

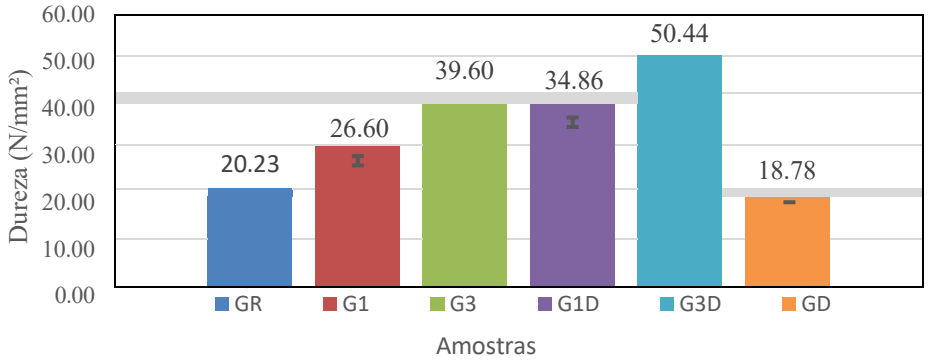
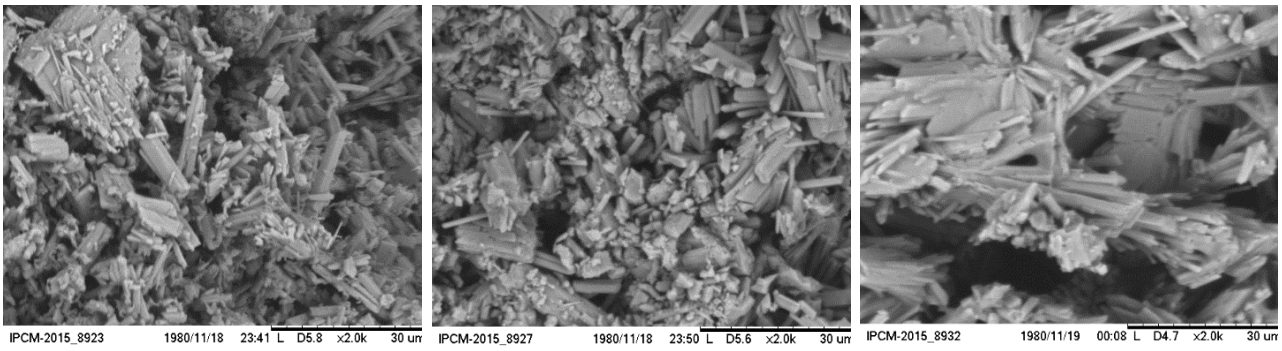


Figura 6 – Gráfico da dureza.

3.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Na Figura 7 observa-se a microestutrura da amostra de gesso de referência (GR), gesso com 30% de cal (G3) e gesso com 30% de cal aplicado o endurecedor (G3D). Na seção a) Amostra GR visualiza-se a microestrutura típica do gesso, com cristais lamelares, com superfície lisa e distribuídos de forma irregular. A seção b) Amostra G3 mostra que a cal mantém o aspecto típico dos cristais de gesso, no entanto, sutilmente os cristais se encaixam, consequentemente provocam pequena alteração nos espaços vazios. A seção c) Amostra G3D expõe a ação do endurecedor, os cristais de gesso se entrelaçam, formando um conjunto de cristais, diminuindo os espaços vazios entre os cristais.



a) Amostra GR b) Amostra G3 c) Amostra G3D

Figura 7 – Micrografia das amostras GR, G3 e G3D

Analisando os resultados, referente a dureza, percebe-se alterações consideráveis, as amostras G3D e G1D atingiram valores superiores ao normatizado em 148,10% e 72,31%, respectivamente. Estes resultados, evidenciam que o hidróxido de cálcio - $Ca(OH_2)$ da cal reagiu com os compostos químicos do endurecedor, formando uma camada superficial protetora, tal fato, pode ser ratificado na amostra GD, em que o endurecedor aplicado ao gesso obteve resultados similares

ao GR (Grupo de Referência). Apenas o hidróxido de cálcio da cal adicionado ao gesso provocou alterações na dureza de 31,48% e 95,74% para as amostras G1 e G3, respectivamente, conforme amplamente relatado na literatura [10].
Os resultados da micrografia revelam que a cal e o endurecedor formam um conjunto de cristais entrelaçados diminuindo os espaços vazios, como pode ser visualizado na Figura 4c amostra G3D, por outro lado a Figura 4b amostra G3, mostra um preenchimento dos espaços entre os cristais de forma desordenada, sem formar um bloco de cristais. Ambos os resultados corroboram com o resultado da dureza.
Os resultados da resistência à compressão são equivalentes para todas as amostras, provavelmente o endurecedor não penetrou profundamente no corpo de prova, atuando apenas superficialmente nas amostras.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o endurecedor de superfície associado ao hidróxido de cálcio da cal - $Ca(OH_2)$ - melhorou a dureza superficial do gesso, de tal modo, que aumentou a dureza superficial criando um camada mecânica protetora e protegendo a superfície da degradação, prolongando sua durabilidade e vida útil.
O incremento de dureza à superfície de gesso diminui as restrições de utilização do gesso, podendo ser utilizado em usos nobres e de maior valor agregado, tais como, guarda-roupas, closets, armários e etc. Desse modo, a matéria prima gesso amplia seu mercado consumidor.
A presente pesquisa tem a limitação de ter aplicado apenas um tipo de endurecedor, a base de silicatos, por ter baixo custo e fácil aplicação, no entanto, os autores reforçam a necessidade de avaliar outros endurecedores de superfície a base de outros compostos aplicados no gesso.
De modo geral, o endurecedor e o hidróxido de cálcio provocaram alterações na dureza superficial e pouco ou nenhuma na resistência à compressão.

REFERÊNCIAS

[1] JOHN, Vanderley Moacyr; CINCOTTO, Maria Alba. Gesso de Construção Civil. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 22.2, p. 727-760.

[2] BERTOLINI, B. et tal. **Polder, corrosion of steel in concrete**: Prevention, diagnosis, repair, John Wiley & Sons, 2013.

[3] THOMPSON, J. L. et al. **Characterization of silicate sealers on concrete. Cement and concrete research**, v. 27, n. 10, p. 1561–1567, 1997.

[4] MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª ed. São Paulo: Pini, 1994.

[5] JIANG, L. *et al.* **The investigation of factors affecting the water impermeability of inorganic sodium silicate-based concrete sealers. Construction and building materials,** v. 93, p. 729–736, 2015.

[6] PAN, X. *et al.* **Effect of inorganic surface treatment on air permeability of cement-based materials. Journal of materials in civil engineering**, v. 28, n. 3, p. 04015145, 2016.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13207: **Gesso para construção civil - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12127: **Gesso para construção: Determinação das propriedades físicas do pó**. Rio de Janeiro, 2019

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12128: **Gesso para construção: Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso**. Rio de Janeiro, 2019.

[10] ANTUNES, R. P. do N. **Estudo da Influência da cal hidratada nas pastas de gesso**. 1999. Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamenteo de Engenharia de Construção Civil., São Paulo, 1999.

[11] MATTANA, A. J. **Estudo de cales hidratadas de mercado: Caracterização química, física e comportamento reológico da pasta.** 2013. Dissertação - Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Curitiba, 2013.

[12] QUARCIONE, Valdecir Angelo. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento portland**. 2008. Tese - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2008

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12129: **Gesso para construção: Determinação das propriedades mecânicas**. Rio de Janeiro, 2019.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-8

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM A ADIÇÃO DE FIBRA DE PAPEL KRAFT OBTIDA DA RECICLAGEM DE SACOS DE CIMENTO

RUBIM, Sthefany Carolina Amaral[1]; CORREIA, Conceição de Maria Pinheiro[2]; BARBOSA, Mariana Lorena Soares[3]; CORRÊA, Gustavo Espíndola[4]; DA COSTA, Isabella Rabut de Albuquerque[5]

[1] Instituto Federal do Maranhão, Maranhão, Brasil, acad.rubim@gmail.com, 0009-0005-9461-9529
[2] Instituto Federal do Maranhão, Maranhão, Brasil, conceicao.correia@ifma.edu.br
[3] Instituto Federal do Maranhão, Maranhão, Brasil, m.lorena.soares@hotmail.com
[4] Instituto Federal do Maranhão, Maranhão, Brasil, gustavoespc@gmail.com
[5] Instituto Federal do Maranhão, Maranhão, Brasil, isabellarcosta@hotmail.com

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo desenvolver e avaliar tijolos de solo-cimento com adição de fibra de papel kraft, proveniente da reciclagem de embalagens descartadas de cimento. Para análise do desempenho do material, empregaram-se três traços diferentes: 1:10, 1:14 e 1:18. A quantidade de polpa de celulose adicionada correspondeu a 6% do peso referencial do composto, caracterizando-se como uma adição de fibra e não como substituição de agregado. A avaliação dos corpos de prova confeccionados foi realizada por meio de ensaios de compactação simples e compressão axial. No ensaio de compactação do composto solo-cimento-kraft, observou-se que a densidade máxima seca aumentou ligeiramente conforme o traço varia de 1:10 para 1:18, indicando melhor organização das partículas durante a compactação. Além disso, a variação dos valores de umidade ótima sugeriu que o material apresenta sensibilidade à proporção de seus componentes. No ensaio de resistência à compressão, destaca-se o resultado do traço 1:14, cujo valor atingiu 1,1 MPa. Apesar disso, o resultado se mostra inferior ao exigido pela norma ABNT NBR 8491 [1]. Ajustes nos métodos de inserção e análise da fibra, assim como na fabricação e cura dos corpos de prova, são necessários para que melhorias nos valores de resistência sejam evidenciadas.

Palavras-chave: fibra de papel kraft; tijolo de solo-cimento; reciclagem de sacos de cimento.

ABSTRACT

The objective of this research was to develop and evaluate soil-cement bricks with the addition of kraft paper fiber from the recycling of discarded cement packaging. Three different mixes were used to analyze the material's performance: 1:10, 1:14 and 1:18. The amount of cellulose pulp added corresponded to 6% of the reference weight of the composite, characterizing it as a fibre addition and not as an aggregate replacement. The test specimens were evaluated using simple compaction and axial compression tests. In the compaction test of the soil-cement-kraft composite, it was observed that the maximum dry density increased slightly as the mix varied from 1:10 to 1:18, indicating better organization of the particles during compaction. In addition, the variation in optimum moisture values suggested that the material is sensitive to the proportion of its components. In the compressive strength test, the result of the 1:14 mix stands out, with a value of 1.1MPa. Despite this, the result is lower than that required by the ABNT NBR 8491 standard [1]. Adjustments to the fiber insertion and analysis methods, as well as to the manufacturing and curing of the specimens, are necessary if improvements in the strength values are to be seen.

Keywords: kraft paper fiber; soil-cement bricks; recycling cement bags.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um exemplo de setor cuja cadeia produtiva exerce diversos impactos negativos sobre o meio ambiente. Os materiais descartados em suas atividades, denominados de resíduos de construção e demolição (RCD), geram um grande volume de resíduos. Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos do Brasil de 2022 [2], foram coletadas 81,8 milhões de toneladas de resíduos urbanos, estima-se que destas cerca de 45 milhões de toneladas são de RCD e que menos da metade foi reutilizada.

Entre os materiais descartados encontra-se o papel kraft multifoliado, usado em sacos de cimento, que raramente é reaproveitado. De acordo com o banco de dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção [3], no ano de 2023 foram consumidas 62.209.850 toneladas de cimento no Brasil. A região Sudeste liderou o ranking de consumo, com 26.399.499 toneladas, que representa 42,44% do consumo total; seguida pelo Nordeste, 22,02%; Sul, 18,64%; Centro-Oeste, 10,74% e Norte, com 6,16%. O Maranhão foi o quinto maior consumidor de cimento no Nordeste com 966.866 toneladas, representando 7,06% do consumo regional. Considerando que o cimento é usualmente comercializado em sacos de 50 quilos, estima-se que aproximadamente 1.244.000 embalagens de papel kraft foram utilizadas no Brasil em 2023 com essa finalidade.

De acordo com a Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel [4], a produção brasileira de papel kraft é de cerca de 360.000 toneladas por ano, o que corresponde a 21% da produção total de papel no país. Esse tipo de papel é produzido a partir da mistura de pasta química sulfato não-branqueada, celulose extraída da madeira e fibras longas com gramatura de 80 g a 90 g que confere maior resistência a rasgo e a tração.

Visto as qualidades que esse material possui e a disponibilidade dele no mercado, esse trabalho visa o reaproveitamento das fibras de polpa de celulose, provenientes da reciclagem dos sacos de cimento, como estabilizante do composto solo-cimento, a fim de ser feito o estudo do desenvolvimento e desempenho técnico do novo solo-cimento-kraft, para uso em tijolos ecológicos. O processo de polpação do kraft é simples, utiliza-se apenas água que pode ser reaproveitada ao final, não há produção de novos insumos e demanda pouca energia, o que pode potencializar a exploração desse material.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Existem diversas pesquisas voltadas para o aprimoramento do composto solo-cimento e reutilização de resíduos, posto que as discussões sobre crescimento sustentável têm ganhado espaço em diversas áreas de conhecimento, inclusive na construção civil.

Casagrande [5] estudou o comportamento de solos empregados em *liners* de cobertura de aterros sanitários e aterro sobre solos moles reforçados com fibras de polipropileno. A análise dos resultados concluiu que a adição de fibras influencia no comportamento compressivo do solo arenoso, aumentando os seus parâmetros de resistência ao cisalhamento e a capacidade de suporte e alterando o mecanismo de ruptura.

Da Silva [6], em sua pesquisa, adicionou serragem de madeira extraída de peças de Eucalyptus na composição solo-cimento para fabricação de tijolos. Para avaliação do composto, foram efetuados ensaios de compressão simples e diametral em corpos-de-prova, tijolos e primas, além da aplicação de ensaios não destrutivos de propagação de onda ultrassônica e densidade. O teor de resíduo de madeira inserido foi de 0%, 0,5%, 1%, 2% e 3%. O autor verificou que a adição de 0,5% de serragem de madeira no solo mostrou ser a melhor dosagem para aumentar a resistência dos tijolos e aumentar a ductibilidade do composto, constatando assim que o enriquecimento com o resíduo de madeira influencia na resistência das peças em comparação com os tijolos sem essa adição. Apesar de discutir a questão da durabilidade da serragem empregada nos tijolos de solo-cimento, o autor não apresentou resultados experimentais diretos sobre a durabilidade ao longo do tempo.

Sales [7] introduziu fibras de papel kraft oriundas da reciclagem de embalagens de cimento na composição de painéis aglomerados como alternativa às fibras tradicionalmente utilizadas na fabricação de MDF e MDP. Além da fibra, o autor utilizou resina ureia-formaldeído, aditivo químico que fornece boa resistência a microrganismos e possui excelentes propriedades térmicas. O teor de resina de ureia-formaldeído adicionado variou entre 15% e 30% e o papel foi preparado em partículas e fibras, totalizando quatro variações de tratamento. O composto foi avaliado a partir de ensaios de resistência à flexão estática e resistência à tração superficial com medição de densidade e teor de umidade. As amostras

em fibra com teor de 15% de resina obtiveram os melhores resultados. Os resultados encontrados afirmam que a incorporação das fibras do kraft mostra-se promissora para utilização em painéis para construção civil, uma vez que estas demonstraram comportamento semelhante ao de fibras já utilizadas nesses painéis.

Buson [8] adicionou fibra de papel kraft, proveniente da reciclagem de sacos de cimento, ao solo-cimento para produzir blocos de terra compactada. Este novo compósito foi batizado de Kraftterra. A hipótese levantada pelo autor era de que as fibras dispersas de papel kraft poderiam ser usadas como estabilizantes para melhorar características físicas e mecânicas dos blocos. No decorrer da tese, o Krafterra foi utilizado também como elemento de vedação vertical – argamassa. Tanto os blocos quanto a argamassa passaram por ensaio de resistência à compressão simples, a argamassa ainda passou por ensaios complementares de resistência à compressão diagonal e resistência ao fogo. As paredes feitas com o Krafterra apresentaram aumento na capacidade de resistir aos esforços de compressão simples e a esforços de tração transversal decorrentes das tensões de compressão, também apresentaram desempenho suficiente para que sejam utilizadas como paredes corta-fogo. O comportamento dos blocos de terra compactada comprovou que as fibras de kraft podem ser utilizadas como estabilizante para melhorar suas características e propriedades físicas e mecânicas. Ainda em sua tese, foi comprovado que a utilização das fibras de papel celulose reduz e até elimina a adição de cimento no composto, o que dá a este novo composto a possibilidade de comercialização.

Pires [9] ressalta que a fabricação de tijolos de solo-cimento, conhecido como tijolo ecológico, dispensa a queima em fornos, tornando a sua produção menos poluente para o meio ambiente, seja com o desmatamento ou com resíduos de queima lançados ao ar. Em tijolos comuns, o processo de queima em fornos emite grandes volumes de CO_2. A autora destaca ainda que as dimensões e texturas uniformes dos tijolos de solo-cimento diminuem as correções executadas no reboco devido aos desaprumos encontrados no assentamento de blocos cerâmicos.

3. METODOLOGIA

3.1 Preparação da fibra

Parte dos sacos de cimento foram coletados em canteiros de obras e outras unidades recolhidas de descartes em local inapropriado. As embalagens de cimento foram destinadas para a produção da polpa de celulose de papel kraft. O fluxograma das etapas para a produção da polpa de celulose é aprestado na Figura 1.

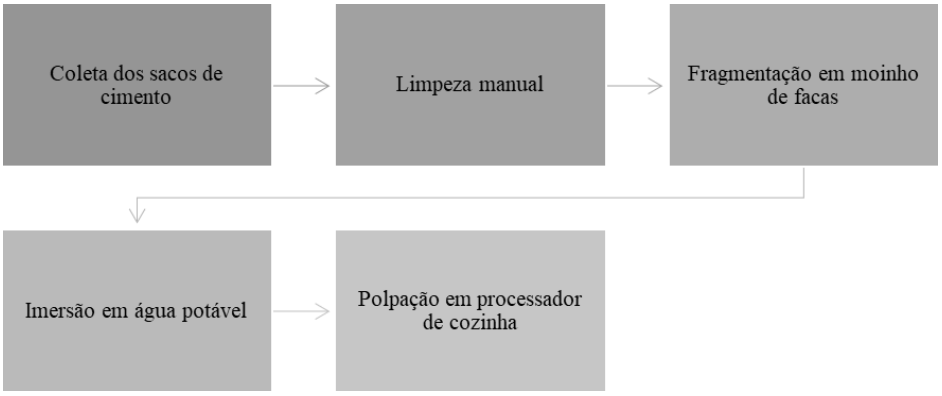


Figura 1 – Fluxograma para produção da polpa de celulose de papel kraft.

A primeira etapa do processo foi a limpeza dos sacos de cimento, pois normalmente são descartados com resto de cimento no fundo. Segundo Buson [8], este procedimento foi necessário porque o cimento hidratado forma pedriscos e até placas rígidas no fundo dos sacos. Esse material pode causar danos ao equipamento de reciclagem utilizado.

Após a limpeza, iniciou-se o processo de polpação que consistiu na dispersão das fibras do papel kraft pela da imersão das embalagens em água. Para a polpação os sacos foram fragmentados em pedaços pequenos em um moinho de facas e em seguida imersos em água por 24 horas para amolecimento das fibras. Por fim, as fibras foram trituradas em um pequeno processador de cozinha até atingirem a consistência de polpa de celulose. A Figura 2 apresenta o moinho de facas utilizado, os sacos de cimento após trituração e a polpa de celulose.



Figura 2 – Moinho de facas (esq.); papel kraft após fragmentação (centro) e polpa de celulose do papel kraft (dir.).

3.2 Definição de traço e classificação do composto solo-cimento-kraft

Com base na revisão literária definiu-se que os traços utilizados seriam 1:10, 1:16 e 1:18. Na composição foi empregado solo argiloso e cimento Portland CP II E-32. A quantidade de polpa de celulose adicionada ao composto correspondeu a 6% do peso de referência. Esta proporção foi definida com base no trabalho desenvolvido por Buson [8].

Para caracterização do composto foi empregada a norma ABNT NBR 7182 [10], esta norma estabelece o método de determinação da umidade ótima e a massa específica de solos compactados, também conhecida como ensaio de Proctor. O ensaio foi realizado para todos os traços adotados.

3.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

A norma ABNT NBR 12024 [11] recomenda a utilização de cilindros pequenos do tipo Proctor (diâmetro ±100mm, altura ±127mm), porém foi necessário adaptar os procedimentos normativos devido à indisponibilidade desse molde em laboratório. Assim, os corpos de prova foram moldados em cilindros metálicos grandes (diâmetro ±100mm, altura ±350mm), similares aos utilizados para a moldagem de corpos de prova de concreto.

O composto foi compactado no interior do molde cilíndrico em três camadas. Embora a recomendação da ABNT NBR 12024 [11] seja o emprego de duas camadas, foi necessário adotar esse mecanismo devido à altura do molde utilizado. Manteve-se a mesma quantidade de 12 golpes de soquete em cada camada para compactação adequada.

A cura do corpo de prova deve ser em câmara úmida à temperatura de (23 ± 2)°C ou em recipiente de cura. Para simular as condições exigidas pela norma, utilizou-se um tonel revestido com serragem de madeira, onde os corpos de prova foram depositados e hidratados diariamente durante os 7 dias de cura. O composto solo-cimento-kraft, os cilindros de modelagem e os corpos de prova moldados são mostrados na Figura 3.



Figura 3 – Composto solo-cimento-Kraft (esq.), molde cilíndrico (centro) e corpo de prova após cura (dir.).

3.4 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão seguiu as especificações da norma ABNT NBR 12025 [12]. Esta norma estabelece o método para o ensaio de resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos de solo-cimento. Foram ensaiados 3 corpos de prova de cada tração adotado.

Os corpos de prova foram posicionados sobre o prato inferior da prensa, de modo que o eixo vertical do corpo de prova e o eixo vertical da máquina estivessem alinhados. A Figura 3 apresenta corpo de prova em execução de ensaio de resistência à compressão.



Figura 4 – Execução do ensaio de resistência à compressão.

4. RESULTADOS

4.1 Classificação do composto solo-cimento-kraft

O resultado obtido no ensaio de compactação de solo de determinação da umidade ótima e da massa específica, realizado conforme ABNT NBR 7182 [10], estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado ensaio de compactação.

Característica / Traço	Traço 1:10	Traço 1:14	Traço 1:18
Massa Específica Aparente Seca Máxima (g/cm³)	1,58	1,59	1,59
Umidade Ótima (%)	21,40	20,60	22,60

4.2 Resistência à compressão

O ensaio de compressão axial foi realizado de acordo com a ABNT NBR 12025 [12]. Foram submetidos ao ensaio três corpos de prova dos traços 1:18, 1:14 e 1:10. Durante o ensaio, observaram-se os seguintes valores de tensão de ruptura, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultado ensaio de resistência a compressão.

Tensão Ruptura (MPa)			
Amostra/Traço	Traço 1:10	Traço 1:14	Traço 1:18
Amostra 1	0,4	1,1	0,9
Amostra 2	0,7	0,9	0,7
Amostra 3	0,5	0,9	0,6

A Tabela 3 apresenta os resultados estatísticos dos ensaios de resistência à compressão para cada traço.

Tabela 3 – Resultados estatísticos do ensaio de resistência a compressão.

Estatística	Traço 1:10	Traço 1:14	Traço 1:18
Média (MPa)	0,53	0,97	0,73
Desvio padrão (MPa)	0,15	0,12	0,15
Coeficiente de variação (%)	28,64%	11,95%	20,83%

4.3 Discussões

No ensaio de caracterização do composto solo-cimento-kraf, observou-se que a massa máxima seca aumentou ligeiramente conforme o traço varia de 1:10 para 1:18. Esse comportamento sugeriu que o aumento da proporção de material mais fino ou a redução do aditivo no solo favoreceu uma melhor organização das partículas durante a compactação, resultando em um valor ligeiramente maior.

O aumento gradual da massa específica máxima seca indica que o composto apresenta boa compactabilidade, com variações de densidade pouco significativas entre os traços.

Por outro lado, a umidade ótima não apresentou uma variação linear:

- No traço 1:10, a umidade foi relativamente alta (21,4%);
- No traço 1:14, ocorreu uma redução (20,6%), indicando que a mistura requer menos água para atingir a densidade máxima;
- No traço 1:18, a umidade ótima aumentou novamente (22,6%), possivelmente devido à menor proporção de material estabilizante ou maior proporção de solo;
- A variação nos valores de umidade ótima indica que o material apresentou sensibilidade à proporção dos componentes;
- A maior umidade no traço 1:18 pode estar relacionada à presença de uma maior quantidade de solo argiloso, que demanda mais água para compactação eficiente;
- O menor teor no traço 1:14 pode refletir uma composição mais equilibrada, com partículas que promovem maior eficiência na compactação.

Quanto aos resultados obtidos no ensaio de resistência a compressão, de acordo com ABNT NBR 8491 [1], os tijolos de solo-cimento devem apresentar uma média de resistência à compressão mínima de 2,0 MPa e nenhum valor individual inferior a 1,7 MPa, com idade mínima de sete dias. No entanto, os corpos de prova analisados apresentaram resistência à compressão inferior aos valores referenciais recomendado pela norma.

Um possível motivo para essa baixa resistência está relacionado ao método de cura adotado. Embora a norma recomende manter os corpos de prova em câmara úmida, observou-se que, ao adotar esse procedimento para os corpos de prova produzidos com uma mistura de solo argiloso (alta plasticidade) e baixo teor de cimento, os corpos de prova apresentaram elevada fragilidade e baixíssima resistência, inclusive durante o transporte. Esse comportamento não reflete o desempenho mínimo esperado para tijolos de solo-cimento.

Recomenda-se que, durante o período de cura, os corpos de prova sejam mantidos em local fechado, com ventilação controlada, sem exposição direta ao sol e com umidade relativa do ar mais elevada do que o dito na norma. Além disso, pode-se experimentar outras proporções de solo-cimento e polpa de celulose.

5. CONCLUSÃO

Consideramos que, ao adicionar a fibras vegetais de papel kraft em forma de polpa ao solo-cimento, obteríamos valores de resistência à compressão superiores ao referencial. Contudo, o desempenho dos corpos de prova ficou abaixo do exigido pela norma brasileira. Diversos fatores podem ter contribuído para esses resultados. Entre eles, destaca-se o teor de absorção de água das fibras, que acaba por retirar água da mistura, alterando, de certa forma, as proporções originais. Além disso, o método de cura empregado, que expos os corpos de prova a níveis excessivos de umidade, pode ter impedindo que as peças atingissem uma cura adequada.

Dado que o Maranhão apresenta significativo consumo de cimento, e que os sacos utilizados foram coletados localmente para reaproveitamento, entende-se que o uso das fibras de papel kraft se insere em uma lógica de economia circular regional. Isso porque resíduos que seriam descartados passam a ser reinseridos como matéria-prima na cadeia produtiva da construção civil local.

Apesar disso, o uso de fibras de papel kraft como matéria-prima apresenta-se como uma alternativa promissora, com potencial para ser incorporada em diferentes composições. Espera-se que ajustes nos métodos de inserção das fibras, bem como na análise e fabricação dos corpos de prova, possam resultar em melhorias significativas nos valores obtidos.

AGRADECIMENTOS

Ao técnico laboratorial Josivaldo Raposo Correa, pela dedicação, disponibilidade de tempo, paciência e pelos valiosos ensinamentos transmitidos.

Ao Instituto Federal do Maranhão (IFMA), pelo apoio financeiro concedido.

Ao professor Antônio do Espirito Santo Paixão, pelo suporte na obtenção dos matérias necessários.

À professora Conceição de Maria Pinheiro Correia, pelo constante incentivo à prática de pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: **Tijolo maciço de solo-cimento – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2013.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama de resíduos sólidos do Brasil 2023**. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 07 de setembro de 2024.

[3] CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Banco de dados: Consumo anual de cimento – por Uf, Grande regiões e total Brasil.** Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/cimento>. Acesso em: 07 de setembro 2024.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Fornecedores e fabricantes papel e celulose 2015/2016.** Disponível em: <http://www.guiacomprascelulosepapel.org.br/publicador/edicoes_impressas/8.pdf>. Acesso em: 07 de setembro 2024.

[5] CASAGRANDE, Michéle Dal Toé. **Comportamento de solos reforçados com fibras submetidos a grandes deformações. 2005. Tese de Doutorado** – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

[6] DA SILVA, Sandra Regina. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira**. 2005. Tese de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

[7] SALES, D. C. **Desenvolvimento de painéis aglomerados de papel Kraft proveniente de embalagens descartadas de cimento.** 2017. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação e Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 2017.

[8] BUSON, Márcio Albuquerque. **KRAFTTERRA: Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical**. 2009. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília.

[9] PIRES, Ilma Bernadete Aquino. **A utilização do tijolo ecológico como solução para construção de habitações populares.** 2004.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182**: Solo - Ensaio de compactação.** Rio de Janeiro. 2016.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12024: **Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos – Procedimento.** Rio de Janeiro. 2012.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12025: **Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio.** Rio de Janeiro. 2012.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-7

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

LODO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: USO COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR

PASQUEL, Luis Marcelo Borges[1]; CAPUZZO, Valdirene Maria Silva[2]

[1]Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, borges.luis@aluno.unb.br, ORCID Nº 0009-0004-9103-9329
[2]Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, valdirenemaria@unb.br, ORCID Nº 0000-0001-6923-7565

RESUMO

Este artigo de revisão analisa o uso do lodo de tratamento de esgoto (LTE) como material cimentício suplementar (MCS). De disposição complexa no solo devido à presença de contaminantes, o LTE requer tratamento por calcinação, para utilização em argamassas e concretos. A metodologia consistiu em levantamento bibliográfico sobre as propriedades físico-químicas do SSA e seu desempenho em argamassas e concretos. Apesar da baixa reatividade pozolânica e presença de sulfatos, fósforo e metais pesados, o lodo calcinado de esgoto (sewage sludge ash – SSA), em substituições até 20% do clinquer, permite atingir resistências similares à referência após 28 dias, com melhor desempenho a longo prazo (91–365 dias), devido à ação pozolânica. Ensaios como Chapelle modificado, termogravimetria, difração de RX e FTIR indicam reatividade limitada, mas efetiva. Com superfície rugosa, possui grande área de contato, diminui a trabalhabilidade e exige plastificantes. Seu baixo teor de álcalis e refino tardio dos poros reduz a migração de íons. Conclui-se que o SSA é uma pozolana de baixa reatividade, com potencial de uso como MCS, promovendo a redução do clínquer e a valorização de resíduos rumo à neutralidade de carbono.

Palavras-chave: Lodo de Esgoto; Material Cimentício Suplementar; Cimento Portland

ABSTRACT

This review article analyzes the use of sewage treatment sludge (STS) as a supplementary cementitious material (SCM). Due to the presence of contaminants, STS has a complex environmental disposal, requiring calcination treatment for its application in mortars and concretes. The methodology consisted of a literature review on the physicochemical properties of sewage sludge ash (SSA) and its performance in cementitious matrices. Despite its low pozzolanic reactivity and the presence of sulfates, phosphorus, and heavy metals, SSA—when used to replace up to 20% of clinker—can achieve compressive strengths similar to reference mixes after 28 days, with improved performance at later ages (91–365 days), due to its delayed pozzolanic activity. Tests such as modified Chapelle, thermogravimetry, X-ray diffraction, and FTIR confirm limited yet effective reactivity. Its rough surface increases contact area, reduces workability, and demands plasticizers, while its low alkali content and late pore refinement contribute to reduced ion migration. It is concluded that SSA is a low reactivity pozzolan with potential for use as SCM, supporting clinker reduction and the sustainable reuse of waste toward carbon neutrality.

Keywords: Sewage Sludge; Supplementary Cementitious Material; Portland Cement

1. INTRODUÇÃO

O tratamento de água e esgoto é elemento imprescindível para a existência do ambiente urbano como é hoje. Organizações mundiais como a OMS e UNICEF reconhecem que a cadeia de vida humana nas cidades depende desta indústria [1]. Seus benefícios, no entanto, trazem o ônus do impacto na natureza. O Lodo de Tratamento de Esgoto – (LTE), é um resíduo que se apresenta sólido, e tem em sua composição os compostos retidos no tratamento do esgoto, como gorduras, carboidratos, proteínas e microrganismos patógenos. Além destes, compostos inorgânicos, como Metais Pesados (MP), e contaminantes iônicos como ortofosfato e sulfatos, estes últimos adicionados no processo [2].

O tratamento para descarte de LTE nas plantas de tratamento é a digestão anaeróbica e secagem, processos utilizados para eliminação dos microrganismos e redução de volume. O teor de água livre presente, de 15%, forma um material de aspecto terroso, e a digestão de microrganismos reduz o teor de material carbonáceo, formando metano. [2, 3].

A disposição deste resíduo é um dos principais problemas do ciclo urbano da água,[4,5] uma vez que seu descarte inadequado, graças a sua forte ação fertilizante, promove o desequilíbrio ambiental, favorecendo plantas de maior velocidade de crescimento, em detrimento de outras. O risco de lixiviação, transportando contaminantes aos lençóis freáticos, dificulta sua disposição em aterros sanitários, além de consumir o volume destes aterros, que poderia ser usado com outros resíduos sólidos [4,5].

O descarte do LTE precisa de gerenciamento especializado para que ocorra de maneira segura, desde o planejamento e logística até o monitoramento do solo. Na Europa, 50% do LTE é usado como adubo, e 40% é destinado em aterro [62]. O uso do LTE como material cimentício suplementar é menor que 5% [62] No Brasil, 90% do LTE é disposto em aterros [63], e seu uso na construção civil em geral é menor que 1% [64].

No Brasil, a produção de LTE é de 21,8 mil toneladas por ano, cálculo feito pela quantidade média de LTE gerado por m³ de esgoto tratado [6, 7], multiplicado pelo volume anual tratado no país [7]. A produção mundial chega, assim, a 2,26 milhões de toneladas por ano [6], sendo que a China é responsável por aproximadamente 65% desse total [8].

Estudar meios de inserir o LTE como insumo na construção civil é o objetivo de estudos que visam aproveitar seu potencial pozolânico, pelo processo de calcinação, assim retirando-o da disposição no solo. O material possui silicatos e aluminatos, compostos que reagem com água e hidróxido de cálcio (CH), gerando silicato de cálcio hidratado (C-S-H), principal responsável pelo desenvolvimento da resistência mecânica em materiais cimentícios [9, 11, 14] .

O impacto da indústria da construção civil no meio ambiente, e a do cimento Portland (CP) em específico, faz com que a pesquisa por Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) veja o lodo de tratamento de esgoto com atenção, não só por suas vantagens, mas especialmente pelas precauções para seu uso, pelos contaminantes que traz. Este estudo visa revisar a caracterização do lodo calcinado de tratamento de esgoto, *Sewage Sludge Ash* (SSA), na busca de sua viabilidade como MCS.

2. CARACTERISTICAS FÍSICO-QUIMICAS DO LTE

O LTE tem em sua composição aluminossilicatos, vindos de partículas de solo, concentrados pela limpeza das habitações, comércios e indústrias; aluminatos, vindos do tratamento do esgoto, como coagulante; e o compostos de cálcio, usados para corrigir pH principalmente. Estes compostos atendem por 35 a 60% dos sólidos não voláteis [12].

O LTE tem em sua composição até 40% de matéria orgânica, de 5- 10% de compostos de fósforo [11], metais pesados - MP (Cd, Cr, Cu, Zn) [11,12, 13, 14], hormônios, fármacos e microplásticos [28]. Estes compostos limitam seu uso em diversas indústrias e encarece o descarte do LTE, pois a disposição agrícola acumula estes compostos e metais pesados no solo, contaminando plantações [55]. Em aterros sanitários, além de contribuir para a geração de metano na atmosfera, consome o volume dos mesmos, o que acelera o uso de outros locais para descarte [11].

A lixiviação de fármacos, hormônios e metais pesados pode também contaminar as águas subterrâneas [55]. No Brasil, 60% do lodo de esgoto é disposto em aterros [56], e seu uso na construção civil em geral é menor que 1% [57].

2.1. Metais Pesados

Em concretos com SSA como MCS, há o risco de liberação por percolação de metais pesados. A degradação da matriz cimentícia promove descontinuidades que favorecem a infiltração de água.. Zhao et al. [12] afirma que o teor de lixiviado de metais pesados estão abaixo dos limites especificados pelos Critérios de Aceitação de Resíduos de Aterro Sanitário Europeu (WAC), porém reforçam que há imprevisibilidade nos resultados no decorrer do tempo, dada a inconstância do material, sugerindo a análise por lote e origem.

A substituição de parte do clinquer por SSA em canais de transporte de esgoto se mostrou útil. Bactérias liberadoras de sulfato degradam severamente estruturas de concreto, e os metais pesados atuam como bactericidas, impedindo a penetração destes microrganismos nos poros do concreto. Testes de durabilidade foram determinantes para prescrever esta pozolana como melhor opção para uso.[13]

3. USO DE SSA COMO MATERIAL CIMENTICIO SUPLEMENTAR

A substituição do cimento Portland por SSA demanda um teor ótimo, pois o mesmo atrasa o tempo de pega, dada a sua ação como pozolana, além de dificultar a trabalhabilidade [31]. Sobre a trabalhabilidade dificultada, se deve a sua topologia rugosa [14], que aumenta a área superficial o que consequentemente melhora sua reatividade pozolânica. Este aumento de área superficial aumenta a demanda de água para molhagem, ou de aditivo plastificante, para manter a trabalhabilidade usual do compósito pretendido [16]. Na tabela 1 se destacam os estudos mais relevantes sobre o uso de SSA como MCS:

Tabela 1. Uso de SSA como material cimentício suplementar.

Aplicação	Uso e Tratamento	Resultados	País
Argamassa de cimento [56]	Substituição parcial do cimento; calcinação a 800 °C	Boa trabalhabilidade e resistência	Brasil
Concreto [57]	Substituição parcial de cimento por cinza; secagem e calcinação	Propriedades físicas semelhantes ao concreto comum	Espanha
Argamassas de cimento [58]	Substituição parcial do cimento; calcinação a 800 °C	Propriedades mecânicas satisfatórias	Croácia
Concreto [59]	Substituição parcial do cimento; calcinação a 800 °C	Melhoria na hidratação e resistência	Japão
Argamassa [60]	Substituição da areia por cinza de lodo; calcinação em grelha móvel	Redução da absorção de água; isolamento térmico	Lituânia

O uso do SSA como MCS encontra interesse em diversos países, pois as limitações de seu uso exigem pesquisa de segurança e qualidade, ao passo que a geração de LTE aumenta com a implementação do saneamento básico nas cidades.

3.1. Calcinação

O SSA possui materiais que em estado amorfo e na presença de água e hidróxido de cálcio (CH), tem atividade pozoânica [9, 14,15 ,16]. Vários estudos visam encontrar a melhor temperatura de calcinação. A tabela 2 traz comparativos em diferentes temperaturas de tratamento.

Tabela 2. Composição química do SSA após tratamento (calcinação)

Autor	Temperatura de calcinação	Teor depois da calcinação						
		SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	P2O5
Wu et al. [18]	---	10.3	5.04	15,4	34.10	1.14	28	2,42
Rutkowska et al. [19]	850°C	17,8	11.10	6,5	18,9	2,4	3.10	18.21
Pinarli [22]	600°C	28,8	7,8	3,9	21,9	4,6	1,4	---
Kosior-Kazberuk [20]	850°C	34,7	6.32	10.32	15,4	2,7	0,6	18.17
Baeza-Brotons et al. [21]	800°C	17.27	9,64	8,52	30.24	3.22	9	14,3
Nakic [23]	900°C	35	7,59	---	34,3	4.21	4,6	5,81
Azed e Ing [47]	micro-ondas por 30 min	14,9	2,57	11.14	5.36	0,3	6,9	3,57
Halliday et al. [61]	---	27,9	16,7	18,5	10.6	2.20	0,9	---
Rutkowska et al. [37]	850°C	25,5	18,98	7,77	19h40	2,3	3	19,6
Sasaoka et al. [32]	700–1000°C	49,2	13.11	9.01	5.14	3.15	1.12	12,3
Lynn et al. [48]	800°C	32,8	14.0	11.6	14,5	---	3,5	13,7
Gu et al. [40]	850°C	12,8	7	15,89	33.19	0,9	23.20	3,61
Fontes et al. [46]	550°C	39.02	19.09	12,48	10.12	1,9	6,4	4,94
Hassooni e Ethaib [41]	600°C	38,7	18,61	12,92	21,7	2,6	0,8	---

Calcinar o LTE na faixa de 500 °C a 800 °C, decompõe por desidroxilação os compostos de alumínio e sílica, formando principalmente os óxidos Al_2O_3 e SiO_2, amorfos e reativos, com propriedade pozoânica [27]. Aos 800°C inicia-se a formação cristalina de muscovita $\{KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2\}$ consumindo as fases amorfas formadas, diminuindo o potencial pozolânico. A partir dos 900°C a mulita, de estrutura cristalina, é formada, e não é mais reagente.

Nota-se nos resultados da tabela 2, que os principais componentes do SSA são SiO_2. Al_2O_3 e CaO. Os teores de P_2O_5, que aumenta o tempo de pega de estabilização da resistência mecânica, e de SO_3, sabidamente expansivo, podem condenar o uso de determinado SSA como MCS [24, 25].

Os dados de composição do SSA não são sempre comparáveis, pois sua composição química depende do local, do tipo de tratamento e tipo de contribuintes para formar o esgoto, especialmente indústrias e comércios. Motivos pelo que todo lote de LTE precisa passar por testes como Termogravimetria (TG) e Fluorescência de Raios X (FRX), e determinar sua constituição, corrigir o teor de elementos deletérios, calcinar à temperatura mínima eficaz, e só assim determinar o potencial pozolânico do material [17].

Estudos chegaram à pozolana de baixa reatividade com 600°C, e de alta reatividade até 900°C, quando a cristalização se difunde demais no material amorfo [12, 14, 29], chegando a 41% de fases amorfas, a 700°C [29], o melhor resultado encontrado.

A lavagem com ácido sulfúrico pode diminuir o teor do P_2O_5, também lixiviando alguns MP. O uso de pó fino de calcário ou um acelerador de pega também reduz o efeito de atraso de pega, gerado pelo fosfato presente [26].

Sobre a substituição da matriz cimentícia, recomenda-se não chegar a 30% [16], estudos comparativos chegaram a 15% [30] e 20% [31] de teor ótimo, mostrando novamente a variabilidade do material.

3.2. Caracterização do SSA:

i. Resistência Mecânica

Concretos com SSA substituindo 10 a 20% do CP apresentaram perda de resistência à compressão em 7 dias, comparado com a referência [16, 37]; já a 91 dias, em igual condição, houve aumento na ordem de 5 a 10% na resistência mecânica [12, 33]. Na tabela 3 são apresentados estudos em concretos de 28 dias, tempo de hidratação mais usual em resultados, com SSA como MCS.

Tabela 3. Resistência à Compressão em pastas, usando SSA como MCS

Autor	Aglomerante	Relação a/c	Substituição por SSA (%)	RC 28d - SSA	Referência
Al Shanti et al. [34]	Cimento	0,35	20	65,3	66,7
David e Krishnamoorthy [35]	Cimento	0,47	10+10 (agregado)	47,9	43,6
Nakic [36]	Cimento	0,5	10	53,8	51,9
Rutkowska et al. [37]	Cimento	0,44	20	42,5	41,3
Ing et al. [38]	Cimento	0,55	5	33	30
Baeza-Brotons et al.[39]	Cimento	0,68	5 (Adição)	7,1	7
Gu et al. [40]	Cimento + SF	0,2	10	117,3	115,9
Hassooni e Ethaib [41]	Cimento	0,41	10	38,8	35,6
Xia et al. [42]	Cimento + SF	0,2	8	120,4	117,2
Pinarli [43]	Cimento	0,5	5	29,7	27,8
Fontes et al. [44]	Cimento	0,5	5	53,05	52,27
Rutkowska et al. [19]	Cimento	0,46	10	42,5	41,3

Em concretos de alto desempenho, quando usada Sílica Funcionalizada (SF), para oferecer pontos de nucleação, Gu et al. e Xia et al. [40, 42] mostraram que o SSA na matriz não foi prejudicial ao resultado, se mostrando competente para uso.

Aos 28 dias se encontra em quase todos os estudos aumento na resistência à compressão. A formação esperada, de C-S-H (silicato de cálcio hidratado), pela reação do hidróxido de cálcio com os aluminatos e silicatos do SSA se evidencia pelo aumento da resistência mecânica do sistema. Estudos de RC em 365 dias chegaram a 18% a mais de resistência à compressão, se comparado à referência [18]. A taxa de reatividade mais lenta também traz redução do calor acumulado no concreto, depois de 12h de hidratação [19]

Quanto o Módulo de Elasticidade, para concretos com 5% de SSA, esta propriedade aumenta aos 91 dias, em comparação à referência. Ao aumentar a substituição para 10%, a rigidez da matriz diminuiu [46, 47].

O SSA apresenta superfície rugosa, que o deixa mais reativo, mas exige mais água para sua molhagem, aumentando a porosidade da matriz [16]. Diminui a trabalhabilidade em teores de 30% de substituição [16, 31]. Uma relação água/cimento baixa e o uso de superplastificantes e redutores de viscosidade precisam ser implementados para mitigar estes efeitos [45].

ii. Permeabilidade à água

A permeabilidade à água é parâmetro relevante para o uso do SSA, dado o teor de MP, que mesmo baixos, precisam ficar aprisionados. Shanti et al. [45] em ensaio de lixiviação forçada, encontraram performance similar à referência, sendo que a penetração forçada é menor depois de 56 a 90 dias, devido à atividade pozoânica. O gel C-S-H tardio refina os poros [46].

Estudos de lixiviação forçada mostraram que práticas construtivas visando o refinamento dos poros, e manutenção programada do sistema, evita-se este efeito, com retenção satisfatória de metais pesados, que se liberam em teores abaixo do preconizado em norma europeia [17].

iii. Avaliação de pozolanicidade:

A atividade pozolânica do SSA corresponde à capacidade reagir com o hidróxido de cálcio, liberado na hidratação do cimento, formando compostos cimentantes, como o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), contribuindo para o aumento da resistência mecânica e durabilidade da matriz. Aferir esta atividade consiste em identificar a diminuição do teor de CH e o aumento de C-S-H, e demais formas usuais.

Em pastas com SSA como MCS, comparadas com pasta referência, recomenda-se a avaliação com resultados de duas frentes de ensaios: uma frente, avaliando as propriedades mecânicas por densificação da estrutura, e outros avaliando especificamente o consumo de CH [15, 52]. Por exemplo, em estudo de Yang et al. [16], por meio de ensaios de TG/DSC, antes de depois da hidratação, o consumo de CH foi maior na matriz substituída que no controle.

O estudo de Gueye et al. [55], usou testes de consumo de CH – Chapelle modificado, TG, e de resistência à compressão. Os resultados aos 28 dias evidenciam a reação lenta do SSA como pozolana: o ensaio de Chapelle modificado mostrou o consumo de CH baixo – 28%. Pozolanas de alta reatividade consomem 40 a 80% do CH neste tempo. Análises de TG mostraram quantidade semelhante de desidroxilação do CH na faixa de temperatura esperada, e o ensaio de resistência à compressão manteve o desempenho perto da referência, menos ao chegar a 30% de substituição. Aos 365 dias, as amostras com SSA incorporado foram 10% mais resistentes à compressão que as de referência.

Para o SSA como MCS, a TG é uma técnica simples para aferir seu potencial pozolânico. A perda de massa ocorrida em 290 °C a 550°C é indicativa da desidroxilação do CH, e comparar com pastas antes e depois de hidratar, mostra a proporção de consumo do CH. Aliado à análise diferencial e outras análises, como Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier – FTIR, pode-se quantificar o consumo de CH. Estudo experimental mostrou que até 77% do CH é consumido na ação pozoânica, usando SSA a 15%, aos 90 dias [15].

Fato relevante é que o estudo de Xia et al. [42], com SSA calcinado a 800°C, apresentou picos de decomposição de CH mais acentuados que os de amostra calcinada a 600°C, se mostrando parâmetro eficaz para encontrar a temperatura adequada de calcinação, uma vez que cada lote precisa de ajuste [17].

iv. Difração por raios X

As fases cristalinas do SSA são determinadas neste ensaio. À medida que a temperatura de calcinação aumenta, o teor de cristais aumenta, especialmente de quartzo. A figura 1 mostra a análise típica do SSA. Em diversos estudos esta fase cristalina foi o indicador de excesso de temperatura e tempo de calcinação. Elemento recorrente, estudos o encontram em teores de 10 a 40% [11, 13, 32, 52].

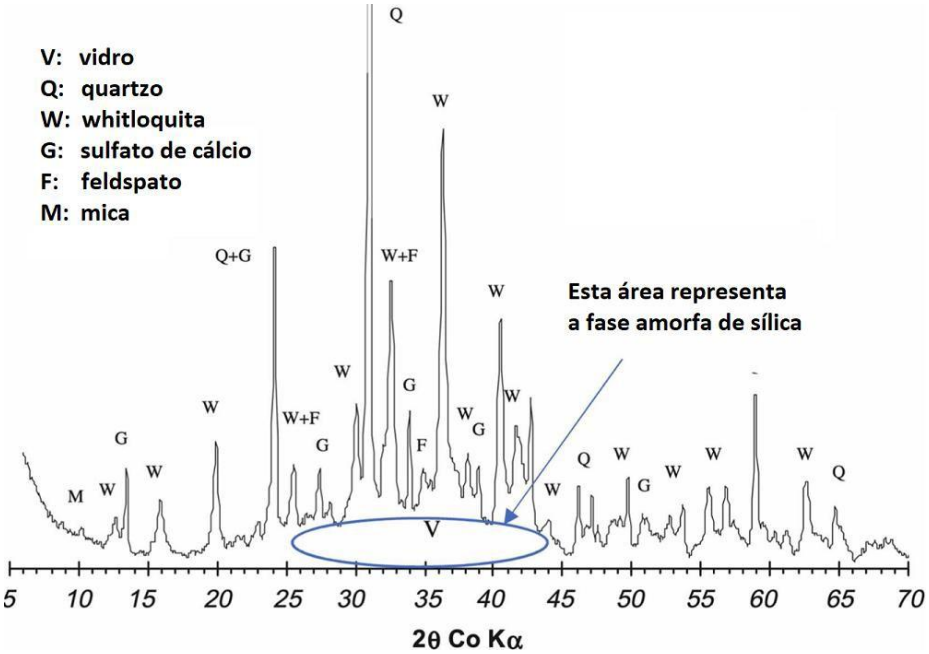


Figura 1 – Gráfico típico de SSA [12] (com adaptações.)

A figura 1 mostra um resultado de DRX típico do SSA: quartzo alto, e o halo amorfo característico na frequência 2θ de 26° a 44°. Sulfato de cálcio e outras fases cristalinas também se evidenciam, mostrando a perda de disponibilidade de sílica [12].

3.3. Durabilidade

i. Resistência a álcalis

O alto teor de sulfato no SSA pode manifestar deformação expansiva pela formação de etringita tardia. Este efeito, no entanto, se reduz quando o teor de SO_3 se encontra abaixo do limite de 3%, conforme a EN 450-1[48, 49]

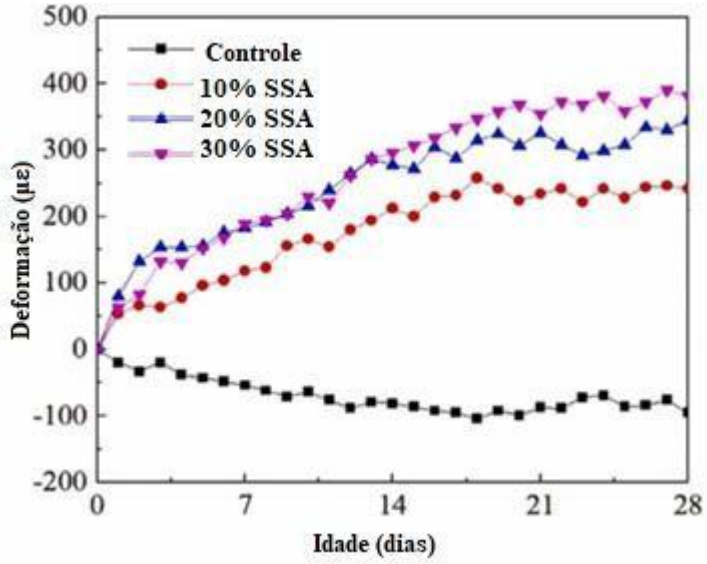


Figura 2 – Deformação de argamassa devido à presença de Sulfato presente no SSA
Fonte: GU C, et al. (com adaptações) [40]

Na figura 2, GU C, et al. [40], mostra o comparativo de expansão e de retração das argamassas com adição de SSA. O efeito expansivo da etringita é evidenciado e crescente conforme o teor é aumentado. O teor de sulfatos no SSA analisado estava acima de 4%.

Quanto à resistência a cloretos, a durabilidade é pautada pela preservação das armaduras de aço. A baixa concentração deste elemento no SSA e o refinamento dos poros, evitando o transporte de cloreto do ambiente para o interior da matriz, faz do SSA um auxiliar para este tipo de ataque [54]; Shanti et al [45] chegou ao melhor desempenho com 20% de adição de SSA, prognosticando durabilidade para a armadura. Wu et al. [50] em estudo de durabilidade usando SSA como MCS, em ataque forçado em pastas submersas em solução de NaCl a 3% por 42 dias, não houve transporte de íons cloreto, e não ocorreu lixiviação de metais pesados, explicado pelo refinamento dos poros.

Quanto à resistência a temperaturas baixas, foram realizados testes de compressão e de lixiviação forçada, e as amostras com 15% de substituição por SSA tiveram o melhor resultado, com aproximadamente 15% de perda de massa. O uso de incorporadores de ar se faz necessário quando o SSA é usado como agregado miúdo, em ensaio de gelo-degelo com 240 ciclos, concreto com 5 a 10% de SSA teve 25% menos dano que a referência, constatado por ensaios de RC. O SSA teve menor fissuração, demonstrada por Microscopia Eletrônica de Varredura [50].

Quanto ao desempenho em temperaturas elevadas, Vodák F, et al. [51] concluiu que o SSA é pior que a referência, só melhorando de desempenho em 300°C com 5% de substituição, e a 700°C com 20%, mesmo assim a perda de resistência é sensivelmente grande. [51]

4. CONCLUSÃO

O SSA demonstrou ser pozolana de baixa reatividade, e que as principais pesquisas focam em conhecer o material, assim como testar seu desempenho na matriz cimentícia. Seus contaminantes, tanto para o concreto como para as pessoas, precisam ser neutralizados, para ter um material confiável. E mesmo com estudos datando da década de 1990, este é o estágio atual.

O SSA é um material que como MCS, se não aumenta, mantém o desempenho mecânico do concreto, se comparado à traços de referência. A ação pozoânica faz aumentar o desempenho à compressão e do módulo de elasticidade. A principal precaução é que atrasa e deixa lenta a pega do cimento, e só a 91 dias que terá praticamente estabilizado sua ação como pozolana.

O desempenho mecânico os silicatos e aluminatos presentes no SSA não atendem sempre aos teores mínimos para reatividade. A proporção de CH consumido mostra que a ação pozoânica é de baixa reatividade. A preocupação com o alto teor de quartzo, cristalino, que pode comprometer o material. A pega lenta e sulfatos, que podem danificar a matriz cimentícia, assim como metais pesados, precisam de controle, tratamento, descarte de lotes de SSA, ou da fonte.

Seu uso é limitado pela sua inconstância na composição, que varia conforme a origem. O desempenho do SSA depende muito da cadeia de uso da água, clima, solo, costumes, atendimento à legislação, qualidade das coletas e testes. Isto gera previsibilidade curta de qualidade. Uma solução pode ser a formação de blends, de misturas de várias fontes e inclusive de lodo de ETA, de maior reação pozolânica, o que gerará um produto mais eficiente e uniforme.

Para a indústria de saneamento, a mudança do lodo, de resíduo (LTE) para produto (SSA), gera um novo produto, e assim se espera que contribua com a expansão do tratamento de esgoto no planeta, ainda longe da ampla abrangência. A retirada o LTE da disposição no solo evita o acúmulo de contaminantes à superfície, e a camadas internas deste; também evitando a necessidade de novos aterros sanitários, desequilíbrios ambientais e contaminação da cadeia de produção agrícola.

Para a indústria da Construção Civil, a redução de CO_2 no ambiente, o uso inteligente de recursos, a melhora de materiais e o apelo socioambiental gerado por um MCS que eficaz é mais um passo para a neutralidade de carbono.

REFERÊNCIAS

[1] UNICEF; WHO. ***Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020*.** Nova York: UNICEF, 2021.

[2] Salman R. N., Et al. (2021**) Recent developments on sewage sludge pyrolysis and its kinetics: Resources recovery, thermogravimetric platforms, and innovative prospects,** Computers & Chemical Engineering

[3] Mateo-S., J., Et al. (2015). **Global wastewater and sludge production, treatment and use.** Wastewater: an economic asset in an urbanizing world. Dordrecht, Netherlands: Springer. pp.15-38.

[4] FONSECA, A. F. et al. (2017) **Agricultural use of sewage sludge: Effects on heavy metal accumulation in soil and plants**. *Brazilian Journal of Soil Science*, v. 41.

[5] Martyna BUTA M., Et al (2021), **Sewage sludge in agriculture – the effects of selected chemical pollutants and emerging genetic resistance determinants on the quality of soil and crops – a review,** Ecotoxicology and Environmental Safety

[6] CHEN, C., Et al. (2025) **Sewage sludge and incineration ash mixed with different materials for manufacturing bricks: a review**. *Waste Dispos. Sustain. Energy*

[7] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). ***Manual de Gerenciamento de Lodos de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE)*.** Brasília: ANA, 2019.

[8] ZHANG, W. et al. **Current status and future perspectives of sewage sludge management in China**. *Water Research*, v. 202, p. 117439, 2021.

[9] HE P., Et al. (2017) **Using incinerated sewage sludge ash to improve the water resistance of magnesium oxychloride cement (MOC)**, *Construction and Building Materials 147 519-524*

[10] OLIVEIRA S. M. F. et al. (2023) **Análise da resistência à compressão de concretos com substituição parcial de agregados naturais por resíduos de construção e demolição.** Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1

[11] SZAREK L (2024) **Examination of the Release of Heavy Metals from Self-Hardening Slurries with Fly Ash from Municipal Sewage Sludge Incineration, Considering the Character of Its Operation in a Cut-Off Wall** *BUILDINGS (2024) 14(8)*

[12] ZHAO Y., Et al. (2025) **Effect of sewage sludge separation pretreatment on the performance of sludge-based porous ceramist** CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS 466

[13] SUN K., Et al. *(2024)* **Recycling of incinerated sewage sludge ash and waste glass powder in alkali-activated slag for sewer rehabilitation** *MATERIALS AND STRUCTURES 57(4)*

[14] CHANG Z., Et al. *(2022)* **Pozzolanic reactivity of aluminum-rich sewage sludge ash: Influence of calcination process and effect of calcination products on cement hydration**, *Construction and Building Materials 318 126096.*

[15] AGRA T., Et al. (2023) **Characterizing and processing a kaolinite-rich water treatment sludge for use as high-reactivity pozzolan in cement manufacturing** *Applied Clay Science, 236, 106870*

[16] YANG Y., et al. **Performance and microstructure of sintered sludge ash-modified cement paste**. *Journal of Building Engineering*, v. 86, 109503, 2024.

[17] SIDHU A Et al. *(2024)* **Review on the effect of sewage sludge ash on the properties of concrete**, *Construction and Building Materials 449 138296*

[18] WU Z., Et al. (2021) **The long-term performance of concrete amended with municipal sewage sludge incineration ash,** Environmental Technology & Innovation Volume 23, 101574

[19] RUTKOWSKA G. Et al. (2018) **Use of fly ashes from municipal sewage sludge combustion in production of ash concretes** Construction and Building materials, 188, pp. 874-883.

[20] KOSIOR-KAZBERUK M**.** (2011) **Application of SSA as Partial Replacement of Aggregate in Concrete** Polish Journal Environmental Studies, 20, pp. 365-370

[21] BAEZA-BROTONS F., Et al. (2020) **Concrete for Precast Blocks: Binary and Ternary Combination of Sewage Sludge Ash with Diverse Mineral Residue** Materials, 13, p. 4634

[22] PINARLI V. (2000) **Sustainable Waste Management-Studies on the Use of Sewage Sludge Ash in the Construction Industry as Concrete Material** Sustainable Construction: Use of Incinerator Ash, Thomas Telford, pp. 415-425

[23] NAKIC D. (2018) **Environmental evaluation of concrete with sewage sludge ash based on LCA** Sustainable Production and Consumption, 16, pp. 193-201

[24] KREJCIRIKOVA Et al. (2019) **Characterization of sewage sludge ash and its effect on moisture physics of mortar** Journal of Building Engineering Volume 21, Pages 396-403

[25] PIASTA W, LUKAWSKA M., (2016) **The Effect of Sewage Sludge Ash on Properties of Cement Composites**, Procedia Engineering 161 1018-1024

[26] GU C., Et al. (2021**) Recycling use of sulfate-rich sewage sludge ash (SR-SSA) in cement-based materials: Assessment on the basic properties, volume deformation and microstructure of SR-SSA blended cement pastes**. Journal of Cleaner Production 282, Article 124511

[27] ALUJAS A., Et al. (2015) **Pozzolanic reactivity of low grade kaolinitic clays: Influence of calcination temperature and impact of calcination products on OPC hydration**, Fernández R, Applied Clay Science 108 94-101

[28] BITTENCOURT S., Et al. (2016) **Sorção de poluentes orgânicos emergentes em lodo de esgoto**, Engenharia Sanitaria e Ambiental v.21 n.1 | 43-53

[29] PAVLIK Z., et al. (2016) **Energy-efficient thermal treatment of sewage sludge for its application in blended cements.** Journal of Cleaner Production, Volume 112, Part 1, Pages 409-419

[30] Li B,. Et al. (2024) **Coupling effects of sewage sludge and recycled fine aggregate on the properties of geopolymer recycled mortars** Case Studies in Construction Materials, 20 e03067

[31] Li Y, Guo X **(**2024**) Coupling evaluation of carbon emissions and strength: Early carbonation curing of cement mortar containing incinerated sewage sludge ash (ISSA)** Construction and Building Materials, 427, 136278

[32] SASAOKA, N.; Yokoi, K.; Yamanaka, T. (2006) **Basic Study of Concrete Made Using Ash Derived from the Incinerating Sewage Sludge.** Int. J. Mod. Phys. B, 20.

[33] HE P., Et al. **Using incinerated sewage sludge ash to improve the water resistance of magnesium oxychloride cement (MOC)** Construction and Building Materials, 147, 8

[34] SHANTI S. Et al., (2021) **Utilization of Sewage Sludge Ash in Self-Compacted Concrete**, 6th International Conference on Civil Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'21), pp. 1–8.

[35] DAVID T. K., Krishnamoorthy R.R. (2022) **Flexural and Compression Superiority of Sewage Sledge Ash Concrete** International Journal Of Sustainable Construction Engineering And Technology vol.13 no.3 174-182

[36] NAKIC D (2018) **Environmental evaluation of concrete with sewage sludge ash based on LCA** Sustainable Production and Consumption 16 193-201

[37] RUTKOWSKA, G., Et al. (2020). **Modification of Ordinary Concrete Using Fly Ash from Combustion of Municipal Sewage Sludge**. Materials, 13(2), 487.

[38] ING D.S., et al. (2006) **The Use of Sewage Sludge Ash (SSA) as Partial Replacement of Cement in Concrete** Journal of Engineering and Applied Sciences, 11 pp. 3771-3775

[39] BAEZA-BROTONS F, et al. (2014) **Portland cement systems with addition of sewage sludge ash. Application in concretes for the manufacture of blocks**, Journal of Cleaner Production 82 112-124

[40] GU C., Et al. (2022) **Feasibility of recycling sewage sludge ash in ultra-high-performance concrete: Volume deformation, microstructure and ecological evaluation** Construction and Building Materials, 318 125823

[41] ONI, Et al. (2015) **Evaluation of the effect of reuse sewage sludge and sewage sludge ash on concrete for cement replacement.** Journal of Engineering Science and Technology Volume 15, Issue 5, Pages 3404 – 3418

[42] XIA Y. Et al. (2023) Sediment **core records and impact factors of polycyclic aromatic hydrocarbons in Chinese lakes**. Environmental Research, Volume 235, 116690

[43] V. Pinarli (2020) **Sustainable Waste Management-Studies on the Use of Sewage Sludge Ash in the Construction Industry as Concrete Material.** Sustainable Construction: Use of Incinerator Ash, Thomas Telford Publishing, pp. 415-425

[44] FONTES C.M.A., Et al. (2004) **Potentiality of sewage sludge ash as mineral additive in cement mortar and high performance concrete, in: Proceedings of Conference: Use of Recycled Materials in Buildings and Structures** (RILEM Publications), Barcelona, pp. 797–806.

[45] SHANTI S.A., Et al. **Utilization of Sewage Sludge Ash in Self-Compacted Concrete** 6 th International Conference on Civil Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'21) Paper No. 126

[46] FONTES C. M. A. Et al. (2016) **Sewage sludge ash (SSA) in high performance concrete: characterization and application.** Revista IBRACON Estruturas e Materiais 9 (6)

[47] AZED M.A., ING D.S. (2021) **Properties of concrete containing microwaved sewage sludge ash** Journal of Mechanical Engineering and Sciences, Vol. 15 No. 4

[48] LYNN, C. J.; DHIR, R. K.; GHATAORA, G. S. (2016) **Sewage sludge ash characteristics and potential for use in bricks, tiles and glass ceramics.** Water Sci. Technol., 74.

[49] EN 450–1, **Fly ash for concrete - Part 1: Definition, specifications and conformity criteria,** Brussels, 2012.

[50] Wu Z, et al. (2021) **The long-term performance of concrete amended with municipal sewage sludge incineration ash** Environmental Technology & Innovation (2021) 23 101574

[51] Vodák F, et al. (2004) **The effect of temperature on strength – porosity relationship for concrete.** Construction and Building Materials (2004) 18(7) 529-53

[52] TIPRAJ, SHANMUGAPRIYA (2022). **A comprehensive analysis on optimization of Sewage sludge ash as a binding material for a sustainable construction practice: A state-of-the-art review.** Materials Today: proceedings Volume 64, Part 2, Pages 1094-1101

[53] TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry. 2nd ed.** London: Thomas Telford, 1997. Pag. 231

[54] SONG Z.et al (2025) **Effect of sewage sludge on passivation and chloride-induced depassivation of reinforcing steels in cement extracts,** Construction and Building Materials, Volume 468,140419

[55] GUEYE P. M. et al. (2022) **Characterization of the Omni-Processor Sewage Sludge Ash for Reuse as Construction Material,** Fdmp-Fluid Dynamics & Materials Processing Volume 18, Issue 6, Page 1580-1593

[56] ZAT, T. M. (2021) **Emprego de cinza de lodo de esgoto sanitário em argamassas de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

[57] CHÁVEZ, P. R. A. et al. (2018) **Utilización de cenizas de lodos activados en la elaboración de concretos hidráulicos**. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, v. 28, n. 1, p. 63–78.

[58] VOUK, D. et al. (2017) **Use of incinerated sewage sludge ash in cement mortars: case study in Croatia**. Tehnički vjesnik, v. 24, n. 1, p. 287–292.

[59] TSURUTA, H. et al. (2016) **A study on improving of setting properties in concrete used sewage sludge incinerated ash**. Journal of the Society of Materials Science, Japan, v. 65, n. 11, p. 773–778.

[60] KIZINIEVIČ, O. et al. (2021) **The influence of incinerated sewage sludge as an aggregate on the selected properties of cement mortars**. Materials, v. 14, n. 19, p. 1–14.

[61] HALLIDAY, J. E. et al. (2012) **Potential use of UK sewage sludge ash in cement-based concrete.** Proc. Inst. Civ. Eng. Waste Resour. Manag., 165.

[62] HENDGES, L.T. Roselaine C.R.R., Leichweis J., Fernandes E.J., Torres A.R.M. (2017) **disposição final de lodo de estação de tratamento de água e de esgoto: uma revisão** 9º Salão Internacional De Ensino, Pesquisa E Extensão - SIEPE Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento

[63] SANTOS, T. S. (2017) .**Materiais pozolânicos obtidos por calcinação de argilas: caracterização e desempenho em matrizes cimentícias.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

[64] Gomes, Lídia de Assis **Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto e a relação com o meio ambiente** Monografia da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, p. 12. 2019.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-6

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e componentes

MODELAGEM DA HIDRATAÇÃO DE CONCRETOS COM HYMOSTRUC: INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS FÍSICOS

MACIOSKI, Gustavo [1]; ARAUJO, Emanoel C. [2]; MEDEIROS, Marcelo H. F. de [3]

[1] UTFPR, Curitiba-PR, Brasil, gmacioski@utfpr.edu.br, ORCID 0000-0001-8489-4328
[2] UFPR, Curitiba-PR, Brasil, emanoelcunhaa@gmail.com, ORCID 0000-0001-7825-3479
3 UFPR, Curitiba-PR, Brasil, medeiros.ufpr@gmail.com, ORCID 0000-0003-3112-9715

RESUMO

Este estudo avaliou, por meio do software de modelagem Hymostruc, os efeitos da relação água/cimento, da finura do cimento, do teor e da densidade dos agregados sobre o grau de hidratação, porosidade e módulo elástico de concretos. Foram realizadas simulações tridimensionais ao longo de 1000 horas, considerando diferentes cenários de dosagem. A maior influência foi observada na variação da relação água/cimento, que aumentou em 75,9% o volume de poros da pasta e reduziu seu módulo de elasticidade em 23,8%. A finura do cimento teve efeito moderado na rigidez e na compactação microestrutural. O teor de agregados afetou diretamente a rigidez do concreto (até 10,5%), enquanto a densidade dos agregados mostrou impacto limitado. Conclui-se que o controle da porosidade e da rigidez é mais efetivo com ajustes na relação água/cimento e no teor de agregados, destacando o potencial das simulações com o Hymostruc para o desenvolvimento de dosagens de concretos otimizados.

Palavras-chave: Simulação; Hidratação; Porosidade; Módulo de elasticidade; Hymostruc; Dosagem.

ABSTRACT

This study evaluated, using the Hymostruc modeling software, the effects of the water-to-cement ratio, cement fineness, and aggregate content and density on the hydration degree, porosity, and elastic modulus of concrete. Three-dimensional simulations were carried out over 1000 hours, considering different mix design scenarios. The most significant influence was observed in the variation of the water-to-cement ratio, which increased the pore volume of the paste by 75.9% and reduced its elastic modulus by 23.8%. Cement fineness had a moderate effect on stiffness and microstructural compaction. Aggregate content directly affected concrete stiffness (by up to 10.5%), while aggregate density showed limited impact. It is concluded that controlling porosity and stiffness is more effectively achieved through adjustments in the water-to-cement ratio and aggregate content, highlighting the potential of Hymostruc simulations for developing optimized concrete mix designs.

Keywords: Simulation; Hydration; Porosity; Elastic Modulus; Hymostruc; Mix Design.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por materiais cimentícios mais duráveis, sustentáveis e eficientes impõe à engenharia civil desafios significativos no entendimento e controle da evolução microestrutural do concreto ao longo do tempo. Frente às limitações dos métodos experimentais tradicionais - muitas vezes onerosos, demorados ou restritos em termos de resolução espacial e temporal - os modelos numéricos de simulação surgem como ferramentas indispensáveis na previsão do comportamento físico-químico de sistemas cimentícios. Esses modelos não apenas ampliam a capacidade de investigação sobre fenômenos complexos, como a hidratação do cimento e o desenvolvimento da porosidade, como também oferecem um meio sistemático para estudar o impacto de variáveis composicionais e ambientais com elevado nível de controle [1,2].

A modelagem numérica em materiais cimentícios pode ser abordada em diferentes escalas, de acordo com os fenômenos físicos de interesse e o nível de detalhe requerido. Em termos gerais, a modelagem em escala micrométrica ou micromodelagem concentra-se nas interações entre partículas, nas reações químicas elementares e na evolução da microestrutura tridimensional, considerando fatores como a morfologia dos produtos de hidratação, a nucleação, o crescimento dos grãos e a conectividade da porosidade [2–4]. Já a mesomodelagem descreve regiões heterogêneas, como a zona de transição interfacial (ITZ), incorporando propriedades de fases distintas como pasta, agregado e poros. Por fim, a macromodelagem opera na escala do componente estrutural, empregando modelos constitutivos generalizados para prever propriedades globais, como resistência, módulo de elasticidade, retração e durabilidade [5]. Um estudo realizado por Azenha [6] mostrou que entre os modelos micorestruturais mais conhecidos podem ser mencionados o HYMOSTRIJC da Universidade de Delft, DuCOM da Universidade de Tóquio, e CHEMY3D do National Institute of Standards and Technology nos EUA.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar, por meio do modelo Hymostruc, os efeitos de diferentes parâmetros físicos na hidratação, rigidez e porosidade de concretos modelados numericamente. Foram analisadas quatro variáveis principais [7]: (i) a relação água/cimento, que influencia diretamente o volume de poros capilares remanescentes; (ii) a finura do cimento, associada à área de superfície disponível para reação; (iii) o teor de agregados, que afeta a quantidade de pasta reativa e a distribuição espacial das fases; e (iv) a densidade dos agregados, que pode alterar a compactação e a conectividade da pasta residual. A análise foi realizada em microestruturas simuladas com condições controladas, permitindo isolar o impacto de cada parâmetro sobre a estrutura porosa resultante.

A inovação deste estudo reside na integração sistemática de múltiplos fatores físicos e geométricos em simulações tridimensionais de alta resolução, utilizando o Hymostruc como ferramenta central promovendo uma análise comparativa detalhada de múltiplas configurações. Além disso, os resultados são interpretados com base em métricas quantitativas como grau de hidratação, fração de poros conectados, teor total de porosidade e visualizações em 3D da evolução microestrutural. Essa abordagem permite avançar na compreensão de como pequenas variações nos parâmetros composicionais podem desencadear mudanças expressivas na performance do material.

Do ponto de vista científico e técnico, os dados aqui gerados contribuem para a consolidação de ferramentas de simulação como suporte ao projeto de concretos mais eficientes, possibilitando a seleção criteriosa de materiais e proporções, ainda na etapa de concepção. Em contextos em que a durabilidade do concreto é crítica - como estruturas expostas a ambientes agressivos, barragens, plataformas marítimas e obras de longa vida útil - o uso de modelos preditivos confiáveis pode evitar manifestações patológicas, ampliar a vida útil da estrutura e reduzir a pegada de carbono da construção civil [8,9]. Com isso, o presente artigo busca não apenas aplicar o modelo Hymostruc em uma configuração de estudo inédita, mas também reforçar a importância da simulação numérica como ferramenta de pesquisa, projeto e otimização em engenharia de materiais. Ao integrar conceitos de química do cimento, física do transporte, modelagem computacional e ciência dos materiais, a pesquisa se posiciona na fronteira do conhecimento técnico-científico da área, abrindo novas possibilidades para estudos futuros e aplicação prática em projetos de engenharia.

2. HYMOCTRUC

O Hymostruc é um modelo tridimensional estocástico capaz de simular a formação de microestruturas virtuais de pastas de cimento e materiais cimentícios em geral. Desenvolvido inicialmente por Van Breugel [5] e posteriormente estendido por Koenders [10] e colaboradores [11], o Hymostruc baseia-se em leis de crescimento de partículas reativas, modelando a hidratação de clínqueres Portland (C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF). O modelo permite avaliar a influência de variáveis como a distribuição de tamanho das partículas, a relação água/cimento, a temperatura de cura e a composição química do cimento. Um dos principais diferenciais do Hymostruc é sua abordagem tridimensional explícita do crescimento das fases

hidratadas e da evolução da conectividade dos poros ao longo do tempo. Através de suas formulações, o Hymostruc permite analisar como a distribuição de partículas, a disponibilidade de água, a temperatura e outros fatores influenciam a formação do gel de C-S-H, a porosidade remanescente e propriedades como o módulo de elasticidade e o grau de hidratação [5,10]. O Hymostruc se destaca entre os modelos de hidratação por sua capacidade de representar explicitamente a geometria tridimensional das partículas de cimento e sua transformação durante a hidratação. Cada grão é modelado como uma esfera, de acordo com a Figura 1, composta por:

- Um núcleo não hidratado (cimento disponível para reagir),
- Uma camada de transição ativa, onde ocorre a reação química,
- Uma camada externa de produtos hidratados, predominantemente gel de C-S-H e hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$).

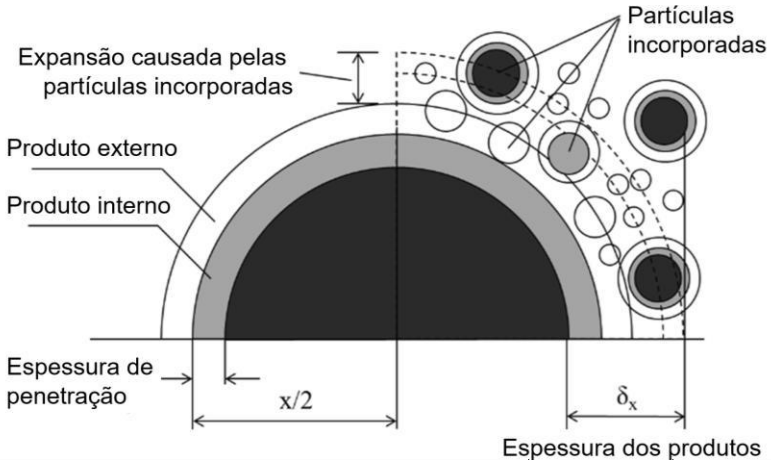


Figura 1 – Descrição do crescimento das camadas

Essa modelagem em camadas permite descrever a cinética de hidratação a partir de uma perspectiva morfológica, representando com precisão o crescimento dos produtos e sua interação com partículas vizinhas, o que é particularmente relevante para simulações em escala micrométrica. A microestrutura inicial é definida a partir de uma distribuição granulométrica realista e empacotamento aleatório de partículas em um Volume Elementar Representativo (REV), com condições de contorno periódicas que evitam efeitos de borda. À medida que o tempo avança, o modelo simula o crescimento da camada hidratada de forma esférica, com expansão controlada por equações de cinética dependentes de múltiplos fatores físico-químicos. A descrição do modelo feita ao longo desta seção é baseada nos trabalhos de Van Breugel [5], Koenders [10] e Gao et. al [11].

A Equação (1) que rege o avanço da frente de hidratação é a base do modelo Hymostruc. Ela descreve a taxa de penetração da reação na partícula de cimento (δ) no tempo (t), considerando os mecanismos que regulam a hidratação em função da temperatura, da disponibilidade de água e da morfologia do sistema.

$$\frac{\Delta\delta}{\Delta t} = K_0 \cdot \Omega_1 \cdot \Omega_2 \cdot \Omega_3 \cdot [F_T(T) \cdot F_2(\beta_2) \cdot \{\frac{\delta_{tr}}{\delta}\}^{\beta_1}]^{\lambda} \quad (1)$$

Onde:
$\frac{\Delta\delta}{\Delta t}$ representa a taxa de crescimento da camada de hidratação;
K_0 é o fator básico de hidratação, com base principalmente na reatividade do C_3S;
Ω_1, Ω_2, Ω_3 são fatores de redução associados ao consumo e distribuição da água no sistema;
$F_T(T)$ é uma função da temperatura com base na equação de Arrhenius;
$F_2(\ )$ incorpora o efeito da temperatura sobre a morfologia dos produtos formados;
δ_{tr} representa a espessura da zona de transição entre fases;
β_1 e β_2 são expoentes ajustáveis relacionados à cinética da reação;
λ é o fator que controla a transição do regime de reação: de controle por fronteira de fase para regime difusional.

Essa formulação permite modelar a hidratação de maneira não linear e com variações locais, o que é essencial para simulações de sistemas reais, onde a interação entre partículas próximas e a limitação de transporte têm papel importante. O Hymostruc reconhece que a hidratação não ocorre de forma isolada em cada partícula, mas sim em um ambiente

compartilhado, com competição por água e influência das condições locais da microestrutura. Assim, os três fatores assumem papel fundamental:

- Ω_1 considera o consumo de água por partículas embutidas no volume de hidratação de uma partícula central. Essa água já não está disponível, o que reduz a velocidade de hidratação da partícula central.
- Ω_2 avalia a distribuição da água no sistema de poros, com base na área molhada disponível. Quando os poros começam a secar, a hidratação diminui devido à perda de conectividade da fase líquida.
- Ω_3 estima o volume de água livre disponível, sendo uma medida da proporção de água ainda capaz de dissolver íons e participar de reações. À medida que a água se consome e os poros se esvaziam, esse fator tende a zero.

Estes três fatores tornam o modelo sensível à geometria local e à evolução da porosidade, algo essencial para representar corretamente o comportamento de concretos com diferentes relações água/cimento e composições de agregados. A formação da microestrutura virtual ocorre em duas etapas principais.

- Empacotamento inicial de partículas, com base na distribuição granulométrica real ou teórica. Partículas maiores são colocadas primeiro, seguidas pelas menores, de forma aleatória e sem sobreposição, respeitando as proporções de volume e densidade.
- Simulação da hidratação por expansão das camadas. A cada passo de tempo, a camada de produtos hidratados cresce radialmente para fora das partículas, com sobreposição parcial nas regiões próximas a outras partículas. O modelo garante que o crescimento se interrompa quando o espaço já estiver preenchido por outras camadas hidratadas, evitando dupla contagem de volume.

A microestrutura resultante é um modelo 3D representativo do concreto em diferentes idades, com poros, grãos não hidratados e produtos de hidratação distribuídos no espaço. A partir dessa estrutura, podem ser calculadas propriedades mecânicas e físico-químicas do sistema.

3. METODOLOGIA

O presente estudo foi conduzido por meio de simulações computacionais utilizando o modelo tridimensional Hymostruc, com o objetivo de avaliar a evolução do grau de hidratação, da porosidade da pasta e do módulo de elasticidade da pasta e do concreto ao longo de 1000 horas de hidratação. A modelagem considerou a representação esférica das partículas de cimento e a evolução da microestrutura com base na cinética de penetração da frente de hidratação, conforme as equações definidas pelo próprio modelo.

A simulação de referência considerou os seguintes parâmetros fixos: temperatura inicial da mistura de 20 °C, consumo de cimento de 350 kg/m³, teor volumétrico de agregados igual a 0,77, densidade de agregados de 2650 kg/m³ e finura do cimento (Blaine) de 400 m²/kg. A partir desse cenário base, foram realizados estudos paramétricos variando um destes parâmetros de dosagem por vez, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Simulações realizadas no software Hymostruc

Cenário avaliado	Valores simulados	Parâmetros mantidos constantes
1. Relação água/cimento	0,25 0,35 0,45	Blaine: 350 m²/kg Agregado: 0,77 Densidade: 2650 kg/m³ Consumo de cimento: 300 kg/m³
2. Finura Blaine do cimento (m²/kg)	350 400 450	Relação a/c: 0,45 Agregado: 0,77 Densidade: 2650 kg/m³ Consumo de cimento: 300 kg/m³
3. Teor de agregados na mistura	0,77 0,69 0,62	Relação a/c: 0,45 Blaine: 350 m²/kg Densidade: 2650 kg/m³
4. Densidade dos agregados (kg/m³)	1500 2650 4000	Relação a/c: 0,45 Blaine: 350 m²/kg Agregado: 0,77; Consumo de cimento: 300 kg/m³

As microestruturas tridimensionais foram geradas com base no empacotamento aleatório de partículas de cimento, considerando a distribuição granulométrica compatível com a finura especificada. A evolução da hidratação foi modelada com base na expansão radial das camadas de produtos ao redor das partículas, incorporando os efeitos da disponibilidade de água, morfologia dos produtos e sobreposição de camadas entre partículas vizinhas.

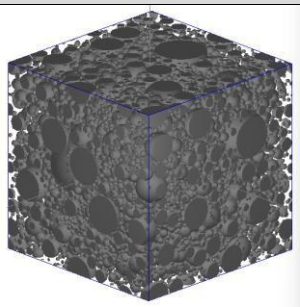
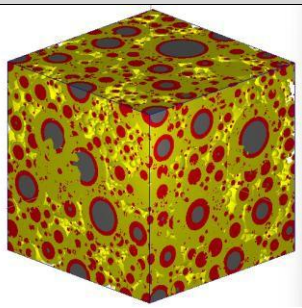
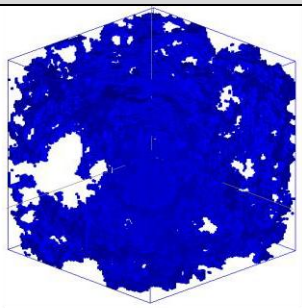
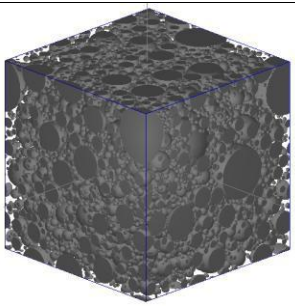
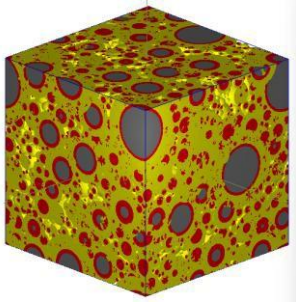
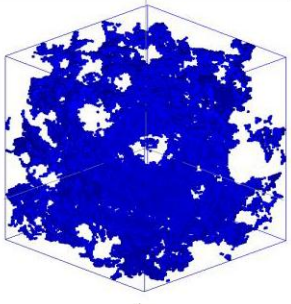
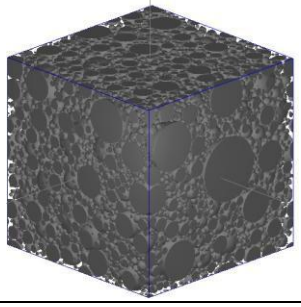
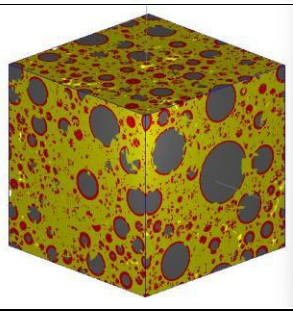
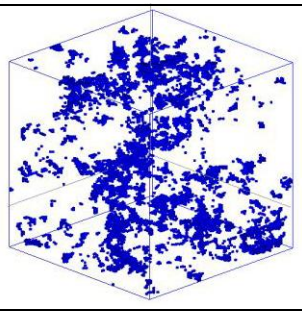
O Hymostruc permite derivar diversas propriedades a partir da simulação da microestrutura. Ao final de cada simulação, foram extraídos os seguintes parâmetros [7,12,13] para análise comparativa:

- Grau de hidratação (α): proporção de cimento hidratado em relação à massa inicial, utilizado como indicador do avanço da reação ao longo do tempo.
- Volume de poros (cm³/cm³ de pasta): estimado com base na fração de volume que não foi preenchida por produtos de hidratação. A porosidade capilar remanescente tem impacto direto na durabilidade e na permeabilidade do concreto.
- Módulo de elasticidade da pasta e do concreto: calculado por métodos de homogeneização, como o modelo de Reuss-Voigt-Hill, que combina as propriedades das fases sólidas e da fase porosa para estimar a rigidez global.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As simulações realizadas com o modelo Hymostruc permitiram avaliar, ao longo de 1000 horas de hidratação, os efeitos de quatro parâmetros fundamentais de dosagem sobre as propriedades microestruturais e mecânicas de concretos: relação água/cimento, finura do cimento (Blaine), teor volumétrico de agregados e densidade dos agregados. A visualização 3D das partículas anidras de cimento, das camadas internas e externas gos grãos de cimento hidratado e a porosidade da pasta podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Visualização 3D das microestruturas da pasta dos concretos

Relação água/cimento	Partículas	Pasta	Porosidade
0,45			
0,35			
0,25			

A variável que apresentou maior impacto sobre todas as propriedades analisadas foi a relação água/cimento (Figura 2). O aumento de a/c de 0,25 para 0,45 provocou um aumento expressivo de 75,90% no volume de poros da pasta e uma redução de 19,23% no módulo de elasticidade da pasta. Esse comportamento evidencia o clássico dilema da dosagem: maiores relações a/c favorecem a hidratação inicial - com aumento de 12,97% no grau de hidratação - mas ao custo de uma microestrutura final menos densa e mais porosa, o que compromete o desempenho mecânico e a durabilidade. No nível do compósito, o módulo de elasticidade do concreto apresentou queda de 6,25%, revelando que as alterações na pasta afetam o desempenho global do concreto. O impacto da relação água/cimento na porosidade capilar é conhecido e foi comprovada experimentalmente via tomografia (micro-CT) em comparação com modelagens também realizadas no Hymostruc, em que os autores [14] observaram que a variação do a/c entre 0,40 e 0,50 gerou um aumento de cerca de 42% na porosidade capilar. Esta condição afeta, portanto, diretamente a microestrutura e zona de transição [15].

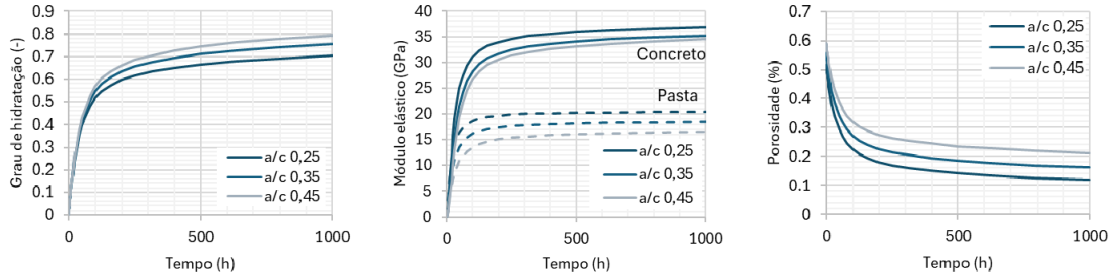


Figura 2 – Efeito da relação água/cimento

O aumento da finura de 350 para 450 m²/kg provocou redução da porosidade da pasta em 14,43% e um incremento de 5,31% no módulo de elasticidade da pasta (Figura 3). Isso reflete o maior número de partículas finas disponíveis, o que resulta em maior área superficial reativa e melhor empacotamento da matriz. O efeito no concreto, contudo, foi mais modesto, com um ganho de apenas 2,89% no módulo de elasticidade. Isso indica que o benefício da finura tende a se concentrar na pasta, sem grandes repercussões estruturais no compósito. Ainda assim, cimentos mais finos favorecem o início rápido da hidratação e melhor desempenho nas idades iniciais, sendo vantajosos em aplicações que exigem resistência precoce. O maior impacto da finura do cimento descrito na literatura [16] é a redução do tempo de hidratação nas idades iniciais sem impacto significativo na microestrutura do cimento em idades avançadas. Contudo, os resultados obtidos no Hymostruc não indicam uma aceleração significativa no grau de hidratação.

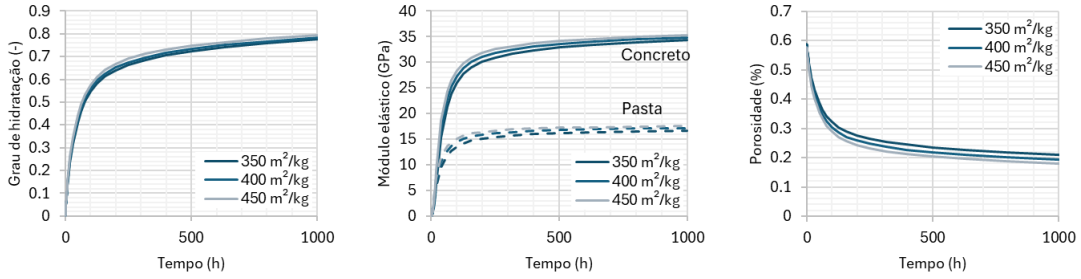


Figura 3 – Efeito da finura do cimento

Ao reduzir o teor de agregados de 0,77 para 0,62 (Figura 4), foi observado uma redução de 18,92% no módulo de elasticidade do concreto, apesar do efeito nulo sobre o grau de hidratação e a porosidade da pasta. Isso indica que o reforço mecânico promovido pelos agregados é dominante neste caso, agindo como inclusões rígidas que aumentam a rigidez global do compósito. Esse resultado reforça a importância de um bom balanceamento entre pasta e agregado: maior teor de agregados contribui positivamente para a rigidez mecânica, desde que haja pasta suficiente para envolvimento e aderência destes agregados. Estudos [17] corroboram que um maior volume de agregados pode aumentar a rigidez de concretos, especialmente quando utilizadas técnicas de empacotamento de partículas.

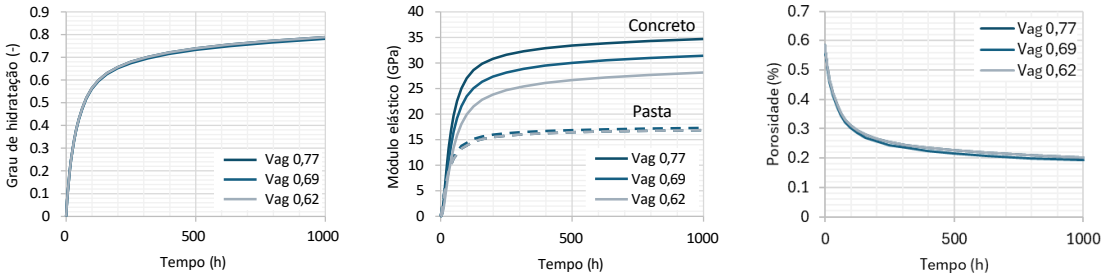


Figura 4 – Efeito do volume de agregado

A densidade dos agregados foi a variável com menor influência estrutural nas simulações (Figura 5). Variações entre 1500 e 4000 kg/m³ resultaram em redução de 1,13% sobre o grau de hidratação e r4edução de 5,89% na porosidade, e apenas 0,47% de aumento no módulo de elasticidade do concreto. Embora agregados mais densos contribuam para o peso específico do material e possam influenciar a inércia térmica e o desempenho acústico, do ponto de vista mecânico, o ganho de rigidez não foi proporcional. Isso se justifica, pois a densidade por si só não implica em maior módulo de elasticidade: agregados com densidade elevada, mas propriedades elásticas semelhantes (módulo elástico), não alteram expressivamente a rigidez do compósito. Contudo, estudos indicam que agregados leves tendem a reduzir a capacidade portante e rigidez do concreto [18], enquanto agregados pesados geram o comportamento inverso [19] devido ao módulo elástico do agregado, e não sua densidade– ainda que estes parâmetros estejam relacionados.

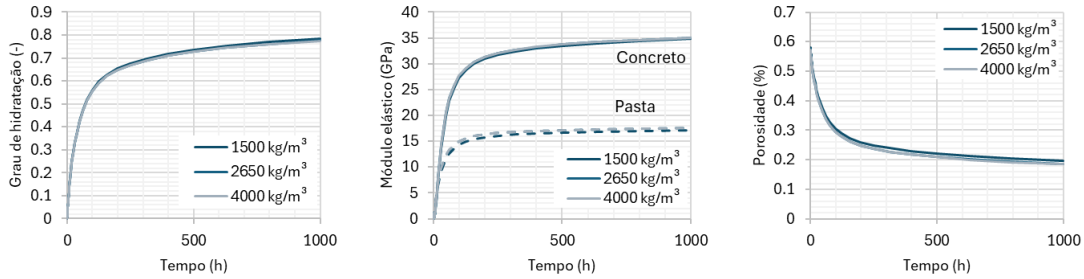


Figura 5 – Efeito da densidade do agregado

Na Tabela 3 são apresentadas as principais variações observadas nas simulações. Os resultados obtidos por meio do modelo Hymostruc evidenciam a sensibilidade do concreto às variáveis de dosagem, especialmente no que diz respeito à relação água/cimento, que afeta diretamente a hidratação, a densidade da microestrutura e, por consequência, a rigidez e a durabilidade do material. A finura do cimento exerce influência mais sutil, mas relevante na formação inicial da microestrutura. Já o teor de agregados mostrou-se eficaz como parâmetro de ajuste para ganhos estruturais, enquanto a densidade dos agregados apresentou impacto marginal nas condições testadas.

Tabela 3 – Variações observadas nas propriedades

Variável	Intervalo	Grau de Hidratação (pasta, -)	Módulo de Elasticidade (pasta, GPa)	Módulo de Elasticidade (concreto, GPa)	Volume de Poros (cm³/cm³)
Relação a/c (-)	0,25 – 0,45	+12,97%	-19,23%	-6,25%	+75,90%
Finura (m²/kg)	350 – 400	+2,47%	+5,31%	+2,89%	-14,43%
Agregados (-)	0,77 – 0,62	0,00%	0,00%	-18,92%	0,00%
Densidade (kg/m³)	1500 – 4000	-1,13%	+2,72%	+0,47%	-5,89%

Essas observações corroboram tendências experimentais relatadas na literatura, reforçando o potencial do modelo Hymostruc para análises paramétricas e otimização de composições de concretos com base em critérios de desempenho.

4. CONCLUSÕES

Este estudo utilizou o modelo tridimensional Hymostruc para simular a hidratação e evolução microestrutural de concretos ao longo de 1000 horas, com o objetivo de avaliar o impacto de quatro variáveis de dosagem - relação água/cimento,

finura do cimento (Blaine), teor e densidade dos agregados - sobre propriedades fundamentais como grau de hidratação, porosidade da pasta e módulo de elasticidade da pasta e do concreto. Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- A relação água/cimento foi o parâmetro com maior influência sobre todas as propriedades analisadas. O aumento da a/c resultou em maior grau de hidratação, mas também em expressivo crescimento da porosidade e perda de rigidez da pasta e do compósito. Esse comportamento reforça a importância de balancear disponibilidade de água e densidade microestrutural para otimização do desempenho.
- A finura do cimento, medida pela finura Blaine, apresentou efeito moderado. Cimentos mais finos favoreceram a hidratação inicial e reduziram a porosidade da pasta, refletindo positivamente no módulo da matriz, ainda que com impacto limitado no concreto.
- O teor de agregados influenciou diretamente a rigidez do concreto, com ganhos relevantes, mesmo sem alterar a hidratação ou porosidade da pasta. Esse efeito decorre da ação mecânica dos agregados como fase rígida no compósito.
- A densidade dos agregados, por outro lado, demonstrou impacto marginal sobre as propriedades estruturais simuladas. A variação de densidade, isoladamente, não resultou em mudanças de rigidez ou hidratação, o que indica que esse parâmetro é menos crítico do ponto de vista mecânico, embora possa ser relevante para aspectos como peso próprio ou desempenho térmico.

De forma geral, os resultados demonstram que a simulação numérica via Hymostruc é uma ferramenta robusta para estudos paramétricos de composições de concreto, permitindo prever com realismo os efeitos de variáveis físicas sobre a microestrutura e o desempenho mecânico do material. Os resultados obtidos são coerentes com a literatura existente sobre o tema. A abordagem adotada pode ser aplicada em estudos futuros com adições minerais, cimentos alternativos ou condições ambientais específicas, promovendo o desenvolvimento de concretos mais otimizados e sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

A Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UTFPR pela viabilização do treinamento no software Hymostruc junto a RILEM e TU Darmstadt; ao Centro de Estudos de Engenharia Civil (CESEC) da UFPR pelo apoio a pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] N. Ukrainczyk, E.A.B. Koenders, Representative elementary volumes for 3D modeling of mass transport in cementitious materials, Model Simul Mat Sci Eng 22 (2014) 035001. https://doi.org/10.1088/0965-0393/22/3/035001.

[2] E.J. Garboczi, D.P. Bentz, Modelling of the microstructure and transport properties of concrete, Constr Build Mater 10 (1996) 293–300. https://doi.org/10.1016/0950-0618(94)00019-0.

[3] P. Stroeven, H. Chen, M. Stroeven, On Connectivity of Porosity in Model Cement Paste, Brittle Matrix Composites 8 (2006) 25–34. https://doi.org/10.1533/9780857093080.25.

[4] J.J. Thomas, J.J. Biernacki, J.W. Bullard, S. Bishnoi, J.S. Dolado, G.W. Scherer, A. Luttge, Modeling and simulation of cement hydration kinetics and microstructure development, Cem Concr Res 41 (2011) 1257–1278. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2010.10.004.

[5] K. VAN BREUGEL, Simulation of hydration and formation of structure in hardening cement-based materials, PhD Thesis, Delft University of Technology, 1997. https://repository.tudelft.nl/record/uuid:68a3331c-5c83-4009-ac29-aa87cbc4afb8 (accessed July 2, 2025).

[6] M. Ângelo, D. Azenha, Comportamento do betão nas primeiras idades : fenomenologia e análise termo-mecânica, Tese de mestrado, Universidade do Porto, 2004. https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11977 (accessed July 2, 2025).

[7] A.M. Neville, Properties of Concrete, 5th ed., Pearson, England, 2011.

[8] C. Li, J. Li, Q. Ren, Q. Zheng, Z. Jiang, Durability of concrete coupled with life cycle assessment: Review and perspective, Cem Concr Compos 139 (2023) 105041. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2023.105041.

[9] G.B. Wally, F.C. Magalhães, M. de V. Real, L.C.P. da Silva Filho, On factors affecting probabilistic service life modeling of concrete structures under marine environments, Revista IBRACON de Estruturas e Materiais 15 (2022). https://doi.org/10.1590/s1983-41952022000600005.

[10] E.A.B. Koenders, Simulation of Volume Changes in Hardening Cement-Based Materials, Doctoral Thesis, TU Delft, 1997. https://repository.tudelft.nl/record/uuid:1dbcb7fb-3f8f-466b-8517-b2235ad4912f (accessed July 2, 2025).

[11] P. Gao, G. Ye, J. Wei, Q. Yu, Extension of the Hymostruc3D model for simulation of hydration and microstructure development of blended cements, in: Heron, 2019: pp. 125–148. https://repository.tudelft.nl/record/uuid:7355227e-021b-4356-8a9c-ccacf2e44b28 (accessed July 2, 2025).
[12] H.F.W. Taylor, Cement chemistry, 2nd ed., Thomas Telford, London, 1997.
[13] P.K. Mehta, P.J.M. Monteiro, Concrete - Microstructure, Properties, and Materials, 4th ed., McGraw-Hill Education, Berkeley, 2013.
[14] S. Zheng, T. Liu, G. Jiang, C. Fang, B. Qu, P. Gao, L. Li, Y. Feng, Effects of Water-to-Cement Ratio on Pore Structure Evolution and Strength Development of Cement Slurry Based on HYMOSTRUC3D and Micro-CT, Applied Sciences 2021, Vol. 11, Page 3063 11 (2021) 3063. https://doi.org/10.3390/APP11073063.
[15] T. Korouzhdeh, H. Eskandari-Naddaf, R. Kazemi, The ITZ microstructure, thickness, porosity and its relation with compressive and flexural strength of cement mortar; influence of cement fineness and water/cement ratio, Frontiers of Structural and Civil Engineering 16 (2022) 191–201. https://doi.org/10.1007/S11709-021-0792-Y/METRICS.
[16] M. Zajac, G. Bolte, J. Skocek, M. Ben Haha, Modelling the effect of the cement components fineness on performance and environmental impact of composite cements, Constr Build Mater 276 (2021) 122108. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.122108.
[17] A.J.; K.; Tamimi, S.W.; Tabsh, M.M.; El-Emam, A.; Ibrahim, M. Ali, H. El-Hassan, J. Khatib, W.J. Abushama, A.K. Tamimi, S.W. Tabsh, M.M. El-Emam, A. Ibrahim, T. Kh, Influence of Optimum Particle Packing on the Macro and Micro Properties of Sustainable Concrete, Sustainability 2023, Vol. 15, Page 14331 15 (2023) 14331. https://doi.org/10.3390/SU151914331.
[18] A.A. Abadel, Physical, Mechanical, and Microstructure Characteristics of Ultra-High-Performance Concrete Containing Lightweight Aggregates, Materials 2023, Vol. 16, Page 4883 16 (2023) 4883. https://doi.org/10.3390/MA16134883.
[19] M. Dąbrowski, M.A. Glinicki, K. Dziedzic, D. Jóźwiak-Niedźwiedzka, S. Sikorin, V.S. Fateev, E.I. Povalansky, Early Age Hardening of Concrete with Heavy Aggregate in Gamma Radiation Source – Impact on the Modulus of Elasticity and Microstructural Features, Journal of Advanced Concrete Technology 19 (2021) 555–570. https://doi.org/10.3151/JACT.19.555.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-4

ÁREA TEMÁTICA: Materiais e Componentes

REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DA INTERAÇÃO ENTRE SUPERPLASTIFICANTES À BASE DE PCE E CIMENTOS COMPOSTOS COM ARGILA CALCINADA

CRUZ, Suylan Matias da[1]; ABREU, Tiago Martins de[2]; LIMA, Ítalo Ribeiro Gonçalves[3]; TOBÓN, Jorge Iván[4]; RÊGO, João Henrique da Silva[5];

[1] Universidade de Brasília (UnB), Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – PECC, Brasília-DF, Brasil, matias.civileng@gmail.com, 0000-0002-6700-3869
[2] Universidade de Brasília (UnB), Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – PECC, Brasília-DF, Brasil, tiago.thomix@gmail.com, 0009-0009-9212-6455
[2] Universidade de Brasília (UnB), Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – PECC, Brasília-DF, Brasil, italo.lima@supermix.com.br, 0000-0001-5236-6790
[4] Universidad Nacional de Colombia, Grupo del Cemento y Materiales de Construcción CEMATCO, Departamento de Materiales y Minerales, Medellín, Colombia, jitobon@unal.edu.co, 0000-0002-1451-1309
[5] Universidade de Brasília (UnB), Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – PECC Brasília-DF, Brasil, jhenriquerego@unb.br, 0000-0001-9060-2010

RESUMO

A redução do impacto ambiental da indústria do cimento tem incentivado a substituição parcial do clínquer por materiais cimentícios suplementares (MCS), como a argila calcinada, que apresenta ampla disponibilidade e menor emissão de CO_2. No entanto, seu uso é limitado devido ao alto consumo de água, exigindo aditivos superplastificantes mais eficazes. Este artigo tem como objetivo geral analisar a produção científica sobre a interação entre superplastificantes à base de éter policarboxilato (PCE) e cimentos com argila calcinada. Os objetivos específicos incluem identificar autores, países, periódicos e principais abordagens relacionadas ao tema. A metodologia utilizada foi o Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), com análise de 266 publicações indexadas na base Scopus entre 2014 e 2025. Os resultados mostram crescimento significativo das publicações nos últimos três anos, com destaque para a China, Alemanha, Índia, Estados Unidos e Brasil. As abordagens mais frequentes envolvem a capacidade de dispersão dos PCEs, sua tolerância a diferentes argilominerais e os efeitos de sua adsorção em argilas calcinadas. Conclui-se que o tema vem ganhando relevância e que há necessidade de aprofundar estudos sobre a estrutura dos aditivos e sua compatibilidade com diferentes tipos de argilas, visando ao desenvolvimento de concretos mais eficientes e sustentáveis.

Palavras-chave: Superplastificante, pce, argila calcinada, cimento composto.

ABSTRACT

The reduction of the environmental impact of the cement industry has encouraged the partial replacement of clinker by supplementary cementitious materials (SCM), such as calcined clay, which is widely available and has lower CO_2 emissions. However, its use is limited due to its high-water consumption, requiring more effective superplasticizer additives. This article aims to analyze the scientific production on the interaction between polycarboxylate ether (PCE)-based superplasticizers and calcined clay cements. Specific objectives include identifying authors, countries, journals, and main approaches related to the topic. The methodology used was Systematic Literature Mapping (SLM), with analysis of 266 publications indexed in the Scopus database between 2014 and 2025. The results show significant growth in publications in the last three years, with emphasis on China, Germany, India, United States and Brazil. The most frequent approaches involve the dispersion capacity of PCEs, their tolerance to different clay minerals, and the effects of their adsorption on calcined clays. It is concluded that the topic has been gaining relevance and that there is a need to deepen studies on the structure of additives and their compatibility with different types of clays, aiming at the development of more efficient and sustainable concretes.

Keywords: Superplasticizer, pce, calcined clay, blended cement.

1. INTRODUÇÃO

A emissão de CO2 é inerente do processo de produção do cimento, principal componente do concreto – material mais consumido do mundo depois da água – fazendo com que seja um importante emissor de gases de efeito estufa [1, 2]. Por isso, a busca de ligantes alternativos, economicamente viáveis, com capacidade de reduzir efetivamente as emissões de CO_2 e a demanda de energia, são essenciais [3].

Com o intuito de reduzir os impactos ambientais da produção do cimento e muitas vezes melhorando algumas de suas propriedades ou otimizando a produção, tornou-se crescente a utilização de Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) como substitutos das matérias-primas tradicionais [4]. As argilas calcinadas se tornaram atraentes como MCS, pois, liberam significativamente menos CO_2 durante sua calcinação em comparação ao clínquer e, não requerem a descarbonatação do $CaCO_3$, além de as argilas naturais serem encontradas em abundância global [5].

As argilas são minerais formados pela alteração de silicatos presentes nas rochas, caracterizados por suas estruturas compostas por folhas tetraédricas e octaédricas. Cada tetraedro contém um átomo central coordenado com quatro átomos de oxigênio, e os anéis de tetraedros são interligados por arestas compartilhadas, formando uma rede hexagonal bidimensional. Os octaedros são posicionados em faces triangulares e conectados por arestas compartilhadas para criar uma treliça com simetria hexagonal, conhecida como folha octaédrica [6]. Com base na organização dessas camadas, as argilas são classificadas em várias espécies mineralógicas, sendo as mais comuns caulinita, ilita e esmectita (montmorilonita) [7].

As argilas, devido as suas propriedades minerais específicas (estrutura em camadas e capacidade de inchamento), podem aumentar a dosagem dos aditivos à base de éter policarboxilato (PCEs) pelo consumo do aditivo por intercalação entre suas camadas [8]. Dessa forma, é importante a investigação mais profunda da interação entre as argilas e os aditivos de PCE para avaliar a influência da estrutura desses aditivos na dispersão de cimentos compostos com argila calcinada.

Os policarboxilatos utilizam dois componentes principais: um grupo carboxilato aniônico que se adsorve na superfície do cimento, promovendo dispersão, e uma cadeia lateral composta por óxido de polietileno (EO) ou misturas de polietileno/óxido de polipropileno (EO/PO), que amplia o impedimento estérico. Isso aumenta a dispersibilidade dos PCEs na mistura com cimento, resultando em significativa redução de água. Devido à diversidade de parâmetros estruturais ajustáveis das moléculas de PCE, esses polímeros podem ser facilmente adaptados para uma variedade de aplicações. Isso inclui proporcionar retenção de fluidez, alta velocidade de fluxo e eficácia em proporções água-cimento extremamente baixas, resultando em uma ampla gama de produtos de PCE, com características distintas, disponíveis no mercado [9].

Esse artigo apresenta uma revisão bibliométrica sobre a interação entre os aditivos superplastificantes à base de PCE e cimentos compostos com argila calcinada, apresentando uma análise da produção científica sobre a interação entre aditivos superplastificantes e cimentos compostos com argila calcinada no período entre 2014 e 2025.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa foca em uma revisão bibliométrica sobre o tema proposto, utilizando o método de Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), descrito por Marsílio *et al*. [10] como uma técnica que visa quantificar a estrutura intelectual de um campo de estudo por meio de análises matemáticas e estatísticas dos padrões presentes nas publicações. O MSL foi selecionado por sua clareza e pela variedade de análises que permite realizar.

Dado que a interação entre os aditivos superplastificantes à base de PCE e as argilas utilizadas como Material Cimentício Suplementar (MCS) tem despertado crescente interesse científico em diversos países, a aplicação MSL se justifica como uma forma de compreender a produção científica na área. No entanto, para que o método seja eficaz, é crucial que seus procedimentos sejam conduzidos de forma metódica. A Figura 1 ilustra a sequência de etapas adotadas, começando pela escolha da base de dados para a busca de artigos científicos, seguida pela definição dos termos de busca, estabelecimento das condições de contorno, e finalmente, definição dos critérios de seleção.

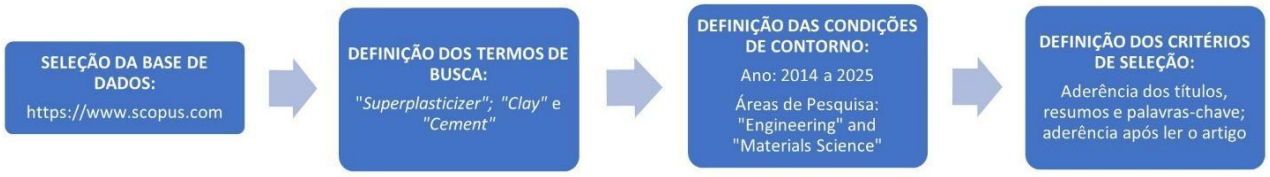


Figura 1 - Procedimentos Sistemáticos de Análise dos Trabalhos Científicos.

A base de dados escolhida foi a *Scopus*, considerada uma das mais relevantes em razão da quantidade de estudos indexados. Chadegani *et al.* [11] compararam as características quantitativas e qualitativas das bases *Scopus* e *Web of Science*, concluindo que a Scopus abrange um maior número de periódicos científicos e possui uma quantidade superior de artigos recentes. É importante mencionar que a busca realizada neste estudo incluiu apenas trabalhos de publicação até 12 de abril de 2025.

3. RESULTADOS

A compilação dos dados bibliométricos resultou em uma amostra de 266 trabalhos provenientes da pesquisa dos termos "*Superplasticizer*", "*Clay*" e "*Cement*", limitados aos resultados em pesquisas que continham os termos de busca em títulos, resumos e palavras-chave, abrangendo as áreas do conhecimento "*Engineering*" e "*Materials Science*", com limitação de intervalo temporal de 2014 a 2025.

3.1 Evolução da produção no meio científico

A Figura 2 apresenta a evolução do número de produções científicas publicadas por ano entre os 266 resultados da pesquisa. É possível perceber que, apesar da oscilação, o número de publicações tem aumentado. Vale ressaltar que houve um grande aumento em 2024, que teve o maior número de publicações com 47 artigos.

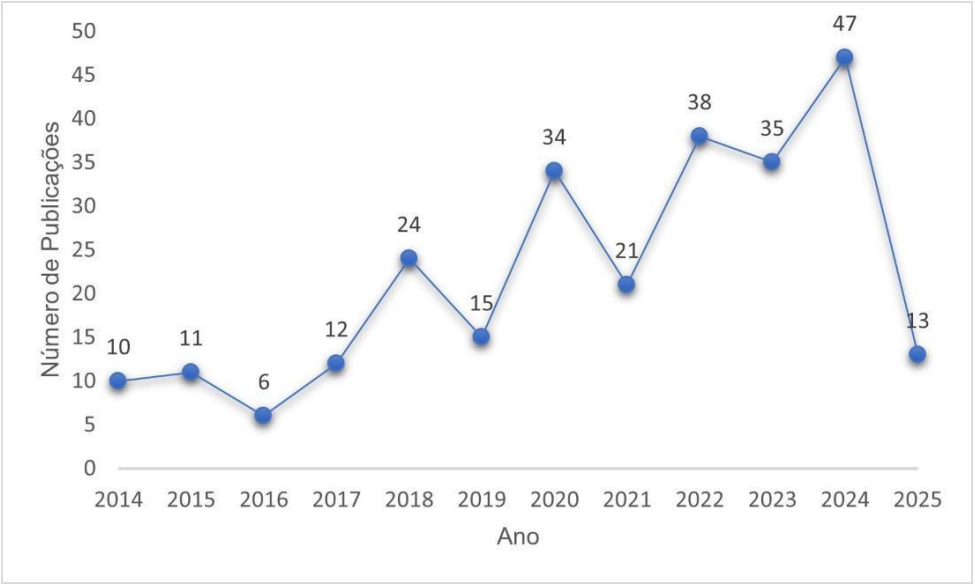


Figura 2 - Número de Produções Científicas Por Ano.

Considerando que o ano de 2025 vigora a partir da data em que a busca foi realizada, não é possível completar o quantitativo para este ano. No entanto, conforme o gráfico da Figura 2, nota-se que a produção científica até abril, em que a busca foi realizada, já é superior aos anos de 2014 a 2017.

3.2 Tipos de documentos e principais fontes

Com base nas informações obtidas no MSL, foi realizada uma análise sobre os tipos de documentos das produções científicas, resultando na identificação de artigos publicados em periódicos, anais de congressos e livros. A Figura 3 contém as quantidades de publicações para cada local, entre os artigos utilizados para a análise da pesquisa.

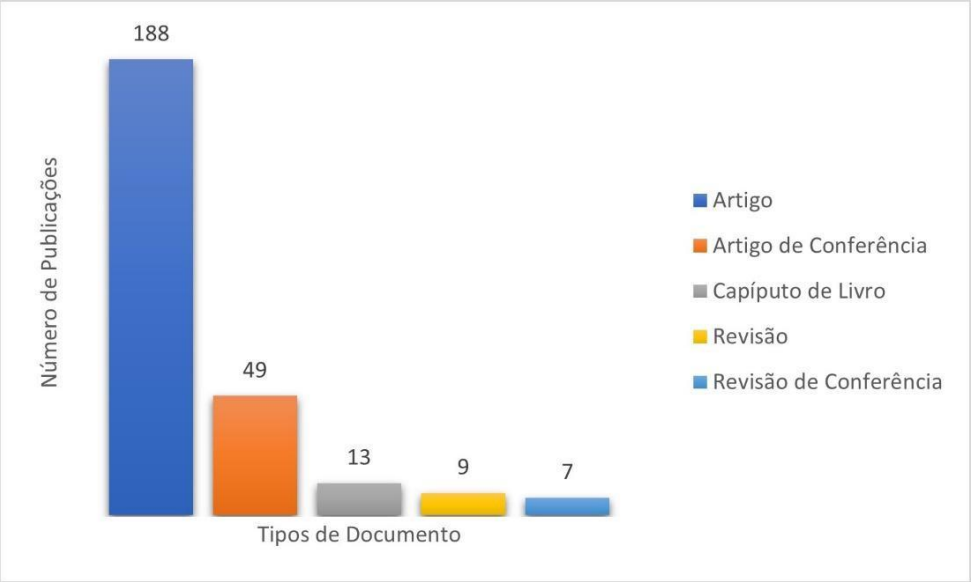


Figura 3 – Tipo de Documento Com Suas Respectivas Quantidades.

Dos 266 estudos resultantes da busca sistematizada, 188 eram artigos publicados em periódicos internacionais, totalizando 71% da produção científica total sobre o tema. Assim, a Figura 4 apresenta os 7 principais títulos internacionais nos quais foram publicados pelo menos 8 artigos científicos.

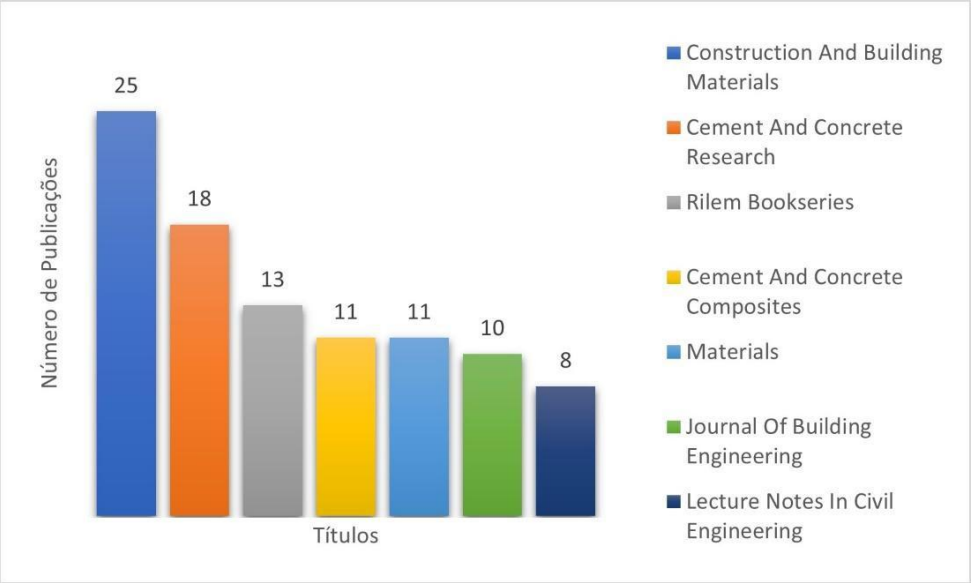


Figura 4 - Os 7 Principais Títulos Nos Quais os Estudos Filtrados Foram Publicados.

Tendo em vista a abrangência de eventos e fontes, destacam-se as revistas científicas *Construction and Building Materials* com 25 publicações, *Cement and Concrete Research* com 18 publicações e a *Rilem Bookseries* com 13 publicações, que abordam a temática exposta. Embora sejam as revistas que mais publicam sobre o tema, as mesmas não estão entre as

principais quanto ao fator de impacto, demonstrando que apesar de ser um tema relevante, as principais revistas ainda não possuem uma presença marcante sobre este tópico.

3.3 Países e autores que mais publicam

China foi identificada como o país com o maior número de registros sobre o tema pesquisado, com 90 publicações. Além disso, países dos continentes europeu e asiático, como Alemanha e Índia, também demonstraram uma relevância significativa, com 41 e 27 publicações, respectivamente. O Brasil foi listado como o quinto país com maior número de publicações sobre o tema, com 11 publicações. Dessa forma, a Figura 5 apresenta os países com maior número de publicações a respeito do tema.

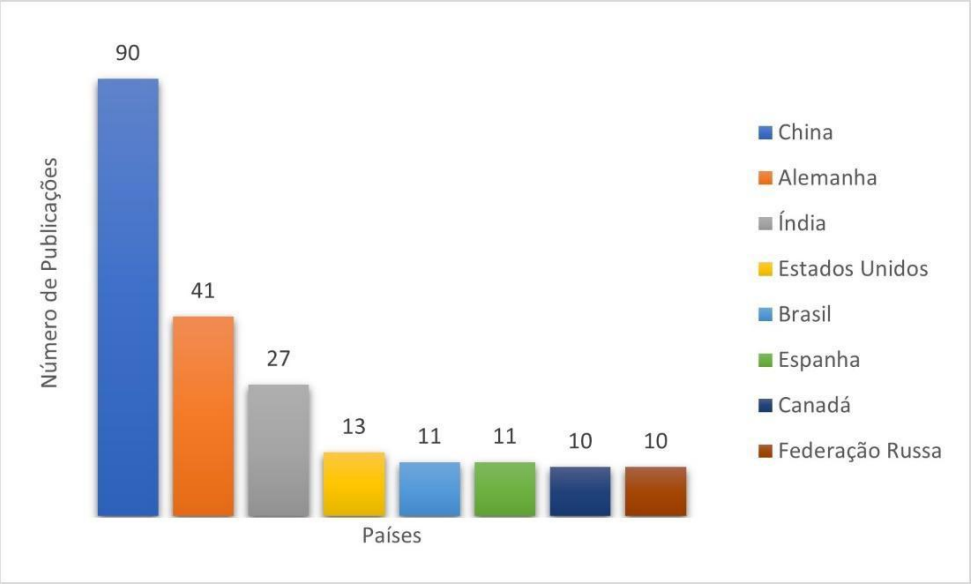


Figura 5 - Países Com Maior Número de Estudos Publicados.

Os autores que mais publicam a respeito do tema são Plank, J., com 20 publicações, Lei, L., com 14 publicações e Thienel, K.C., com um total de 8 publicações, como demonstrado na Figura 6.

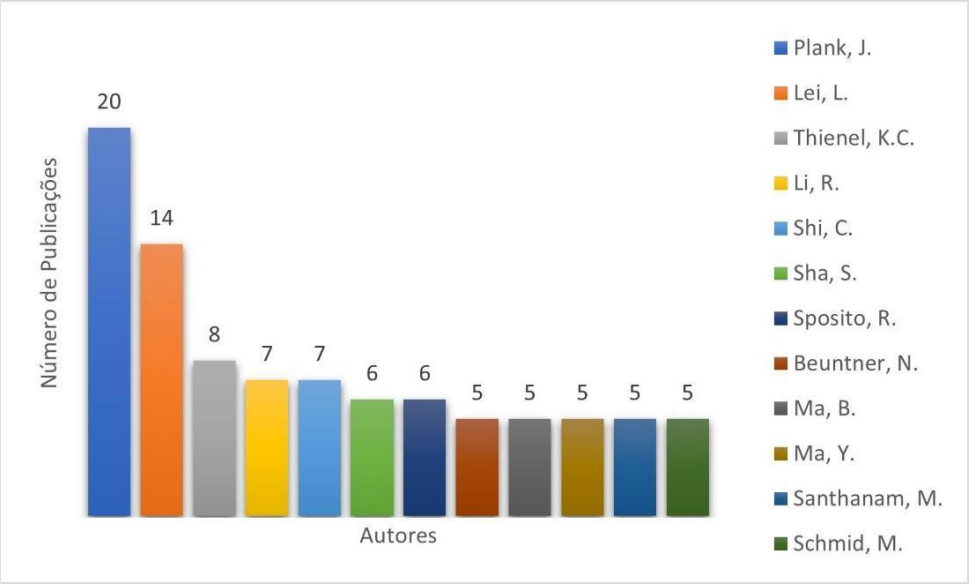


Figura 6 - Autores Com Maior Número de Publicações a Respeito do Tema.

3.4 Análise de redes bibliométricas

A fim de representar os dados visualmente, foi feita a word cloud representada na Figura 7, utilizando a ferramenta online de análise de conteúdo *TagCrowd*. Foram inseridas na ferramenta todas as palavras chave dos 266 documentos encontrados na busca da base Scopus. O *software online* criou um diagrama que representa as cinquenta palavras chave com maior número de frequências, sendo que a escala de tamanho da fonte das palavras exibidas no diagrama é proporcional ao número de citações de cada palavra, permitindo assim a realização de diagnósticos sobre as principais linhas de pesquisa.

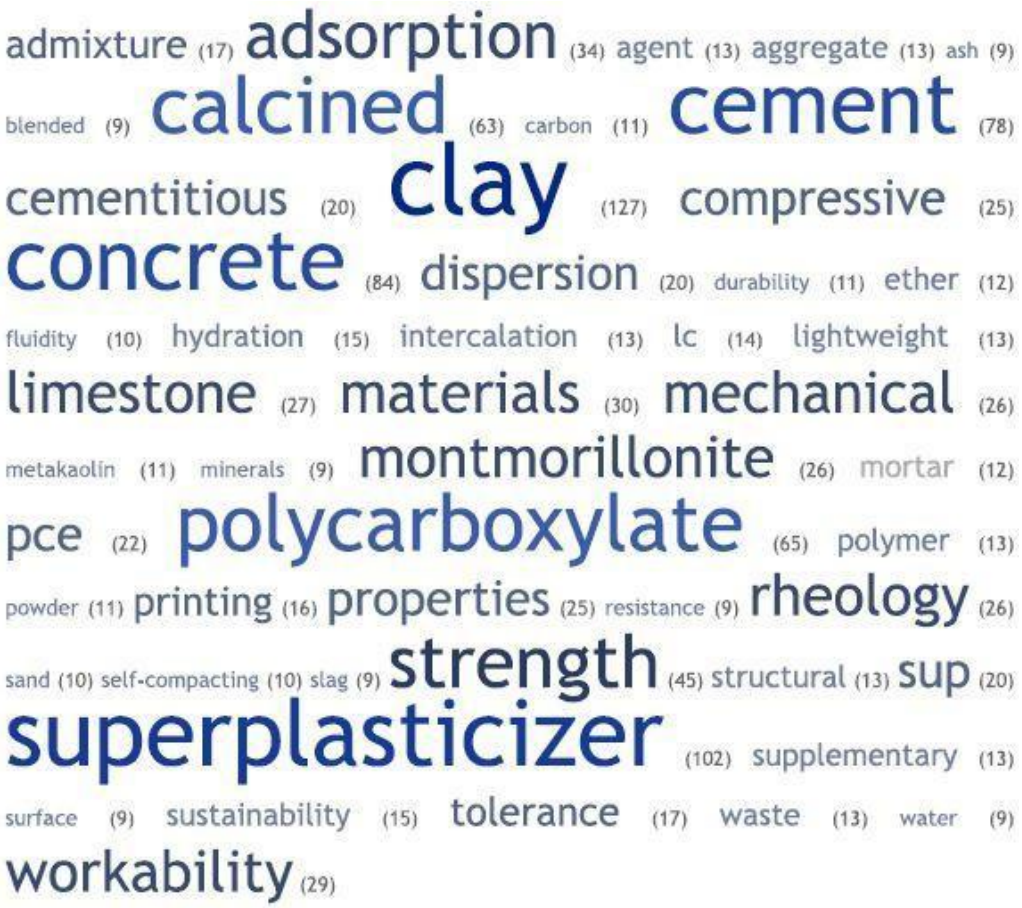


Figura 7 - Mapa de Frequência das Palavras Chaves.

Pode-se notar na Figura 7 as palavras-chave com maior destaque: *"clay", "superplasticizer", "concrete", "cement", "polycarboxylate", "calcined", "strength", "adsorption", "workability*". Ou seja, pesquisas que abordam a efetividade de aditivos superplastificantes de PCE em misturas de cimentos compostos com argila calcinada é uma tendência. Outra tendência seria estudos sobre o impacto de diferentes tipos dos argilominerais em aditivos superplastificantes. Também seria uma tendência estudos voltados a analisar os efeitos da adsorção de aditivos superplastificantes em argilas calcinadas.

Como pode-se perceber, as diversas abordagens sobre a interação entre aditivos superplastificantes de PCE e cimentos compostos com argila calcinada ampliam o conhecimento sobre o tema, assim, conhecer as principais abordagens torna-se uma necessidade. Para isso, foram feitos três mapas de calor referentes a cocitações, citações e acoplamento bibliográfico, utilizando o *software VOSviewer*.

O primeiro (figura 8) representa as cocitações mais frequentes, ou seja, a frequência em que as referências (2 autores) são citadas juntas em documentos posteriores. Quanto mais itens são citados, maior a probabilidade de similaridade em seu conteúdo [12]. Para esta análise, foram considerados os documentos referentes ao tema a partir do ano 2013.

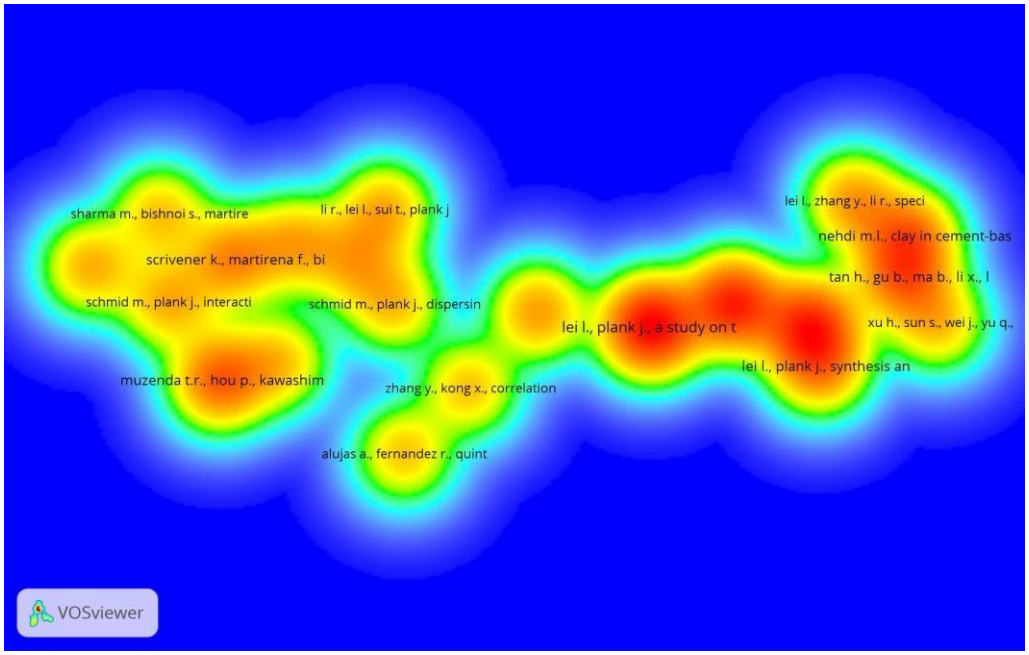


Figura 8 - Mapa de Calor Cocitações.

Na figura 8 pode-se verificar a presença de duas manchas avermelhadas e outras duas alaranjadas, as machas unidas indicam proximidade de temas trabalhados. As manchas com Lei e Plank [13] [14], apresentam um estudo sobre aditivos convencionais que contem óxido de polietileno na cadeia lateral apresentam alta afinidade com as argilas e que a chave para um PCE mais tolerante a argilas é a modificação da cadeia lateral que não deve conter óxido de polietileno, principalmente na presença de montmorilonita. O trabalho de Tan *et al.* [15], estudaram os mecanismos de interação entre argilas montmorilonita e superplastificantes à base de PCE e sugerem a possibilidade de que aqueles sais ou polímeros que podem ser inseridos preferencialmente no espaço intercamada de montmorilonita podem ser utilizados para impedir a intercalação da longa cadeia lateral do PCE e melhorar a tolerância do PCE à argila. Tem-se ainda a mancha de Muzenda *et al.* [16] que fizeram pesquisas relacionadas as propriedades reológicas do cimento LC³ com diferentes teores de Materiais Cimenticios Suplementares.

A seguir, apresenta-se o mapa de calor para análise de citações obtida através da base de dados *Scopus* após submissão no *software VOSviewer* (Figura 9).

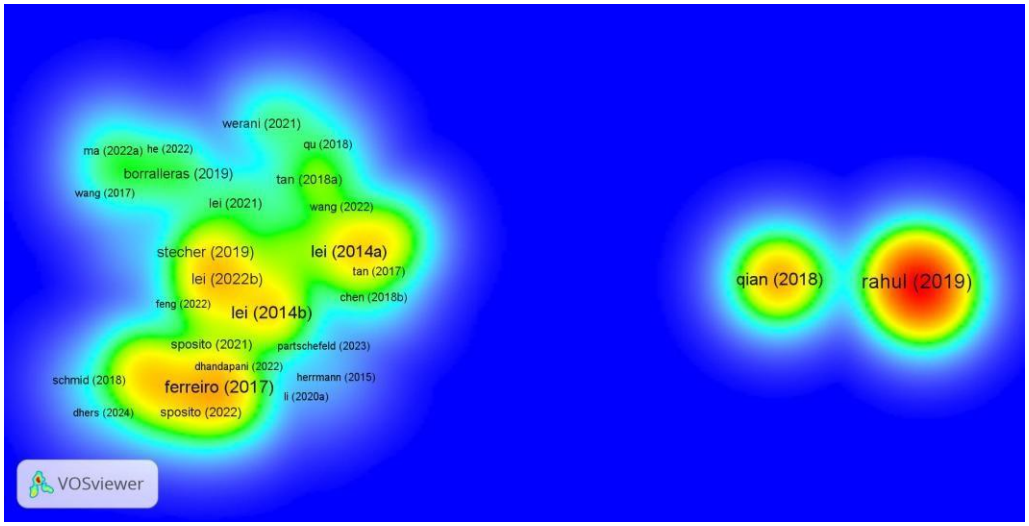


Figura 9 - Mapa de Calor Citações.

Na figura 9, pode-se visualizar que os autores com publicações mais citadas são Rahul *et al.* [17], Qian & De Schutter [18], Lei; Plank [13, 14] e Ferreiro *et al.* [19], sendo representados pela mancha avermelhada e pelas manchas amareladas mais escuras.

O trabalho de Rahul *et al.* [17], diz respeito a projetos de mistura e métodos de testes para concretos utilizados para impressão 3D. As misturas foram avaliadas com base na construtibilidade, extrudabilidade, robustez e testes para construção estrutural. A adição de sílica ativa, um agente modificador de viscosidade (VMA) e nanoargila contribuiu para uma melhor performance da mistura. Qian & De Schutter [18], falam sobre a compatibilidade entre um PCE convencional e a nanoargila, utilizando a medição do estresse de escoamento dinâmico e a tixotropia entre várias adições de PCE e nanoargila para estudar a miscroestrutura da mistura. O trabalho de Lei & Plank [13], tem como principal destaque, comparar o efeito dos três minerais de argila mais frequentes (montmorilonita, caulinita, muscovita) em pastas de cimento misturadas com diferentes tipos superplastificantes de policarboxilato (PCE), com o objetivo de se obter uma explicação para os diferentes comportamento de argilas com PCEs e o trabalho de Lei & Plank [14], demonstra que a modificação da cadeia lateral são a chave para alcançar superplastificantes de PCE tolerantes às argilas. Já Ferreiro *et al.* [19], falam sobre o desempenho de trabalhabilidade e resistência de cimentos misturados com diferentes níveis de substituição, para duas adições de minerais de argila calcinada (tipo 1:1 e 2:1) e misturas com calcário, alertando para a forte influência dos teores de argila calcinada (principalmente do tipo 1:1) na redução da eficiência do aditivo superplastificante.

Por fim, terceiro mapa de calor (Figura 10) é de acoplamento bibliográfico que revela os *fronts* de pesquisa, ou seja, que maneira os estudos mais atuais estão sendo caracterizados. Para esta análise, foram considerados os documentos referentes ao tema a partir do ano 2022.

Por sua vez, o mapa de calor de acoplamento bibliográfico destaca, em vermelho, distintas linhas de estudo das que foram encontradas no mapa de cocitações. Dessa maneira, os autores mais citados a respeito do tema interação entre aditivos superplastificantes de PCE e cimentos compostos com argila calcinada se destacaram entre os demais. Pode-se observar na Figura 10, uma mancha avermelhada mais intensa representada principalmente por Lei *et al.* [20], duas manchas avermelhadas menos intensas com destaque para Sikora *et al.* [21] e alguns focos claros e isolados, que podem representar pesquisas em novas áreas, como Xie *et al.* [22] e He *et al.* [23].

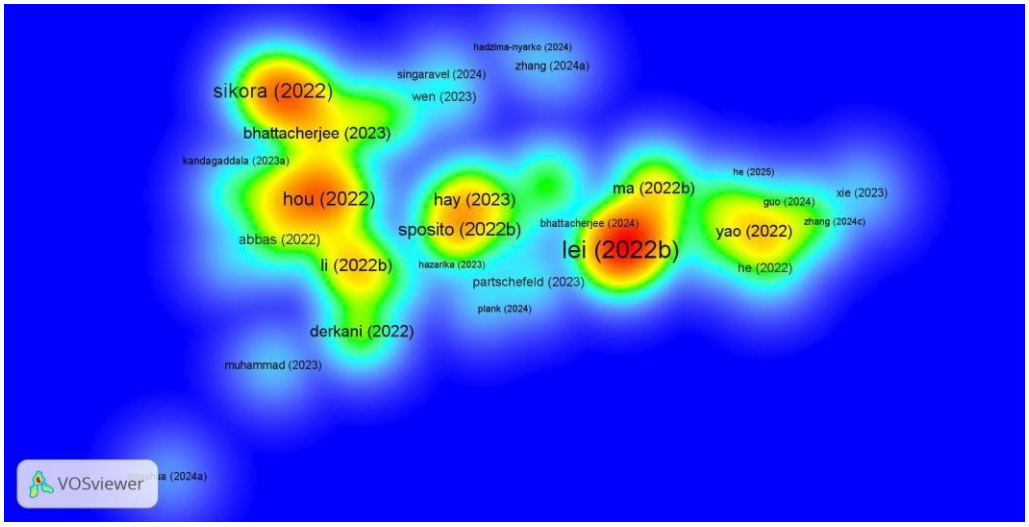


Figura 10 - Mapa de Calor Acoplamento Bibliográfico.

Lei *et al.* [20], foram responsáveis por realizar uma revisão sobre os 40 anos do uso de superplastificantes de PCE, desde o relato da invenção do PCE, os grandes desafios de aplicação, o estado da arte atual de moléculas de PCE especificamente projetadas ou sistemas formulados para aumentar a velocidade de fluxo e uma perspectiva sobre o futuro dos superplastificantes de PCE e novos desenvolvimentos. Sikora *et al.* [21], optou por resumir os desenvolvimentos recentes na aplicação de nano e micropartículas em compósitos cimentícios imprimíveis em 3D e como eles influenciam o desempenho de materiais de construção impressos em 3D. Além da revisão dos materiais à base de cimento e materiais álcali-ativados nanoengenheirados, o trabalho apresentou a comparação entre aditivos nano e microdimensionados e aditivos químicos como VMAs e PCEs. A mancha isolada de Xie *et al.* [22], indica o artigo investigou a introdução de

uma nova água eletrolisada alcalina, em vez de água de amassamento comum, em compósitos de cimento para alcançar alta resistência à adsorção de argila e melhor resistência mecânica dos superplastificantes. Os resultados mostraram que a introdução de água eletrolisada alcalina reduziu efetivamente a adsorção do superplastificante PCE, o que melhorou a trabalhabilidade e a resistência mecânica. Por fim, o trabalho de He *et al.* [23], buscou realizar uma investigação sistemática sobre a interação entre PCEs modificados com β-CD e a argila montmorilonita sódica. Os dados indicaram que a presença da cadeia lateral estendida β-CD no polímero PCE atuou como um grupo com elevado impedimento estérico, o que dificultou a penetração dos PCEs na camada interlamelar da montmorilonita sódica. Isso resultou em uma menor afinidade de adsorção entre os polímeros PCE e a montmorilonita sódica, além de provocar uma redução na expansão da sua estrutura interlamelar.

4. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma revisão bibliométrica da produção científica sobre a interação entre aditivos superplastificantes à base de éter policarboxilato (PCE) e cimentos compostos com argila calcinada, considerando publicações entre 2014 e 2025. A análise demonstrou que o interesse pelo tema tem crescido nos últimos anos, evidenciado pelo aumento do número de publicações, especialmente a partir de 2021. Os dados apontam que as principais abordagens se concentram na eficiência da dispersão dos PCEs em sistemas com argila calcinada, na tolerância dos aditivos a diferentes argilominerais e nos efeitos da adsorção dos superplastificantes nas partículas de argila.

Países como China, Alemanha, Índia, Estados Unidos e Brasil se destacam na produção científica sobre o tema, assim como autores como Lei e Plank. Conclui-se que a compatibilidade entre PCEs e argilas calcinadas é um desafio técnico com impacto direto na trabalhabilidade e desempenho dos concretos, reforçando a importância de estudos contínuos que explorem novas formulações e estratégias para mitigar os efeitos negativos dessa interação. Assim, o avanço na compreensão desse fenômeno contribui diretamente para o desenvolvimento de materiais cimentícios mais sustentáveis e de alto desempenho.

As conclusões mais específicas da análise são que, a utilização de argilas calcinadas como MCS exercem forte influência na redução da eficiência de aditivos superplastificantes à base de PCE, devido a grande afinidade das cadeias laterais de óxido de polietileno desses aditivos com as argilas e que a modificação da cadeia lateral é a chave para PCEs mais tolerantes a argilas calcinadas.

REFERÊNCIAS

[1] GCCA, G. C. A. C. A. **Concrete Future Roadmap**. [S. l.]: GCCA, 2021. Disponível em: https://gccassociation.org/concretefuture/societaldemand- for-cement-and-concrete/.

[2] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2oed. [S. l.]: IBRACON, 2014.

[3] KANDAGADDALA, R. K.; DHANAPAL, S. V.; NANTHAGOPALAN, P**. Rheological characterization of limestone calcined clay cement pastes with various generations of superplasticizers for pumping applications**. Journal of Building Engineering, [s. l.], v. 76, 2023. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85165538949&doi=10.1016%2fj.jobe.2023.107410&partnerID=40&md5=fea44ff6ad7ec5ba17538600db494ba4.

[4] SANTOS, A.S.; AMORIM JR, N. S.; RIBEIRO, D. V. **Materiais Cimentícios Suplementares.** In: Princípios da Ciência dos Materiais Cimentícios: Produção, Reações, Aplicações e Avanços Tecnológicos. Curitiba: APPRIS, 2021. P. 95-130.

[5] LI, R. et al. **Effectiveness of PCE superplasticizers in calcined clay blended cements**. Cement and Concrete Research, [s. l.], v. 141, 2021b. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85098701612&doi=10.1016%2fj.cemconres.2020.106334&partnerID=40&md5=fe5c71581b587943a388412d7033e3b6.

[6] LEI, L. et al. **Interaction between polycarboxylate superplasticizers and non-calcined clays and calcined clays: A review**. Cement and Concrete Research, [s. l.], v. 154, 2022a. Disponível em:

https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85123370442&doi=10.1016%2fj.cemconres.2022.106717&partnerID=40&md5=b26cea5ae56a07aff82f2d242946ac1d.

[7] TEIXEIRA, A. R. **INTERAÇÃO DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES COMERCIAIS COM CIMENTOS POZOLÂNICOS COM ARGILA CALCINADA**. [s. l.], 2023.

[8] AKHLAGHI, O. et al. **Modified poly(carboxylate ether)-based superplasticizer for enhanced flowability of calcined clay-limestone-gypsum blended Portland cement**. Cement and Concrete Research, [s. l.], v. 101, p. 114–122, 2017. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028728751&doi=10.1016%2fj.cemconres.2017.08.028&partnerID=40&md5=3d466630d04b7cd92c2d9f7a977e9a6d.

[9] LEI, L.; PLANK, J. **A concept for a polycarboxylate superplasticizer possessing enhanced clay tolerance**. Cement and Concrete Research, [s. l.], v. 42, n. 10, p. 1299–1306, 2012. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S000888461200172X. Acesso em: 28 out. 2024.

[10] MARSILIO, M.; CAPPELLARO, G.; CUCCURULLO, C. **The Intellectual Structure Of Research Into PPPs: A bibliometric analysis. Public Management Review**, [s. l.], v. 13, n. 6, p. 763–782, 2011. Disponível em: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14719037.2010.539112. Acesso em: 28 out. 2024.

[11] CHADEGANI, A. A. et al. **A Comparison between Two Main Academic Literature Collections: Web of Science and Scopus Databases**. Asian Social Science, [s. l.], v. 9, n. 5, p. p18, 2013. Disponível em: http://www.ccsenet.org/journal/index.php/ass/article/view/26960. Acesso em: 28 out. 2024.

[12] ZUPIC, I.; ČATER, T**. Bibliometric Methods in Management and Organization**. Organizational Research Methods, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1094428114562629. Acesso em: 28 out. 2024.

[13] LEI, L.; PLANK, J. **A study on the impact of different clay minerals on the dispersing force of conventional and modified vinyl ether based polycarboxylate superplasticizers**. Cement and Concrete Research, [s. l.], v. 60, p. 1–10, 2014b. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84897409295&doi=10.1016%2fj.cemconres.2014.02.009&partnerID=40&md5=77f2faab6ea1c22c6375627196c46757.

[14] LEI, L; PLANK, J. **Synthesis and Properties of a Vinyl Ether-Based Polycarboxylate Superplasticizer for Concrete Possessing Clay Tolerance**, Ind. Eng. Chem. Res. 2014a, 53, 3, 1048–1055. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie4035913?utm_source=scopus&getft_integrator=scopus.

[15] TAN, H. *et al.* **Mechanism of intercalation of polycarboxylate superplasticizer into montmorillonite**. Applied Clay Science, [*s. l.*], v. 129, p. 40–46, 2016. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169131716301818. Acesso em: 24 dez. 2024.

[16] MUZENDA, T. R. et al. **The role of limestone and calcined clay on the rheological properties of LC3**. Cement and Concrete Composites, [s. l.], v. 107, p. 103516, 2020. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095894652030007X. Acesso em: 28 out. 2024.

[17] RAHUL, A. V. et al. **3D printable concrete: Mixture design and test methods**. Cement and Concrete Composites, [s. l.], v. 97, p. 13–23, 2019. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85059104330&doi=10.1016%2fj.cemconcomp.2018.12.014&partnerID=40&md5=ea0bc99c1938cbee747d93506a99ffa9.

[18] QIAN, Y.; DE SCHUTTER, G. **Enhancing thixotropy of fresh cement pastes with nanoclay in presence of polycarboxylate ether superplasticizer (PCE)**. Cement and Concrete Research, [s. l.], v. 111, p. 15–22, 2018. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046293938&doi=10.1016%2fj.cemconres.2018.06.013&partnerID=40&md5=2ce005bb4afc190b9d6afee45a150ddc.

[19] FERREIRO, S.; HERFORT, D.; DAMTOFT, J. S. **Effect of raw clay type, fineness, water-to-cement ratio and fly ash addition on workability and strength performance of calcined clay – Limestone Portland cements**. Cement

and Concrete Research, [s. l.], v. 101, p. 1–12, 2017. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028374652&doi=10.1016%2fj.cemconres.2017.08.003&partnerID=40&md5=644b3a02f845d2ef0da8e24e3a11f43e.

[20] LEI, L.; HIRATA, T.; PLANK, J. **40 years of PCE superplasticizers - History, current state-of-the-art and an outlook**. Cement and Concrete Research, [s. l.], v. 157, 2022b. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85129719306&doi=10.1016%2fj.cemconres.2022.106826&partnerID=40&md5=c4488c641f76cce16eb160eab985ce55.

[21] SIKORA, P. et al. **The effects of nano- and micro-sized additives on 3D printable cementitious and alkali-activated composites: a review**. Applied Nanoscience (Switzerland), [s. l.], v. 12, n. 4, p. 805–823, 2022. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85101857846&doi=10.1007%2fs13204-021-01738-2&partnerID=40&md5=97bc428d25cf7bca94a695fbe0d7eb7d.

[22] XIE, Z. *et al.* **Preparation and application of a novel alkaline electrolyzed water for the adsorption resistance of superplasticizer and rapid hydration in cement composites**. Materials Letters, [*s. l.*], v. 331, p. 133470, 2023. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X22018250. Acesso em: 24 dez. 2024.

[23] HE, Y.; CHEN, Y.; JIANG, M. **Effectiveness of β-cyclodextrin modified PCE on clay tolerance in cement paste**. Construction and Building Materials, [*s. l.*], v. 472, p. 140865, 2025. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095006182501013X. Acesso em: 13 abr. 2025.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-14

ÁREA TEMÁTICA: Desempenho

SISTEMA BOX IN BOX APLICADO EM ESTÚDIOS DE GRAVAÇÃO

BRITZKE, Matheus Eduardo Lunardi[1]; HORA, Pedro Lucas Ferraz da[2]; CHAMMA, Willian Douglas Sbitkowski[3]; RIGÃO, Alessandro Onofre[4]

[1] Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, contato.matheuslunardi@gmail.com
[2] Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, pedro.ferraz@acad.ufsm.br
[3] Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, willsbit@gmail.com ORCID 0000-0002-0557-9264
[4] Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, rigaoa@gmail.com, ORCID 0000-0002-8795-9067

RESUMO

A geração de ruído está entre uma das principais reclamações de usuários de edificações. Em determinadas situações, alguns negócios ligados ao setor musical, como estúdios de gravação, são limitados devido à necessidade de elevado isolamento acústico. Dentre as soluções necessárias para adequação destes ambientes estão a escolha correta de materiais acústicos e o isolamento (desacoplamento) do restante da edificação. O desacoplamento de estruturas é fundamental para obter o isolamento acústico desejado em um ambiente. O trabalho objetiva descrever uma alternativa para isolamento acústico destes ambientes, conhecida como *box in box*. Apresenta-se os principais conceitos referentes à acústica e aspectos técnicos relacionados à execução desta solução de isolamento acústico. Conclui-se que a boa qualidade de projeto e execução destes espaços que torne as paredes, pisos e forros independentes da estrutura da edificação necessitam do conhecimento dos materiais que compõem o espaço, geometria, tipos de aberturas, além das frequências envolvidas e nível de isolamento requerido.

Palavras-chave: Acústica; Ruído; Box in box.

ABSTRACT

The noise generation is among the main complaints from building users. In specific cases, some businesses related to musical area, as recording studios, are limited due to need of high acoustic insulation. Among the required solutions to set these places are the correct choice of acoustic materials and the isolation (decoupling) from the rest of the building. The decoupling of structures is fundamental to achieve the desired acoustic insulation in an environment. The work aims to describe an alternative for acoustic insulation in these environments, known as box in box. The main concepts related to acoustics and technical aspects related to the execution of this acoustic insulation solution are presented. It is concluded that the good quality of design and execution of these spaces that make the walls, floors and ceilings independent of the structure require knowledge of the materials that make up the space, geometry, types of openings, in addition to the frequencies involved and the level of insulation required.

Keywords: Acoustics; Noise; Box in box.

1. INTRODUÇÃO

A verticalização das cidades é um fenômeno multifatorial. Dentre suas causas estão a valorização imobiliária, busca por segurança e redução de deslocamentos. Como diferencial de mercado, construtoras e incorporadoras tem buscado a inclusão de ambientes para fins de lazer, voltados à descompressão [1]. Entretanto, a maior proximidade entre as pessoas costuma aumentar a produção de ruídos. Dados de mapa de ruído coletados em 2019 relativo ao centro de São Paulo mostram locais com níveis superiores a 80 dB [2].

A NBR 15575-3 [3] determina que o desempenho mínimo $L'_{nT,W}$ para ruídos de impactos em pisos em locais de uso coletivo sobre dormitórios deve ser de 55 dB. Quanto ao isolamento a ruído aéreo para sistemas de pisos, o desempenho mínimo da diferença de nível padronizada ponderada (DnT,w) para locais de menor exigência quanto a ruídos deve ao menos 40 dB. Deve-se observar também um isolamento acústico razoável entre ambientes adjacentes. Quanto a este requisito, a NBR 15575-4 [3] determina o valor mínimo para DnT,w referente ao isolamento à ruído aéreo de 40 dB para as situações em que o espaço contíguo não seja dormitório.

Mattos [4] relata uma carência de informações especializadas para subsidiar a concepção de projetos acústicos para estúdios de gravação, bem como sistemas de reprodução de áudio e vídeo residenciais.

O estúdio de gravação tem como objetivo central registrar obras musicais. Deve ser confortável, aconchegante, silencioso e proporcionar condições favoráveis para criar e registrar a arte [4]. Um requerimento comum para estes locais de gravação é o de operar em qualquer hora do dia, se causar distúrbio na comunidade local. Também é importante que o ruído externo não entre no estúdio. Assim, a qualidade do isolamento acústico deste tipo de espaço é fundamental.

Muitos instrumentos musicais tem elevada potência sonora. Um baterista é capaz de gerar uma energia sonora superior a 110 dB, além de causar problemas de vibração por impacto [5]. Assim, surge a necessidade de elevados níveis de isolamento, na ordem de 60-75dB. Utilizando técnicas construtivas tradicionais, este valor é muito difícil, ou até mesmo impossível de se alcançar de forma estrutural e economicamente viável.

O presente trabalho, busca apresentar uma alternativa para melhoria do isolamento acústico de ambientes, relacionados a estúdios de gravação, denominado sistema *box in box*. Neste contexto, são delineados os principais conceitos inerentes à transmissão sonora, desacoplamento de espaços e outros aspectos técnicos, visando dar subsídio aos profissionais da área para garantia do bom isolamento acústico nestes ambientes.

2. ISOLAMENTO ACÚSTICO

O propósito do isolamento acústico é duplo: evitar que o som em um ambiente permeie para o exterior, e evitar que o ruído externo entre na sala. Em um estúdio de gravação, por exemplo, o bom isolamento é fundamental, já que o grau de isolamento dita o alcance dinâmico do estúdio, limitando o quão alto os músicos podem tocar (sem ter o estúdio sujeito a violações de normas sobre ruído e reclamações de vizinhos) e o quão bem-sucedida será a gravação de instrumentos quietos [6].

Uma onda mecânica (acústica) se propagando no ar atmosférico irá se expandir até encontrar uma barreira (sólida ou um material poroso). Com isso, haverá uma diferença de impedância acústica, o que faz com que parte da energia seja refletida, parte seja absorvida, e parte seja transmitida através da descontinuidade.

Ao buscar o isolamento acústico, o grau de transmissão entre as fronteiras é o mais importante. Assim, frequentemente agrupa-se a parcela referente à reflexão e absorção, para considerar apenas a parte da onda que não é transmitida.

A reflexão é o mecanismo de isolamento mais relevante, já que para absorvedores acústicos serem eficazes em baixa frequência, eles deveriam ter vários metros de espessura. Newell [6] apresenta um exemplo: uma câmara anecoica que absorve 99,9% da energia até a faixa de 70 a 80 Hz. Mesmo assim teria um efeito mínimo com relação ao isolamento, já que 0,01% da energia original representa uma redução de apenas 30 dB.

Assim, a câmara teria uma taxa de reflexão insignificante, mas um isolamento acústico abaixo do ideal em muitos casos. Uma redução de 30 dB em uma sala de gravação onde um baixo e uma bateria estão tocando pode deixar mais de 80 dB escapar para o outro ambiente. Para isolar 60 dB, não se pode permitir que mais do que uma parte em um milhão da energia sonora seja transmitida. Caso deseje ter esse efeito com absorvedores acústicos, seria necessária de uma parede de dez metros de espessura de lã mineral de densidade 70 kg/m³, por exemplo. Mas essa solução é impraticável.

2.1 Aspectos físicos

Existem quatro aspectos principais que governam o isolamento acústico: massa, rigidez, amortecimento e distância. Neste contexto, a distância costuma ser a variável mais simples de controlar. Basta se afastar da fonte sonora e o som será atenuado. Em ambientes urbanos, no entanto, essa solução não é possível na maioria dos casos.

A partir da física newtoniana sabe-se que é necessária mais energia para mover um objeto mais massivo do que um menos massivo. Assim, uma massa grande tende a refletir mais energia acústica do que uma massa pequena. Se essa massa não for rígida, no entanto, pode haver um fenômeno de ressonância, que irá radiar a energia acústica novamente. Assim, se a massa for extremamente rígida, não haverá ressonância, já que a massa não irá entrar em movimento [6].

Levando esta premissa ao limite, fica claro que a solução ideal seria um material leve e infinitamente rígido que não vibra, logo não transmite energia acústica. Porém, tais materiais não existem. Assim, em distâncias curtas, normalmente consegue-se atingir altos graus de isolamento mediante do uso de estruturas rígidas e massivas.

Essas estruturas seguem o princípio da lei da massa: a perda de transmissão aumenta em cerca de 6 dB para cada vez que se duplica a massa por unidade de área de um painel, e em 6 dB para cada vez que se dobra a frequência incidente. Destaca-se que essa relação é aproximada, mas serve como uma boa referência empírica.

O mecanismo de amortecimento define-se como o grau com que uma onda se propagando por dentro de um material é absorvida. Normalmente ocorre através da conversão de energia vibracional em calor. Vários materiais “emborrachados” tem essa característica, que pode ser útil se usada em combinação os demais princípios elencados.

O desenvolvimento de um sistema de isolamento acústico deve ser holístico. As paredes, lajes, coberturas, esquadrias, dutos, juntas e revestimentos devem ser considerados como parte de um todo [7]. A transmissão de vibração e de ruído aéreo se dá através de todos os caminhos possíveis. Assim, não há como ignorar um aspecto do sistema construtivo, e todos os trajetos de propagação da onda sonora devem ser considerados.

Outro aspecto relevante está relacionado ao conforto acústico do ambiente de gravação. Para este aspecto deve-se observar a adequada geometria interna do ambiente para uma boa difusão sonora e utilização de materiais absorvedores e refletores acústicos, buscando a qualidade do som. A reverberação sonora é um efeito mais pronunciado em ambientes amplos e mal tratados acusticamente [8]. Contudo, considerando a importância da qualidade sonora nos espaços de gravação, deve-se tomar precauções para reduzir ao máximo este efeito.

Na prática, o isolamento geralmente é obtido através do desacoplamento mecânico de uma estrutura interna da estrutura principal do edifício. Esse princípio é comumente chamado de *box in box* ou *room within a room*.

3. SISTEMA BOX IN BOX

O conceito de *box in box* é um método construtivo para isolar acusticamente um espaço dentro de outro já existente, evitando a transmissão de ruídos e adaptando-se às normas acústicas [8]. Este tipo de sistema faz uso de pisos flutuantes, paredes duplas e tetos suspensos, todos desacoplados da estrutura que o suporta, como mostra a Figura 1.

O desacoplamento de ambientes geralmente é obtido através do uso de molas helicoidais, blocos de borracha ou neoprene, espumas e outros materiais. O propósito principal visa reduzir a magnitude da força vibracional transmitida da fonte para a edificação. Essas soluções se baseiam no princípio de sistemas massa-mola: uma massa oferece resistência para alterar sua velocidade (inércia), e uma mola traz resistência para mudar seu comprimento. A ideia, então, é ter elementos acusticamente independentes.

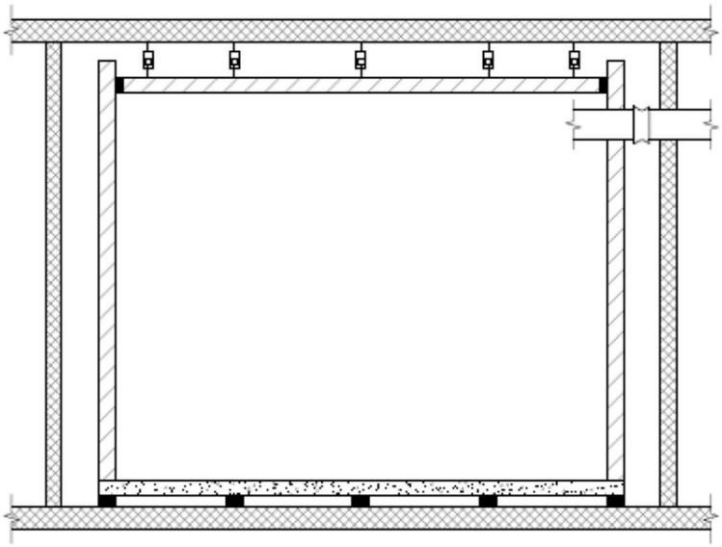


Figura 1 – Sistema box in box [8].

3.1 Paredes

As paredes costumam ser os elementos construtivos mais fáceis de se isolar. Por exemplo, caso haja uma parede externa com 40 dB de isolamento para uma certa frequência, seria necessário adicionar apenas uma parede interna desacoplada com 20 dB de isolamento, para obter 60 dB de isolamento total. Isto é muito mais eficiente do que construir uma única parede mais massiva e espessa capaz de um isolamento equivalente à 60 dB.

A vantagem da adoção de paredes duplas está na existência de um espaço entre si, geralmente preenchidos com lã mineral ou outro material isolante acústico. Assim, este espaço vazio entre as paredes age como uma mola que amortece as vibrações e impede de que haja transmissão estrutural direta entre os elementos. Um sistema desse tipo é apresentado na Figura 2.

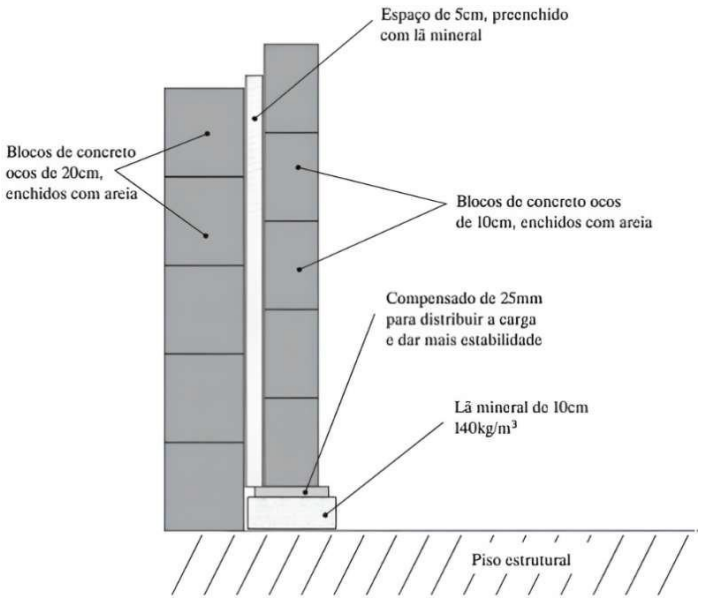


Figura 2 – Exemplo de parede flutuante [6].

Estas combinações entre uma parede externa massiva e uma parede interna flutuante, com um espaço de ar de 5 a 10 cm entre eles, pode facilmente produzir 70 dB de isolamento.

Em casos em que a fundação do edifício não suporta paredes pesadas, uma alternativa é revestir a parede com poliuretano poroso ou lã mineral, e fazer uma parede interna de gesso acartonado (sistema *drywall*). Newell [6] apresenta uma curva de isolamento para esse sistema de isolamento leve, conforme Figura 3.

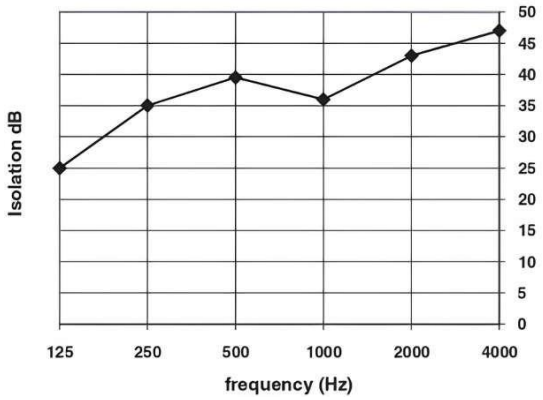


Figura 3 – Curva de isolamento acústico de um sistema leve [6].

3.2 Pisos

O isolamento do piso pode ser feito com molas, espumas, lã mineral, aglomerados, *pads* elastoméricos ou borracha. Em casos mais simples, pode-se utilizar mantas para isolamento acústico [9]. No caso de maiores cargas, pode-se fazer uso do sistema *Stravifloor Deck*, apresentado na Figura 4. Este é um sistema de laje flutuante que usa uma cofragem metálica de geometria específica a qual permite reduzir o peso próprio da laje flutuante e aumentar sua rigidez [10].

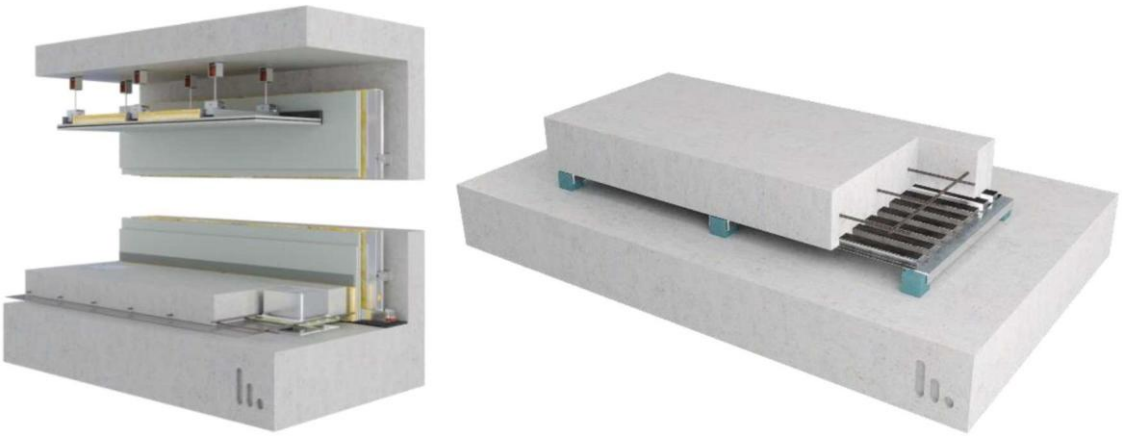


Figura 4 – Sistema Stravifloor Deck [10].

A escolha da solução irá depender do nível de isolamento necessário, das frequências envolvidas, e da capacidade estrutural das fundações. A técnica mais tradicional é utilizar isoladores grauteados no chão, em intervalos regulares. Também existe o mecanismo *jack up*, que facilita o processo de instalação, e envolve soltar as molas que elevam o piso após a concretagem (Figura 5).



(a) (b) (c)

Figura 5 – Mecanismo *jack up* [11].

A solução da Figura 5a é o método tradicional de construção de um piso acústico flutuante, enquanto a opção com molas, apresentada na Figura 5c é típica para grandes estúdios que operam em um grande leque de frequências. A escolha das molas deve ser feita em projeto, levando em conta a frequência mais baixa que será reproduzida na sala, e tendo em mente que a faixa ideal de operação ocorre quando a mola está no seu ponto intermediário de compressão [6].

Quando o piso estrutural tem baixa capacidade de suporte e não é capaz de suportar os esforços requeridos pelas soluções de piso desacoplado, será muito difícil ter um isolamento acústico satisfatório, especialmente em baixa-frequência. Em muitos casos, a instalação de vigas adicionais é a única forma de contornar esse problema.

3.3 Coberturas

Assim como nos pisos, existe grande variedade de soluções disponíveis no mercado para o desacoplamento do teto. Geralmente, o trabalho é feito com prendedores que tem elementos amortecedores, como molas ou borrachas, mantendo um espaço de ar entre a laje superior e a cobertura interna [12]. Segundo a Mason UK [11], os prendedores emborrachados são indicados para isolar altas frequências, enquanto as molas são melhores para atenuação de baixa frequência, ruído de impacto e vibrações. Alguns modelos de desacopladores estão mostrados na Figura 6. Estes prendedores são fixados na laje superior, e desacoplam a cobertura interna da estrutura do edifício.



Figura 6 – Desacopladores de teto [11].

3.4 Esquadrias

As esquadrias e demais elementos de infraestruturas (como dutos, canos e conduítes) são pontos de atenção, pois o ruído aéreo e estrutural pode "vazar" através desses elementos. Carvalho e Gonçalves [13] reiteram que as aberturas estão entre os elementos mais prejudiciais para o isolamento acústico de um ambiente.

Janelas e portas acústicas geralmente são mais massivas e reforçadas do que esquadrias convencionais. Portas geralmente terão um núcleo de um material de alta densidade, combinado com um material absorvedor. As juntas também geralmente são emborrachadas para evitar que o som difrate ao redor do batente. Quando possível, recomenda-se o uso de antecâmaras acústicas, para isolar salas umas das outras [9]. Essas antecâmaras são conhecidas como *sound locks*.

Janelas quadradas geralmente são evitadas, e devem ser bem seladas. Janelas acústicas são feitas de duas ou três folhas de vidro, com um espaçamento normalmente de 200 mm de ar entre elas. Com esta configuração, espera-se que duas folhas tenham uma atenuação de 40 dB, enquanto três folhas são capazes de uma atenuação máxima de 55 dB [12]. É importante que as folhas de vidro não sejam da mesma espessura, para evitar que elas entrem em ressonância entre si. Também deve haver uma angulação no vidro, para evitar que ondas estacionárias se formem entre janelas paralelas.

4. RESULTADOS

A partir dos principais aspectos físicos referentes à física do som, observou-se que a concepção do sistema *box in box* querer profissionais com adequada formação em acústica e construção civil. Um bom projeto (e posterior execução) destes espaços necessita do conhecimento prévio do tipo de paredes, lajes, forros, bem como as aberturas existentes no espaço a ser executado o sistema.

A escolha dos materiais isoladores e absorvedores é dependente do nível de isolamento acústico desejado, mas também de quais faixas de frequência o estúdio espera atuar e quais tem-se maior interesse na redução.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ruído está entre um dos principais fatores de desconforto em edificações, exercendo grande impacto no bem estar dos ocupantes. O projeto de isolamento acústico de ambientes requer o conhecimento das faixas de frequência envolvidas, tipo do ruído (aéreo ou impacto) e da escolha apropriada dos materiais e técnicas.

A mitigação do ruído aéreo necessita da eliminação dos caminhos de ar entre espaços, enquanto o ruído estrutural requer à supressão de conexões mecânicas entre espaços. É unanimidade que a qualidade do processo construtivo é fundamental. Problemas na instalação irão trazer resultados muito aquém do desejado. O trabalho abordou os principais aspectos relacionados ao isolamento acústico. Neste contexto discutiu-se o sistema box in box, com aplicação a estúdios de gravação.

REFERÊNCIAS

[1] Luz, J. L.; Blank, P.; Freitas, A. R.; Schmitt, R. (2023). **Adequação acústica em pista de boliche gerando ruídos incomodativos em um edifício residencial**. XXX Encontro da Sobrac, Natal.

[2] Wunderlich, P.; Holtz, M.; Pierrard, J. F. (2020). **Noise pollution in São Paulo: actions towards public policies**. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, Seoul.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: **Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2021.

[4] MATTOS, T. F. **Avaliação acústica de salas de controle em estúdios projetados para monitoração de áudio multicanal**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2015.

[5] FAZZIO, D. M. **Soluções de Isolamento Anti-Vibrátil para Instrumento de Percussão de Baixa Frequência**. Ed. Simplíssimo, 2018.

[6] NEWELL, P. R. **Recording studio design**. New York; London: Routledge, 2017.

[7] BALLOU, G. **Handbook for sound engineers**. New York; London: Routledge,2015.

[8] MARTÍNEZ LIBERAL, C. **Reutilización acústica de edificios históricos: Paradiso, Ámsterdam.** TFG, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 2022.

[9] VELOSO, V. **Isolamento acústico de estúdios exige projeto e profissionais especializados**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/isolamentoacustico-de-estudios-exige-projeto-e-profissionais-especializados/18254>. Acesso em: 30 de abril de 2025.

[10] Arana, I.; Pinto, P.; Rodrigues, M. (2022). **Transmissão de ruído estrutural e vibrações–caso de estudo: piscina em cobertura de edifício residencial em lisboa**. 53° Congresso Español de acústica e XII Congresso Ibérico de acústica, Elche.

[11] Mason UK. Disponível em: < http://www.revoltingmass.com/index.asp >. Acesso em: 02 de maio de 2025.

[12] HENKE, M. **An Exploration of Architectural Acoustics and Design in Commercial Recording Studios**. Seaside, California: Digital Commons @ CSUMB, 2022.

[13] Carvalho, G. F.; Gonçalves, E. de A. C. D. (2019). **Diretrizes de projeto para auditórios destinados à fala**. XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (XV ENTAC), João Pessoa.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-25

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil.

ANÁLISE DAS PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UMA EDIFICAÇÃO DE ENSINO PÚBLICO COM MAIS DE CINQUENTA ANOS DE USO: ESTUDO DE CASO NO SEMIÁRIDO CEARENSE.

MACIEL, Francisco Kayky Pinheiro Maciel[1]; SILVA, Mariany dos Santos[2]; ARAGÃO, Matheus Assayag Almeida [3] COSTA, Rômulo Garcia [4]; SOUZA, Rayanderson Saraiva de[5]

[1]Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, kayky.pinheiro08@aluno.ifce.edu.br
[2]Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, mariany.santos.silva07@aluno.ifce.edu.br
[3]Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, matheus.assayag.almeida07@aluno.ifce.edu.br
[4]Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, romulo.garcia07@aluno.ifce.edu.br
[5]Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, rayanderson.saraiva@ifce.edu.br, 0000-0001-5150-9673

RESUMO

A identificação e análise de manifestações patológicas em edificações escolares históricas representam um passo fundamental para a preservação segura e eficiente desse patrimônio educacional. Este estudo analisou uma edificação pública de ensino no semiárido cearense, com mais de 50 anos de operação contínua. A metodologia baseou-se em inspeções visuais, ensaios não destrutivos e registros fotográficos. Foram identificadas fissuras em alvenarias e elementos estruturais, recalques diferenciais, umidades ascendentes e descendentes, desagregação de materiais e corrosão de armaduras. As patologias revelam um avançado estado de deterioração dos sistemas construtivos, relacionado a falhas de execução, agravadas ao longo do tempo por agentes climáticos característicos da região semiárida. Com o estudo foi possível identificar as principais manifestações, que se fazem presentes na estrutura, sendo necessário uma maior prioridade de intervenção.

Palavras-chave: Manifestações patológicas, corrosão de armaduras, degradação de materiais, fissuras, durabilidade.

ABSTRACT

The identification and analysis of pathological manifestations in historic school buildings represent a fundamental step towards the safe and efficient preservation of this educational heritage. This study analyzed a public school building in the semi-arid region of Ceará, with over 50 years of continuous operation. The methodology was based on visual inspections, non-destructive tests and photographic records. Cracks in masonry and structural elements, differential settlements, rising and falling humidity, material disintegration and corrosion of reinforcements were identified. The pathologies reveal an advanced state of deterioration of the construction systems, related to execution failures, aggravated over time by climatic agents characteristic of the semi-arid region. It is concluded that the technical understanding of pathological manifestations is essential to guide interventions and ensure the durability of public buildings intended for education. The study made it possible to identify the main pathological manifestations present in the structure, highlighting the need for prioritized intervention measures.

Keywords: Pathological manifestations, corrosion of reinforcement, degradation of materials, cracks, durability.

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade das edificações está atrelada à qualidade dos materiais, à execução adequada e à realização de manutenções ao longo do tempo. No entanto, falhas construtivas e a ausência de manutenção preventiva continuam sendo causas do surgimento precoce de manifestações patológicas, comprometendo o desempenho funcional e a segurança das construções [1]. Em regiões de clima semiárido, como o sertão central do Ceará, fatores ambientais como elevadas amplitudes térmicas, baixa umidade e intensa radiação solar agravam patologias como retrações térmicas, fissuração e carbonatação do concreto [2].

As manifestações patológicas resultam de causas multifatoriais que abrangem desde a concepção do projeto até o uso e manutenção da edificação. Erros de projeto, falhas na execução, uso de materiais de baixa qualidade e ausência de controle tecnológico são apontados como fatores predominantes no surgimento dessas anomalias [3]. Além disso, a negligência com manutenções preventiva e corretiva potencializa os efeitos dessas falhas, acelerando a degradação e comprometendo o desempenho funcional das estruturas [4]. Segundo Helene e Pereira [5], a falta de uma abordagem sistêmica que integre projeto, execução e manutenção tem sido uma das principais lacunas no enfrentamento das manifestações patológicas. Assim, compreender sua origem sob uma perspectiva holística e preventiva é essencial para garantir durabilidade, segurança e funcionalidade das construções.

O presente estudo foi conduzido com foco na avaliação de manifestações patológicas em uma edificação pública com mais de cinco décadas de uso contínuo, localizada em uma região semiárida. A análise envolveu inspeções visuais, registros fotográficos e levantamentos qualitativos das anomalias construtivas. Segundo Lima *et al.* [6], esse tipo de abordagem diagnóstica é fundamental para a identificação das causas das patologias e a definição de estratégias de intervenção. Oliveira *et al.* [7] reforçam que a ausência de planos de manutenção estruturados contribui significativamente para a recorrência e agravamento das falhas, sendo recomendadas intervenções para resolução das problemáticas. Além da análise, o presente trabalho propõe intervenções técnicas que visam à recuperação das áreas comprometidas, assegurando a estabilidade, a segurança e a durabilidade da edificação ao longo do tempo.

1.1 Estrutura da Pesquisa



Figura 1 – Etapas da pesquisa

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A degradação prematura das edificações tem sido uma preocupação crescente no contexto da engenharia civil, especialmente diante da demanda por construções cada vez mais duráveis, seguras e eficientes. Nesse cenário, a área da patologia das construções desempenha papel fundamental ao investigar as causas, mecanismos e efeitos de falhas que comprometem o desempenho estrutural e funcional das edificações [8][9].

2.1 Manifestações Patológicas em Edificações

A patologia das construções pode ser definida como a ciência que estuda as origens, sintomas, mecanismos e consequências das falhas construtivas, a fim de diagnosticar e propor intervenções corretivas adequadas [8]. Conforme

Souza e Ripper [9], os problemas patológicos são resultados de falhas em etapas como projeto, execução, uso ou manutenção da edificação.

2.2 Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto

As patologias nas estruturas de concreto derivam, da ausência de controle tecnológico durante a execução, da especificação inadequada de materiais e da inexistência de um plano de manutenção sistematizado [9]. Os autores reforçam que manifestações como fissuras, desplacamentos, corrosão das armaduras e recalques são sintomas que, se não forem diagnosticados e tratados a tempo, podem evoluir para quadros de degradação severa.

2.3 Fissuras

As fissuras em estruturas de concreto são manifestações patológicas que indicam tensões internas ou falhas construtivas, podendo comprometer a durabilidade e a segurança da edificação. Elas podem ser causadas por retração do concreto, esforços mecânicos, recalques diferenciais ou processos de degradação, como corrosão de armaduras. Segundo Souza e Ripper [9] é fundamental identificar a origem das fissuras para definir o tratamento adequado. As fissuras mapeadas, geralmente superficiais, estão ligadas à retração térmica ou plástica, enquanto as fissuras por esforço mecânico resultam de sobrecargas, flexão ou cisalhamento. De acordo com Helene [10], a presença dessas fissuras facilita a entrada de agentes agressivos e acelera o processo de deterioração estrutural.

2.4 Recalque Diferencial.

O recalque diferencial é caracterizado pela movimentação não uniforme das fundações, resultando em deformações excessivas e fissuração nas partes superiores da edificação. Esse fenômeno é frequentemente associado à variação das propriedades geotécnicas do solo, execução inadequada das fundações ou presença de lençol freático [11]. Segundo Metha e Monteiro [12] esse tipo de patologia pode comprometer a estabilidade global da estrutura e, em casos severos, provocar sua ruína parcial.

2.5 Corrosão das Armaduras

A corrosão das armaduras de aço em estruturas de concreto é um dos principais agentes de deterioração e perda de durabilidade das edificações. Esse processo tem início quando há ruptura da camada de proteção alcalina natural proporcionada pelo concreto, o que ocorre principalmente devido à carbonatação do meio ou à penetração de íons cloreto [13]. A ruptura da passividade favorece reações eletroquímicas que resultam na formação de produtos de corrosão (óxidos e hidróxidos de ferro), os quais possuem volume maior que o aço original, exercendo pressão sobre o concreto adjacente [14].

2.6 Despassivação

A despassivação consiste na perda da camada passivadora que protege a armadura contra a corrosão. Ocorre quando o pH do concreto diminui, principalmente por carbonatação ou presença de íons cloreto, criando um ambiente propício ao início da corrosão eletroquímica [9]. Esse processo pode ser silencioso por anos e, quando visível, já compromete significativamente a integridade da estrutura.

2.7 Manifestações Biológicas

As manifestações biológicas são ocasionadas pela presença de micro-organismos como fungos, bactérias, musgos ou líquens, que colonizam superfícies úmidas e sombreadas. Além do impacto visual negativo, essas colônias podem secretar ácidos que aceleram a degradação dos materiais [15]. São comuns em regiões com ventilação deficiente, infiltrações ou umidade ascendente.

2.8 Umidade Ascendente

A umidade ascendente é causada pela capilaridade da água do solo, que sobe pelas fundações e paredes em alvenaria ou concreto. Essa água transporta sais dissolvidos que, ao evaporar, cristalizam-se na superfície, provocando eflorescências, destacamento de argamassa e descolamento de pintura [16]. A falha ou inexistência de barreiras impermeabilizantes é a

principal causa dessa manifestação.

2.9 Descolamento da Pintura

O descolamento da pintura decorre de falhas na aderência entre a tinta e o substrato, causado principalmente pela presença de umidade, alcalinidade do concreto ou aplicação inadequada. Essa manifestação, embora superficial, pode indicar problemas mais profundos, como infiltrações ou eflorescência [17].

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi conduzida em uma edificação pública destinada ao ensino, situada no interior do estado do Ceará, com o objetivo de diagnosticar e interpretar, de forma técnica e fundamentada, as manifestações patológicas presentes na estrutura e nos elementos construtivos. A metodologia adotada baseou-se nas diretrizes do *Manual de Inspeção Predial* do IBAPE [18], associadas a procedimentos consagrados de vistoria predial, levantamento qualitativo de dados e proposição de soluções técnicas.



Figura 2 – Localização Geográfica do Município de Quixadá, Ceará. [19]

3.1 Estrutura Metodológica

A condução metodológica foi estruturada em cinco etapas principais:

1. Inspeções técnicas visuais com registro fotográfico;
2. Realização de ensaios não destrutivos;
3. Estudo bibliográfico de embasamento teórico;
4. Classificação das manifestações patológicas e proposição de soluções corretivas;
5. Sistematização dos dados em matriz técnica de avaliação.

3.2 Inspeções Técnicas e Registro Fotográfico

A etapa inicial consistiu na realização de inspeções visuais sistematizadas, conduzidas em duas fases: a primeira voltada às áreas externas da edificação, como fachadas e coberturas, e a segunda dedicada aos espaços internos, incluindo ambientes de circulação e uso coletivo. A observação técnica priorizou a identificação de indícios visuais de anomalias, tais como fissuras, destacamentos de revestimento, eflorescências, umidade ascendente, manifestações de corrosão, entre outras não conformidades aparentes. Cada anomalia observada foi registrada em um relatório fotográfico descritivo, elaborado com o propósito de documentar as condições físicas da edificação e servir de base para análise técnica e cruzamento com as informações teóricas obtidas.

3.3 Ensaios Complementares

Como reforço ao diagnóstico visual, foram realizados ensaios não destrutivos, visando à caracterização de algumas manifestações identificadas. Utilizou-se solução de fenolftaleína para avaliar a profundidade de carbonatação do concreto em pontos críticos, bem como um fissurômetro para medição da espessura de fissuras. Os resultados desses ensaios foram considerados qualitativamente, buscando reforçar a interpretação técnica das patologias e sua gravidade relativa.

3.4 Fundamentação Teórica

Após a etapa de campo, procedeu-se a um estudo bibliográfico aprofundado, com a finalidade de embasar teoricamente os achados empíricos. Foram consultadas normas técnicas brasileiras, manuais de manutenção predial e literatura especializada em patologias das construções. Essa revisão foi essencial para a análise crítica das manifestações identificadas e para a proposição de soluções compatíveis com as melhores práticas da engenharia diagnóstica.

3.5 Classificação e Proposição de Soluções

As manifestações patológicas identificadas foram analisadas e classificadas de forma qualitativa, conforme o tipo de ocorrência e suas prováveis causas, com base nos registros em campo e na literatura técnica especializada. Foram também propostas medidas corretivas iniciais, com o intuito de orientar intervenções futuras. Essas proposições consideram tanto os achados empíricos quanto as recomendações técnicas da literatura, servindo como um ponto de partida para o tratamento adequado das patologias observadas.

3.6 Sistematização de Dados

Para garantir uma análise sistemática das patologias identificadas durante a vistoria técnica, os dados coletados foram organizados em uma matriz de avaliação, conforme demonstrado no Quadro 1. Esta ferramenta metodológica foi desenvolvida para correlacionar as evidências observadas em campo com as diretrizes técnicas estabelecidas na fundamentação teórica da pesquisa.

Quadro 1 – Matriz de avaliação das anomalias construtivas encontradas

Item	Manifestação Patológica	Descrição da anomalia	Possível causa	Diagnóstico	Intervenção indicada
1	Foto ilustrativa da manifestação.	Caracterização objetiva da manifestação.	Hipóteses técnicas que justificam a origem da anomalia.	Conclusão do diagnóstico.	Proposta de reparo fundamentada em literatura técnica e normas aplicáveis.
2					
...					

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Conceituação Inicial

A inspeção realizada na edificação revelou a ocorrência de diversas manifestações patológicas em distintos elementos construtivos. Dentre essas, foram selecionadas para análise aprofundada aquelas de maior relevância técnica e elevada criticidade, por apresentarem potencial significativo de comprometimento da segurança estrutural, da funcionalidade.

4.2 Levantamento de Dados e Análise

Quadro 2 – Fissuração longitudinal em piso industrial

Item	Manifestação Patológica	Descrição da anomalia	Possível Causa	Diagnóstico	Intervenção indicada
1		Trinca longitudinal visível ao longo da calçada, com espaçamento irregular. Apresenta continuidade significativa.	1) Recalque diferencial do solo sob a calçada, causado por compactação insuficiente ou alterações nas condições de umidade do solo.	Trinca provocada por recalque diferencial do solo.	1) Remoção do trecho danificado e reconstrução com reforço da base e compactação adequada do solo. 2) Execução de juntas de dilatação.

Quadro 3 – Trincas em viga de concreto armado

Item	Manifestação Patológica	Descrição da anomalia	Possível Causa	Diagnóstico	Intervenção indicada
2		Trincas alongadas e paralelas à armadura principal, com sinais de desplacamento superficial do concreto.	1) Despassivação da armadura por ação de agentes agressivos, resultando na corrosão do aço e causando expansão e consecutivamente as trincas.	Desplacamento do concreto.	1) Remoção do concreto deteriorado e tratamento da armadura. 2) Reconstrução do cobrimento com argamassa de reparo tixotrópica.

Quadro 4 – Degradação em pilar com armadura exposta

Item	Manifestação Patológica	Descrição da anomalia	Possível Causa	Diagnóstico	Intervenção indicada
3		Armadura exposta e oxidada; desagregação do revestimento e perda total da sua área de aço.	1) Uso de tijolo comum em pilar estrutural. 2) Penetração de umidade e carbonatação.	Corrosão ativa por umidade e ausência de cobrimento adequado.	1) Substituição do pilar por elemento em concreto armado.

Quadro 5 - Manchas de umidade e mofo em caixa d'água elevada

Item	Manifestação Patológica	Descrição da anomalia	Possível Causa	Diagnóstico	Intervenção indicada
4		Manchas escuras, mofo, descolamento de pintura, com a presença de algumas fissuras.	1) Vazamentos e infiltrações causados por falhas na impermeabilização, fissuras estruturais, e degradação do revestimento, permitindo a passagem de água.	Manchas de umidade e bolor.	1) Refazer impermeabilização com manta asfáltica 2) Refazer o revestimento com argamassa polimérica impermeável.

Quadro 6 – Manchas de umidade em alvenaria próxima a equipamento de ar-condicionado

Item	Manifestação Patológica	Descrição da anomalia	Possível Causa	Diagnóstico	Intervenção indicada
5		Escorrimento contínuo de água condensada, promovendo umidade localizada e acúmulo de sujeira na superfície.	1) Drenagem inadequada da água condensada do ar-condicionado.	Manchas de umidade e bolor.	1) Instalar tubulação para conduzir o dreno até um ponto adequado de descarte 2) Limpeza e repintura da área afetada com tinta acrílica impermeabilizante.

Quadro 7 – Desplacamento em pilar de concreto armado

Item	Manifestação Patológica	Descrição da anomalia	Possível Causa	Diagnóstico	Intervenção indicada
6		Expansão volumétrica da armadura corroída, gerando fissuração e desplacamento.	1) Carbonatação do concreto e despassivação da armadura 2) Umidade ascendente por capilaridade transportando íons agressivos até a armadura.	Corrosão da armadura e desplacamento do concreto.	1) Remoção do concreto deteriorado e limpeza da armadura. 2) Aplicação de passivador de corrosão e recomposição com argamassa polimérica.

Quadro 8 – Trinca diagonal em alvenaria de vedação

Item	Manifestação Patológica	Descrição da anomalia	Possível Causa	Diagnóstico	Intervenção indicada
7		Trincas diagonais em canto na alvenaria externa da edificação.	1) Esforço mecânico na estrutura/alvenaria. 2) Movimentação estrutural ou recalque diferencial.	Trincas diagonais por esforços de cisalhamento.	1) Tratamento das trincas com selante flexível ou tela. 2) Aplicação de fundo preparador e nova pintura com tinta adequada para fachadas.

Quadro 9 – Fissuração por ação de raízes vegetais

Item	Manifestação Patológica	Descrição da anomalia	Possível Causa	Diagnóstico	Intervenção indicada
8		Trinca longitudinal visível ao longo da calçada de concreto, com variação de abertura.	1) Ação biológica das raízes vegetais que penetram sob a calçada, gerando esforços de tração que causam e ampliam trincas no concreto.	Fissuração causada pela força expansiva de raízes.	1) Remoção completa da vegetação e sistema radicular invasor. 2) Reconstrução da calçada. .

Quadro 10 – Descascamento de pintura em fachada

Item	Manifestação Patológica	Descrição da anomalia	Possível Causa	Diagnóstico	Intervenção indicada
9		Camada de tinta com descolamento visível com esfoliação visível entre camadas.	1) Preparação inadequada da superfície. 2) Clima semiárido com alta amplitude térmica.	Descolamento da pintura por falha de aderência.	1) Remoção das camadas deterioradas, lixamento, aplicação de primer e repintura com tinta adequada ao clima.

Quadro 11 – Manchas de umidade e bolor em forro de gesso

Item	Manifestação Patológica	Descrição da anomalia	Possível Causa	Diagnóstico	Intervenção indicada
10		Manchas amarronzadas/escuras com presença de bolor no forro de gesso.	1) Infiltração proveniente da cobertura, devido a telhas quebradas ou mal posicionadas.	Manchas e bolor em forro de gesso.	1)Correção da fonte de infiltração. 2) Remoção das áreas contaminadas do forro de gesso, tratamento antifúngico e recomposição com novo gesso.

4.3 Discussão dos Resultados

A análise das manifestações patológicas constatadas na edificação evidencia falhas tanto estruturais quanto de desempenho, com distintos níveis de gravidade e impactos na durabilidade e segurança da construção. As anomalias mais críticas concentram-se nos elementos estruturais, conforme apresentado nos Quadros 3 e 4. No primeiro, identificam-se fissuras paralelas à armadura principal de uma viga e indícios de desplacamento do concreto, caracterizando o início do processo corrosivo por despassivação da armadura. No segundo, observa-se um quadro ainda mais severo, em que a corrosão comprometeu integralmente a seção da armadura de um pilar, agravado pela utilização inadequada de tijolos cerâmicos como material estrutural, exigindo substituição do elemento e inspeção ampliada de componentes com tipologia semelhante.

No Quadro 7, verifica-se expansão volumétrica da armadura corroída, resultando em fissuração e desplacamento. Essa condição, associada à carbonatação e à umidade por capilaridade, compromete o cobrimento e indica o aumento da deterioração estrutural. O Quadro 2 evidencia fissura longitudinal na calçada, provocada por recalque diferencial do solo, decorrente de compactação não uniforme, exigindo reconstrução do trecho com reforço da base e execução de juntas adequadas. Situação análoga ocorre no Quadro 9, em que a fissuração decorre da ação de raízes vegetais, sendo necessária a remoção do sistema radicular e reconstrução do elemento.

Além das manifestações estruturais, foram observadas anomalias superficiais associadas à umidade, como no Quadro 5, que apresenta manchas de umidade, mofo e descascamento de pintura, em virtude de falhas na impermeabilização. Ocorrências semelhantes aparecem nos Quadros 6 e 11, relacionadas ao escorrimento de água do sistema de climatização e infiltrações em coberturas, afetando acabamentos internos e exigindo medidas como impermeabilização, redirecionamento de drenagem e substituição de revestimentos danificados.

Outras manifestações incluem fissuras diagonais em alvenaria (Quadro 8), associadas a esforços de cisalhamento ou recalques diferenciais, e o descascamento de pintura em fachadas (Quadro 10), decorrente de falhas na preparação da superfície e da elevada amplitude térmica do clima semiárido. Embora de menor criticidade estrutural, tais patologias demandam intervenções para restabelecer a proteção superficial e prevenir danos progressivos.

Em síntese, os quadros analisados evidenciam a coexistência de falhas construtivas, ausência de manutenção preventiva e ação de agentes ambientais, reforçando a necessidade de um plano de recuperação baseado em diagnósticos técnicos consistentes e intervenções específicas. A adoção de medidas corretivas alinhadas às normativas técnicas é essencial para garantir a segurança, funcionalidade e durabilidade da edificação ao longo do tempo.

5. CONCLUSÃO

A inspeção técnica da edificação analisada possibilitou a identificação de diversas manifestações patológicas, cujas causas

estão, em sua maioria, associadas a falhas construtivas e ausência de manutenção preventiva ao longo da vida útil da estrutura. Tais manifestações comprometem, em diferentes níveis, a segurança, durabilidade e funcionalidade da edificação. Dentre os principais achados, destacam-se manifestações estruturais críticas, como a presença de armaduras expostas e corroídas, falhas de cobrimento e trincas em elementos de concreto armado, evidenciando processos de deterioração.

Também foram constatadas anomalias ligadas a recalques diferenciais, trincas por movimentações estruturais e falhas nos sistemas de impermeabilização, reforçando o quadro de degradação progressiva. Ressalta-se que a ausência de dados quantitativos e de classificação por grau de severidade constitui uma limitação para o aprofundamento diagnóstico e definição de estratégias de intervenção mais detalhadas.

Ainda assim, os registros visuais e descrições técnicas permitem inferir a necessidade de um plano de recuperação que priorize elementos com risco estrutural, recomponha a integridade de áreas com recalques e restabeleça os sistemas de proteção e estanqueidade da edificação. Além disso, é imprescindível a implementação de um programa contínuo de manutenção preventiva, com inspeções periódicas, correções oportunas e critérios técnicos de priorização, a fim de assegurar o desempenho funcional e ampliar a vida útil da construção de forma segura e eficiente.

REFERÊNCIAS

[1] ROSA, R. S. et al. **Avaliação de manifestações patológicas em edificações públicas no semiárido brasileiro**. Revista de Engenharia Civil, v. 12, n. 3, p. 201–214, 2021.

[2] COSTA, R. G. et al. **Influência do clima semiárido na deterioração de estruturas escolares públicas**. Revista Científica de Engenharia Civil, v. 8, n. 1, p. 45–59, 2022.

[3] MEDEIROS, Marcelo H. F. **Durabilidade do concreto: conceitos, controle e prevenção**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

[4] OLIVEIRA, Rômulo S.; SANTOS, Carla M. **Manifestações patológicas em edificações: diagnóstico e diretrizes de manutenção**. Revista Técnico-Científica do CREA-SP, v. 5, n. 2, p. 25-38, 2019.

[5] HELENE, Paulo; PEREIRA, José C. R. **Patologia das construções: causas, manifestações e controle**. São Paulo: PINI, 2014.

[6] LIMA, M. L. R. et al. **Inspeções prediais como instrumento de gestão da manutenção**. Revista Construindo, v. 11, n. 1, p. 34–49, 2020.

[7] OLIVEIRA, R. F. et al. **Plano de manutenção predial: desafios em edificações públicas**. Revista Habitat Sustentável, v. 21, n. 2, p. 55–70, 2021.

[8] HELENE, P. **Manual de patologias em estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

[9] SOUZA, R.; RIPPER, T. **Patologia das construções: identificação, diagnóstico e prevenção**. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

[10] HELENE, P. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2003.

[11] VITÓRIO, J. C. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

[12] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.

[13] FERREIRA, M. A. **Corrosão em armaduras de concreto armado: causas e prevenção**. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

[14] FIGUEIREDO, A. D.; MEIRA, G. R. **Durabilidade do concreto: fundamentos, controle e projetos**. São Paulo: IBRACON, 2013.

[15] FREITAS, C. M. et al. **Biodegradação de materiais em edificações: aspectos técnicos e patológicos**. Revista Materiais & Construção, v. 17, n. 1, p. 67–80, 2020.

[16] TUTIKIAN, B. F.; PACHECO, J. **Aplicação de barreiras contra umidade ascendente em construções**. Revista de Engenharia e Arquitetura, v. 10, n. 2, p. 32–44, 2013.

[17] LAPA, A. C. O. **Desempenho das tintas em ambientes agressivos**. São Paulo: IPT, 2008.

[18] IBAPE. **Manual de inspeção predial: avaliação das condições técnicas, de uso e manutenção das edificações**. 2. ed. São Paulo: IBAPE Nacional, 2012.

[19] GOOGLE**. Google Earth**. Quixadá, Ceará, Brasil. Imagem de satélite. 2025. Disponível em: https://earth.google.com. Acesso em: 20 abr. 2025.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-28

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil

Análise de Manifestações Patológicas com Matriz GUT: Estudo de Caso

MELO, Maria Eduarda Costa[1]; GAMELEIRA, Christiane Mylena Tavares de Menezes[2]; NUNES, Valmiro Quefren Gameleira[3]; TORRES, Ellen Mirley Medeiros[4]

[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Brasil, eduardaholandacm@gmail.com.
[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Brasil, christiane.menezes@ufersa.edu.br, https://orcid.org/0000-0002-7682-452X
[3] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Brasil, valmiro@ufersa.edu.br, https://orcid.org/0000-0001-6412-1539
[4] Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Mossoró, ellen.torres@alu.ufc.br, https://orcid.org/0000-0001-9416-4716

RESUMO

Na construção civil, as manifestações patológicas são diagnósticos de diferentes tipos de falhas ou problemas que afetam as edificações e suas estruturas ao longo do tempo. Diante disso, o estudo teve como foco a análise da Central de Aulas II da Universidade Federal Rural do Semi-Árido quanto à presença de manifestações patológicas, utilizando visitas técnicas com registros fotográficos, o uso de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), ferramenta geoespacial, e a aplicação da Matriz de Gravidade, Urgência e Tendência (GUT). A Matriz GUT é utilizada como instrumento auxiliar na gestão e na tomada de decisões, permitindo priorizar problemas de acordo com critérios técnicos. Com base nesse conjunto de procedimentos, elaborou-se um relatório fotográfico contendo 10 itens que possibilitaram o diagnóstico das manifestações patológicas observadas na edificação, com destaque para corrosão em pilares da parte posterior do prédio, armadura exposta, manchas de umidade, recalque diferencial, entre outros. A análise com a Matriz GUT resultou em um score de 143, valor que enquadra a estrutura com grau médio de criticidade, servindo como alerta para um possível agravamento em curto prazo.

Palavras-chave: ARP; Manifestações patológicas; Matriz GUT; Visita técnica.

ABSTRACT

In civil construction, pathological manifestations are diagnoses of various types of failures or problems that affect buildings and their structures over time. Accordingly, this study focused on analyzing the Central de Aulas II at the Federal Rural University of the Semi-Arid Region regarding the presence of pathological manifestations, using technical visits with photographic records, the application of a Remotely Piloted Aircraft (RPA) as a geospatial tool, and the implementation of the Gravity, Urgency, and Trend (GUT) Matrix. The GUT Matrix is used as a supporting tool for management and decision-making, enabling the prioritization of problems based on technical criteria. Based on these procedures, a photographic report was prepared with 10 items, allowing the diagnosis of the pathological manifestations observed in the building, highlighting corrosion in the rear pillars, exposed reinforcement, moisture stains, differential settlement, among others. The analysis using the GUT Matrix resulted in a score of 143, which classifies the structure as having a medium level of criticality, serving as a warning for potential worsening in the near future.

Keywords: GUT Matrix; Pathological manifestations; RPA; Technical visits.

1. INTRODUÇÃO

A presença de patologias em edificações representa um malefício não apenas para a integridade construtiva, como também para a qualidade de vida dos usuários, podendo ocasionar inseguranças estruturais e risco à vida dos ocupantes. A degradação física das construções ocorre de forma gradual e contínua, sendo influenciada tanto pelo desgaste natural provocado pelas intempéries quanto por falhas inerentes ao projeto e à execução da obra [1]. Nesse contexto, a realização de manutenções em prazos adequados torna-se indispensável, a fim de evitar o surgimento e o acúmulo de manifestações patológicas que, se negligenciadas, podem comprometer seriamente a estabilidade estrutural da edificação.

Segundo Braga et al. [2], as manifestações patológicas comprometem não apenas a estética e o desempenho funcional das edificações, mas também representam riscos ao patrimônio e à segurança estrutural. Assim, torna-se imprescindível a detecção precoce de anomalias por meio de inspeções técnicas criteriosas. O autor destaca que fissuras, infiltrações, eflorescências e outras ocorrências, muitas vezes agravadas pela ausência de manutenção e pela ação contínua dos agentes climáticos, podem culminar no colapso estrutural caso não sejam tratadas adequadamente.

Para Ferreira e Lobão [3], mesmo com a adoção de melhorias construtivas, é essencial a execução de manutenções periódicas para prolongar a vida útil das estruturas. O suporte técnico de profissionais habilitados para emissão de laudos e diagnósticos é fundamental para identificar intervenções necessárias e propor soluções eficazes. Essa abordagem reforça a relevância da manutenção preventiva, não apenas para preservar a funcionalidade das edificações, mas também para otimizar os recursos públicos, como no caso das instalações da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

No Brasil, embora as normas técnicas não possuam status legal por si só, seu cumprimento torna-se obrigatório quando referenciado por legislações específicas [4]. A ABNT NBR 15575:2024 [5] estabelece os requisitos mínimos de desempenho das edificações habitacionais, sendo amplamente adotada na construção civil. Complementarmente, a ABNT NBR 5674:2024 [6] trata da gestão de manutenção das edificações, mas ainda apresenta lacunas no que se refere à avaliação qualitativa da manutenção realizada, como apontado por IBAPE [7].

De acordo com Oliveira et al. [8], a exposição contínua dos elementos construtivos a agentes externos como radiação solar, chuvas, ventos e até atos de vandalismo contribui para o desgaste acelerado da edificação, podendo comprometer sua durabilidade. Tais agentes afetam diretamente o desempenho do sistema construtivo e, em casos mais críticos, colocam em risco a segurança dos usuários. A análise técnica das manifestações patológicas permite ainda gerar conhecimento relevante sobre os fatores que influenciam a durabilidade das construções.

Dessa forma, o estudo concentrou-se na análise da Central de Aulas II da UFERSA, com o propósito de identificar patologias que possam comprometer sua estrutura, por meio de visitas técnicas com registros fotográficos das manifestações observadas e uso de tecnologias como a Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), visando à obtenção de dados topográficos da área construída.

2. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como um estudo de caso, de natureza descritiva e quantitativa, associado a uma revisão bibliográfica sobre o tema abordado. O método adotado tem por base a análise aprofundada de um caso específico, com o objetivo de compreender suas causas de forma abrangente e completa. Conforme Menezes et al. [9], esse tipo de abordagem permite romper as fronteiras entre a observação técnica e as ações práticas relacionadas ao objeto investigado.

A aplicação da Matriz GUT, proposta por Kepner e Tregoe em 1980, constitui uma ferramenta de gestão voltada à priorização de problemas e à definição de ações estratégicas. Sua principal característica é proporcionar uma classificação sistemática dos problemas, com base na gravidade, urgência e tendência de agravamento. Essa metodologia destaca-se pela simplicidade de aplicação e pela flexibilidade de uso, sendo adequada a diferentes contextos organizacionais e áreas de atuação.

O método compreende etapas fundamentais, tais como: a identificação dos problemas a serem analisados, a atribuição de pontuações conforme critérios pré-estabelecidos, a ordenação por prioridade e a definição das ações mais apropriadas.

Sua utilização contribui para um planejamento mais eficiente, permitindo uma alocação racional de recursos e a implementação estruturada de medidas corretivas e preventivas [10].

2.1 Área de estudo

O objeto de estudo da pesquisa é a Central de Aulas II, localizada no lado oeste do campus Mossoró da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Construída em 2008, a edificação possui apenas o pavimento térreo, contendo 12 salas de aula com capacidade média para 40 alunos, um banheiro feminino, um banheiro masculino, um sanitário adaptado para pessoas com deficiência (PCD) e uma copa. Em 2020, o prédio passou por uma reforma com o objetivo de mitigar algumas manifestações patológicas que comprometiam sua integridade, sendo executadas uma camada drenante no piso e uma camada de impermeabilização nas paredes [11]. A Figura 1 apresenta o mapa de localização da área de estudo.



Figura 1 - Localização da Central de Aulas II.

2.2 Coleta de dados

A pesquisa foi conduzida por meio de uma visita técnica à Central de Aulas II, localizada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Durante a inspeção, foram observados diversos ambientes da edificação com o objetivo de identificar manifestações patológicas que pudessem comprometer a integridade e a funcionalidade do prédio. As condições da edificação foram registradas de forma sistemática, por meio de fotografias dos ambientes, com foco especial nas áreas que apresentavam sinais visíveis de degradação, como fissuras, umidade e outros danos estruturais. As imagens serviram como documentos visuais para a análise detalhada das patologias identificadas.

Para garantir a precisão e a abrangência da inspeção, foram utilizados instrumentos técnicos específicos. O fissurômetro foi empregado para medir e classificar a abertura de fissuras nas estruturas; o paquímetro, para aferição de dimensões superiores a 3 mm; e o nível, para verificar o nivelamento dos pisos, avaliando sua uniformidade. Adicionalmente, foi realizado um ensaio com fenolftaleína, com o intuito de identificar a carbonatação do concreto nos pilares com armadura exposta.

Com base nas imagens obtidas, foi elaborado um relatório fotográfico contendo a descrição das manifestações patológicas encontradas, o qual teve papel fundamental na compreensão dos problemas existentes na edificação. Complementando a análise empírica, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que permitiu aprofundar o entendimento sobre as causas das

patologias e as possíveis medidas mitigadoras a serem adotadas. Tal etapa foi essencial para o embasamento teórico e prático das recomendações propostas para a melhoria da edificação.

Além disso, foi executado um levantamento topográfico da Central de Aulas II, utilizando uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), com o objetivo de analisar as curvas de nível da área. A finalidade foi verificar a existência de cotas baixas ou movimentações de terra que pudessem justificar recalques na edificação ou o surgimento de outras manifestações patológicas relacionadas. O modelo de ARP utilizado foi o *Mavic* Mini 2s, da empresa DJI. As imagens capturadas pelo drone foram processadas no software *Agisoft Metashape Professional*, resultando na geração de um ortomosaico. A Figura 3 apresenta o equipamento utilizado no levantamento.

2.3 Análise de dados

A matriz GUT, segundo Leite et al. [1], consiste em uma metodologia empregada para compreender, de forma mais detalhada e qualificada, as manifestações patológicas em edificações. Por meio de diversos procedimentos, pesquisas e técnicas, torna-se possível analisar com clareza a situação das construções e as manifestações patológicas nelas identificadas. Para tanto, é necessário elaborar tabelas de verificação específicas, destinadas à inspeção predial do objeto de estudo. Na Tabela 1, encontram-se informações sobre a classificação e o grau de criticidade referentes ao primeiro critério de avaliação, a Gravidade da manifestação patológica.

Tabela 1 - Classificação e grau de criticidade para a Gravidade [4].

Grau	Definição do grau	Nota
TOTAL	Risco de morte, colapso da estrutura, incêndio; danos irreparáveis; prejuízo financeiro.	10
ALTA	Risco de ferimentos; danos reversíveis; impacto recuperável; afetação parcial; prejuízo financeiro alto.	8
MÉDIA	Risco à saúde; desconforto do usuário; danos reparáveis; perda de funcionalidade; danos ambientais reparáveis; prejuízo financeiro médio.	6
BAIXA	Ausência de riscos e/ou fatalidades do usuário; problemas menores e fácil solução; manutenção preventiva; baixo custo.	3
NENHUMA	Não há riscos e/ou fatalidade do usuário; mínima depreciação; manutenção simples.	1

Já a Tabela 2 apresenta a classificação das manifestações e seu grau de criticidade com base no segundo critério do método, a Urgência, que se refere à significância do problema e à necessidade de sua resolução em curto prazo. Assim, quanto maior o grau atribuído, mais imediata deve ser a intervenção corretiva.

Tabela 2 - Classificação e grau de criticidade para a Urgência [4].

Grau	Definição do grau	Nota
TOTAL	Ocorrência em curso, emergência que requer ação imediata, sem prazo estipulado.	10
ALTA	Ameaça iminente, alto risco que exige atenção imediata, deve ser solucionada imediatamente.	8
MÉDIA	Situação prevista para breve, ação deve ser tomada o mais cedo possível.	6
BAIXA	Possível acontecimento futuro, mas não há urgência imediata.	3
NENHUMA	Situação que não está prevista, pode ser monitorada e tratada de forma planejada.	1

O terceiro critério, apresentado na Tabela 3, refere-se à Tendência, ou seja, à probabilidade de a manifestação patológica aumentar de extensão ou severidade ao longo do tempo. Em outras palavras, quanto maior o grau atribuído, maiores as chances de agravamento da patologia.

Tabela 3 - Classificação e grau de criticidade para a Tendência [4].

Grau	Definição do grau	Nota
TOTAL	Rápida deterioração, com potencial para piorar ainda mais e de forma abrupta.	10
ALTA	Se agravará em breve, exige atenção e ação rápidas.	8
MÉDIA	Deterioração não é iminente, mas ainda exige atenção.	6
BAIXA	Deterioração provável, não há urgência imediata.	3
NENHUMA	Estável e não há previsão de piora	1

A Tabela 4, por sua vez, apresenta o resultado final da aplicação do método GUT, com um score que avalia a condição estrutural global da edificação. Esse índice foi obtido a partir da média aritmética das pontuações atribuídas a cada manifestação patológica, o que possibilitou a classificação do estado geral da edificação.

Tabela 4 – Classificação final da edificação.

Grau	Nota
TOTAL	Entre 512 e 1000
ALTA	Entre 216 e 512
MÉDIA	Entre 27 e 216
BAIXA	Entre 1 e 27
NENHUMA	1

Observa-se que as fissurações podem estar associadas tanto a fenômenos decorrentes da execução da obra quanto a fatores posteriores à sua conclusão. O fator determinante para uma intervenção adequada é a análise criteriosa das causas, de modo a identificar a origem e a gravidade do problema. Essa abordagem permite a adoção de medidas corretivas eficazes, além da prevenção de novas ocorrências. Segundo Olivari [12], as manifestações patológicas decorrentes de fissuração são classificadas conforme a espessura da abertura em fissura capilar, fissura, trinca, rachadura, fenda e brecha. A Tabela 5 apresenta as respectivas classificações propostas pelo autor.

Tabela 5 – Classificação de abertura de fissuras [12].

Classificação	Espessura (mm)
Fissura capilar	< 0,2
Fissura	entre 0,2 e 0,5
Trinca	entre 0,5 e 1,5
Rachadura	entre 1,5 e 5,0
Fenda	entre 5,0 e 10,0
Brecha	> 10

Posteriormente, elaborou-se uma nova tabela com o objetivo de identificar as patologias observadas na edificação em estudo. Nessa tabela, a primeira coluna corresponde à descrição numérica utilizada para identificar cada item; a segunda apresenta as manifestações patológicas avaliadas; a terceira aplica o método GUT; e a quarta classifica os problemas conforme o grau de criticidade, organizando-os da manifestação mais crítica para a menos crítica [1].

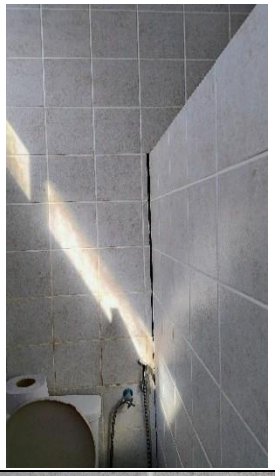
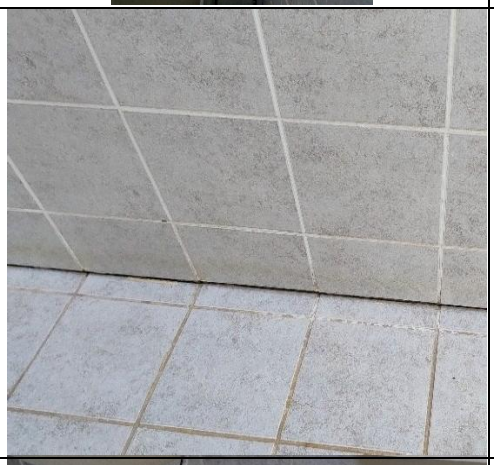
Além disso, foi utilizada uma abordagem complementar de análise das patologias por meio do Modelo Digital de Terreno (MDT), considerando sua precisão na modelagem do relevo a partir de imagens obtidas por Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP). Nesta pesquisa, o MDT teve como finalidade a obtenção das curvas de nível do terreno, o que possibilitou uma análise mais acurada da área em relação às movimentações de terra. Isso foi viabilizado por meio da verificação do projeto original de construção do edifício, permitindo a comparação entre o nível do terreno à época da execução do projeto e as condições atuais.

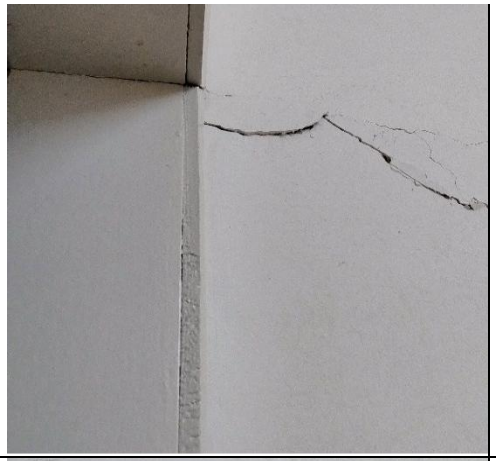
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos dados coletados durante a inspeção visual na Central de Aulas II, foram obtidos resultados significativos, apresentados nesta seção. Os dados estão organizados conforme as variáveis analisadas e incluem a descrição das tendências observadas ao longo da pesquisa. As manifestações patológicas são dispostas de acordo com uma possível origem identificada. No Quadro 1, apresenta-se o relatório fotográfico elaborado a partir da visita técnica à Central de Aulas II.

Quadro 1 – Relatório fotográfico da Central de Aulas II.

Item	**Situação identificada**	**Manifestação patológica**	**G**	**U**	**T**	**GUT**
			Gravidade	**Urgência**	**Tendência**	
1		Recalque	4	5	6	120

2		Recalque	4	5	6	120
3		Recalque da fundação	3	6	6	108
4		Recalque	3	6	6	108

5		Recalque da fundação	6	3	6	108
6		Bolor	3	6	6	108
7		Recalque	3	6	6	108

8		Corrosão de armação	6	6	8	288
9		Fendas	6	6	8	288
10		Recalque	3	6	6	108

11		Corrosão de armação	3	6	6	108

Considerando a gravidade da patologia identificada no item 8, a fissuração foi mensurada com o uso de um paquímetro, sendo registrada uma abertura com 17 mm de espessura. De acordo com a classificação proposta por Olivari [12], essa dimensão caracteriza a fissuração como uma brecha. A Figura 2 apresenta o registro da medição realizada na abertura da fissuração.



Figura 2 – Medição com paquímetro da brecha no pilar.

Para complementar a análise, foi realizado um teste com indicador de fenolftaleína, com o objetivo de determinar o grau de carbonatação do concreto do pilar. O resultado revelou que o concreto encontra-se completamente carbonatado, sendo observada coloração rosa intensa apenas em pequenas regiões adjacentes à armadura, e de forma sutil no cobrimento. A Figura 3 apresenta o resultado do ensaio rápido com fenolftaleína.



Figura 3 – Teste com indicador de fenolftaleína.

Com a obtenção das curvas de nível da área da Central de Aulas II, foi possível observar que as cotas nas proximidades da entrada do campus variam entre 39 e 41 metros de altitude, enquanto nas imediações da edificação encontram-se entre 36 e 39 metros. Diante dessa diferença altimétrica, constatou-se um rebaixamento do terreno nas proximidades do prédio, o que pode favorecer tanto o escoamento concentrado de águas pluviais quanto a movimentação de solo na região.

Essa condição geomorfológica pode estar relacionada ao recalque observado na edificação, possivelmente decorrente da instabilidade do terreno que compromete diretamente a fundação, agravada pela ausência de um sistema eficiente de drenagem pluvial. A Figura 2 apresenta as curvas de nível obtidas por meio do levantamento topográfico.

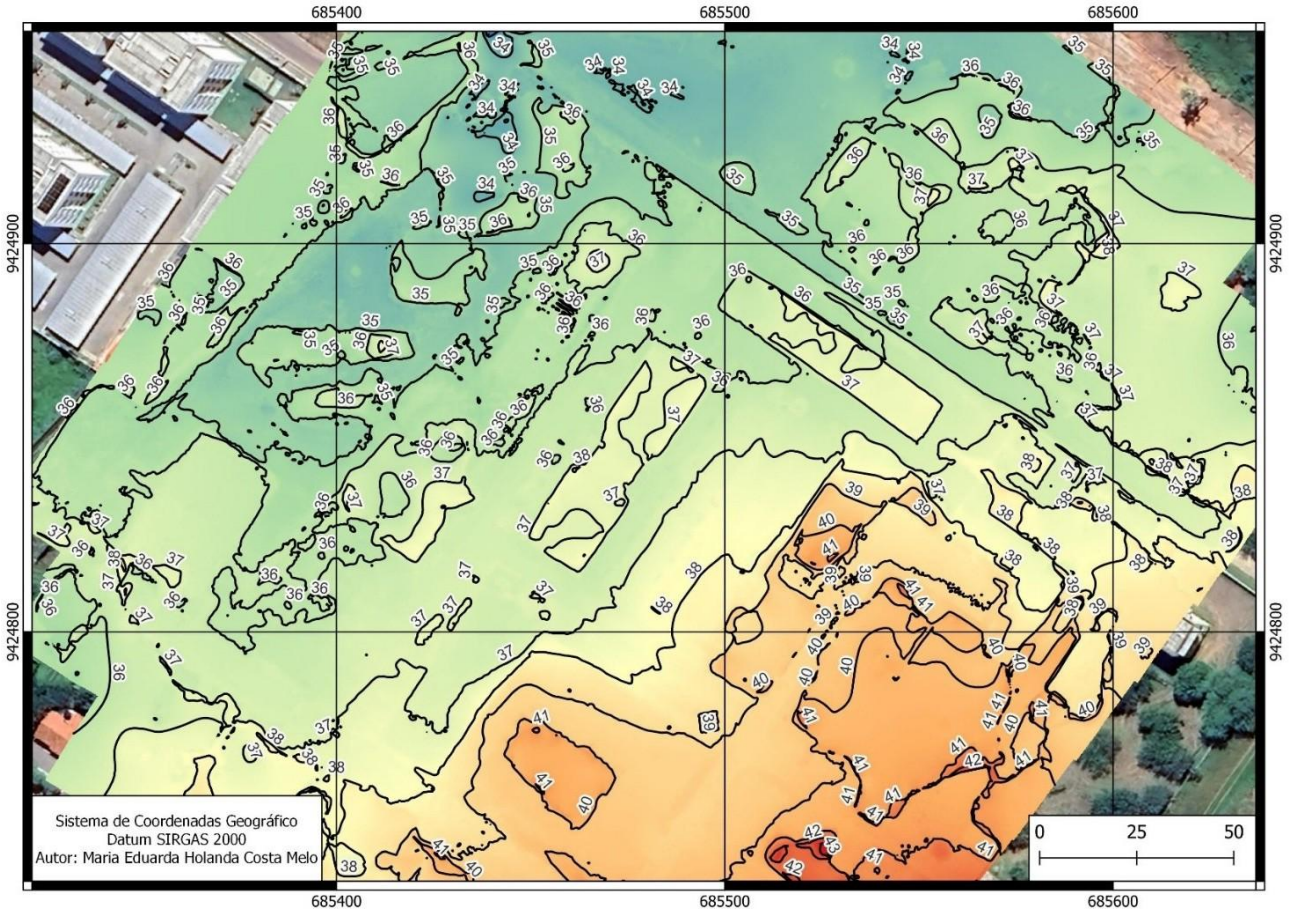


Figura 2 – Curvas de nível do *campus* oeste da UFERSA.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas ao longo desta pesquisa revelaram um quadro complexo de manifestações patológicas na edificação, abrangendo desde problemas relacionados à umidade e fissuração até falhas estruturais mais severas, como recalque diferencial e corrosão de armaduras. A partir da aplicação da matriz GUT, obteve-se um score de 143, o qual classificou a condição da edificação como de criticidade média, representando um sinal de alerta para um possível agravamento em um futuro próximo. Assim, o estudo de caso evidenciou aspectos fragilizados da estrutura que, se tratados adequadamente, podem ser solucionados de forma mais eficaz.

A utilização da metodologia GUT possibilitou a priorização das manifestações patológicas com base nos critérios de gravidade, urgência e tendência de evolução, contribuindo para a elaboração de um plano de ação mais eficiente. Em síntese, esta pesquisa fornece um diagnóstico detalhado das patologias presentes na edificação e propõe recomendações técnicas para sua correção. A adoção das medidas sugeridas, associada à implementação de um programa de manutenção

preventiva, poderá colaborar significativamente para a restauração da integridade estrutural e para a segurança dos usuários da edificação.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de ensaios laboratoriais que permitam avaliar, com maior precisão, as reais condições do concreto e das armaduras expostas, utilizando-se de equipamentos mais avançados e técnicas complementares de inspeção.

REFERÊNCIAS

[1] LEITE, Danilo Martins *et al*. Análise das manifestações patológicas nas edificações do município de Guadalupe, Piauí. **Revista Principia**, v. 60, n. 1, p. 88-101, 2023.

[2] BRAGA, Isaías Carlos *et al*. Aplicação da Matriz GUT na análise de manifestações patológicas em construções históricas. **Revista ALCONPAT**, v. 9, n. 3, p. 320-335, 2019.

[3] FERREIRA, Jackeline Batista; LOBÃO, Victor Wandir Neves. Manifestações patológicas na construção civil. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE**, v. 5, n. 1, p. 71-71, 2018.

[4] VERZOLA, S. N.; MARCHIORI, F. F.; ARAGON, J. O. Proposta de lista de verificação para inspeção predial x urgência das manutenções. ENTAC–XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: avanços no desempenho das construções - pesquisa, inovação e capacitação profissional - ENTAC 2014**, Maceió, 2014.

[5] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

[6] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de Edificações - Requisitos para o Sistema de Gestão de Manutenção**. Rio de Janeiro, 2024.

[7] IBAPE – INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma de Inspeção Predial Nacional**. São Paulo: IBAPE, 2012.

[8] OLIVEIRA, Aline Alves de *et al*. **Inspeção de manifestações patológicas em fachadas utilizando aeronaves remotamente pilotadas**. 2020.

[9] MENEZES, Afonso Henrique Novaes *et al*. Metodologia científica: teoria e aplicação na educação a distância. **Fundação Universidade Federal do Vale do São Francisco**, Petrolina-PE, p. 1-84, 2019. ISBN: 978-85-60382-91-0.

[10] KEPNER, Charles H.; TREGOE, Benjamin B. O Administrador Racional: Uma Abordagem Sistemática à Solução de Problemas e Tomada de Decisões. 2a Edição. São Paulo, **Editora Atlas**, 1981, 222p.

[11] PORTAL UFERSA. Ufersa recupera salas de aula e laboratórios em Mossoró. 2020. Disponível em: https://assecom.ufersa.edu.br/2020/08/27/ufersa-recupera-salas-de-aula-e-laboratorios-em-mossoro/. Acesso em: 20 jan. 2025.

[12] OLIVARI, Giorgio. **Patologia em edificações**. São Paulo, p.95, 2003.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-26

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil

ANÁLISE E PRIORIZAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÃO AUTOCONSTRUÍDA: APLICAÇÃO DOS MÉTODOS GUT E FMEA PARA INTERVENÇÕES CORRETIVAS

ALMEIDA, Maria Alany Medeiros[1]; SOUZA, Rayanderson Saraiva[2]; SILVA, Mariany dos Santos[3].

[1] Instituto Federal do Ceará, Quixadá, Brasil, alanymede15@gmail.com.
[2] Instituto Federal do Ceará, Quixadá, Brasil, rayanderson.saraiva@ifce.edu.br, 0000-0001-5150-9673.
[3] Instituto Federal do Ceará, Quixadá, Brasil, mariany.santos.silva07@aluno.ifce.edu.br.

RESUMO

As manifestações patológicas em edificações consistem em processos de degradação que comprometem o desempenho de materiais, componentes e sistemas construtivos. Em contextos de vulnerabilidade socioeconômica, a prática da autoconstrução, frequentemente realizada sem a devida orientação técnica, potencializa a incidência dessas anomalias. Nesse cenário, o presente estudo teve como objetivo identificar e priorizar as manifestações patológicas observadas em uma residência autoconstruída no município de Quixeramobim (CE), por meio da aplicação das metodologias GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) e FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa e descritiva, fundamentada na inspeção visual, registro fotográfico e mapeamento das falhas na planta da edificação. Os principais problemas identificados incluíram trincas, infiltrações, destacamentos de revestimentos e eflorescência. A aplicação das ferramentas evidenciou diferenças na priorização das falhas, reflexo das distintas lógicas de avaliação adotadas por cada método. Conclui-se que o uso combinado das metodologias GUT e FMEA contribui para uma análise mais abrangente e criteriosa, sendo um suporte relevante à tomada de decisão em intervenções corretivas em edificações autoconstruídas.

Palavras-chave: autoconstrução; manifestação patológica; GUT; FMEA.

ABSTRACT

Pathological manifestations in buildings are degradation processes that compromise the performance of materials, components, and construction systems. In contexts of socioeconomic vulnerability, self-construction—often carried out without proper technical guidance—favors the occurrence of such anomalies. In this context, the present study aimed to identify and prioritize pathological manifestations observed in a self-built dwelling located in the municipality of Quixeramobim (CE), through the application of the GUT (Gravity, Urgency, and Trend) and FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) methodologies. The research adopted a qualitative and descriptive approach, based on visual inspection, photographic records, and mapping of failures on the building's floor plan. The main issues identified included cracks, moisture infiltration, coating detachment, and efflorescence. The application of the tools revealed differences in the prioritization of failures, reflecting the distinct evaluation logics of each method. It is concluded that the combined use of GUT and FMEA methodologies provides a more comprehensive and accurate analysis, offering valuable support for decision-making in corrective interventions in self-built constructions.

Keywords:Self-construction; pathological manifestation; GUT; FMEA.

1 INTRODUÇÃO

A busca por moradia é uma necessidade fundamental e um direito garantido a todos os cidadãos. No entanto, fatores como o aumento dos preços das terras urbanas e a especulação imobiliária têm dificultado o acesso à habitação formal, especialmente para a população de baixa renda. Diante disso, muitas famílias optam pela autoconstrução, uma prática informal que envolve a edificação da própria moradia, geralmente sem o acompanhamento de profissionais habilitados, como arquitetos e engenheiros [1-2].

A falta de conhecimento técnico e o uso inadequado de materiais e métodos construtivos tornam essas edificações mais suscetíveis às chamadas manifestações patológicas, que vão desde desgastes superficiais até falhas que comprometem a segurança estrutural [3]. Segundo a NBR 16747 [4], essas manifestações são processos de degradação que afetam materiais, componentes ou sistemas construtivos, reduzindo seu desempenho ao longo do tempo.

A partir da recorrência dessas falhas, torna-se essencial estabelecer prioridades de intervenção para garantir a estabilidade das construções e a segurança de seus ocupantes. Para isso, o uso de metodologias como a matriz de Gravidade, Urgência e Tendência (GUT) e a Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA) se mostra eficaz. Essas ferramentas permitem identificar, classificar e hierarquizar os problemas de acordo com critérios técnicos, facilitando a tomada de decisão sobre os reparos mais importantes [5-6].

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo aplicar as ferramentas GUT e FMEA na análise das manifestações patológicas observadas em uma edificação autoconstruída no município de Quixeramobim (CE). As metodologias serão utilizadas para a priorização das não conformidades identificadas em campo. Além disso, será realizado o mapeamento das manifestações patológicas na planta baixa da residência, a fim de facilitar a visualização e análise detalhada das falhas. Por fim, será realizada uma análise comparativa dos resultados obtidos, com o intuito de verificar a existência de convergência ou divergência entre os métodos aplicados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Existem diversas ferramentas fundamentais para a identificação e compreensão de problemas relacionados à qualidade, especialmente na análise e resolução de questões que surgem em edificações. A utilização de ferramentas de priorização é crucial nesse contexto, uma vez que cada uma delas pode fornecer uma perspectiva única sobre o problema em questão [7].

A Norma de Inspeção Predial [8] recomenda a utilização dos métodos GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) ou FMEA (Análise dos Modos de Falhas e Efeitos) como ferramentas essenciais de gestão da qualidade para priorizar a aplicação de correções. Essas metodologias permitem estabelecer uma ordem de prioridades baseada na avaliação decrescente do grau de risco e da intensidade das anomalias e falhas identificadas.

2.1 GUT

A aplicação da GUT envolve a atribuição de notas de 1 a 5 para cada critério. A gravidade avalia o impacto do problema, a urgência indica o tempo disponível para solucioná-lo e a tendência analisa a probabilidade de agravamento ao longo do tempo [9]. Multiplicando-se os valores atribuídos a cada fator, obtém-se um índice que permite hierarquizar os problemas conforme sua criticidade. Essa abordagem orienta a atuação em falhas mais relevantes, otimizando recursos e reduzindo impactos negativos [11].

Para facilitar a compreensão, a Tabela 1 ilustra uma simulação da aplicação da metodologia GUT.

Tabela 1 - Simulação da aplicação do método GUT

Manifestações patológicas	G	U	T	GUT	Prioridade
	Gravidade	Urgência	Tendência		
Fissuras	5	5	5	125	1°
Eflorescência	3	3	4	48	3°
Infiltrações e vazamentos	4	5	5	100	2°
Deterioração de acabamentos	2	2	2	8	4°

Para fins técnicos, fissura é uma abertura superficial e delgada; trinca, uma fissura evoluída com maior profundidade; rachadura, uma abertura mais ampla e crítica; e fenda, uma abertura linear ou separação estrutural perceptível em elementos construtivos [12].
Com o objetivo de evitar subjetividade na atribuição de notas, considera-se os seguintes critérios, apresentados no Quadro 1, ao avaliar os parâmetros.

Quadro 1 – Critérios para atribuição de notas da matriz GUT

Índice	Parâmetro		
	Gravidade	Urgência	Tendência
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não irá mudar
2	Pouco grave	Pouco urgente	Irá piorar a longo prazo
3	Grave	Urgente, merece atenção a curto prazo	Irá piorar a médio prazo
4	Muito grave	Muito Urgente	Irá piorar a curto prazo
5	Extremamente grave	Necessita de atenção imediata	Irá piorar rapidamente

2.2 FMEA - Failure Mode and Effects Analysis

Segundo a NBR 5264 [13], o FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) trata-se de uma análise qualitativa que avalia o impacto das falhas sobre subitens e funções essenciais do sistema. Sua aplicação permite antecipar falhas, reduzir riscos e orientar ações corretivas e preventivas. O modelo do formulário FMEA, conforme apresentado no Quadro 2, serve como referência para a implementação dessa análise em diferentes contextos [14].

Quadro 2 – Modelo do formulário FMEA

N°	Manifestação Patológica							
	Modos	Efeitos	Possíveis Causas	Índices				Classificação da Prioridade
				O	G	D	NRP	

De acordo com Martínez Lugo [15], o formulário FMEA é composto por três campos principais: o modo de falha, que descreve as formas específicas pelas quais um componente, sistema ou processo pode falhar ou já apresentou falhas; os efeitos da falha, que representam as consequências dessas falhas na operação; e a causa da falha, que identifica como a falha pode ter ocorrido, considerando aspectos que podem ser controlados ou corrigidos.

A análise dos riscos no FMEA é feita de forma quantitativa, por meio de três índices: severidade (S), que avalia a gravidade do efeito da falha; ocorrência (O), que mede a probabilidade de a falha acontecer; e detecção (D), que representa a chance de identificar a falha antes que ela ocorra [16].

- Severidade (S): Mede o impacto da falha no cliente em uma escala de 1 a 10, conforme os critérios detalhados no Quadro 3.

Quadro 3 – Critério de severidade da falha

Classificação	Severidade	Critério
1	Mínima	Não perceptível ou improvável
2 -3	Baixa	Deterioração leve no desempenho, ocasionando moderada insatisfação do cliente.
4 – 5 – 6	Moderada	Degradação substancial no desempenho do sistema, gerando insatisfação por parte do cliente.
7 - 8	Alta	Falha total do sistema, resultando em significativo descontentamento do cliente.
9 - 10	Muito Alta	Falha total do sistema, resultando em significativa insatisfação do cliente e elevados riscos de segurança.

- Ocorrência (O): Avalia a frequência da falha em uma escala de 1 a 10, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – Critério de ocorrência da falha

Classificação	Ocorrência	Critério
1	Mínima	Falha improvável ou não considerada
2 - 3	Baixa	A falha ocorre pouquíssimas ou poucas vezes
4 - 5 - 6	Moderada	A falha ocorre algumas vezes
7 - 8	Alta	A falha ocorre frequentemente
9 - 10	Muito Alta	Inevitavelmente a falha ocorrerá

- Detecção (D): Avalia a probabilidade de detectar a falha antes que ela chegue ao cliente, em uma escala de 1 a 10, conforme o Quadro 5.

Quadro 5 – Critério de detecção da falha.

Classificação	Detecção	Critério
1	Muito Alta	Certamente será detectada
2 - 3	Alta	Grande probabilidade de ser detectada
4 - 5 - 6	Moderada	Provavelmente será detectada
7 - 8	Baixa	Provavelmente não será detectada
9 - 10	Mínima	Certamente não será detectada

No âmbito da metodologia FMEA, o Número de Prioridade de Risco (NPR) constitui um parâmetro fundamental para a priorização das falhas identificadas. Esse índice é obtido por meio do produto dos fatores Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D), conforme a Equação 1:

$$NPR = S \times O \times D \quad (1)$$

Valores elevados de NPR indicam falhas com maior criticidade, demandando atenção prioritária no planejamento de ações corretivas [17].

3. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa básica, com o intuito de ampliar o conhecimento teórico sobre manifestações patológicas em edificações autoconstruídas [18]. De acordo com Cauchick-Miguel [19], quanto aos objetivos, adota-se uma abordagem exploratória e descritiva, com foco na análise de residências unifamiliares autoconstruídas no município de Quixeramobim (CE) e na aplicação comparativa das ferramentas GUT e FMEA para priorização de falhas.

A pesquisa emprega abordagem qualitativa, fundamentada na coleta de dados por meio de inspeção visual e registros fotográficos, posteriormente organizados e avaliados por matrizes de priorização [20]. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, recorre-se à pesquisa bibliográfica, documental e ao estudo de caso, conforme descrito por Prodanov e Freitas [18] e Cauchick-Miguel [19].

3.1 Etapas da pesquisa

A presente pesquisa foi desenvolvida no município de Quixeramobim, estado do Ceará, situado a aproximadamente 204 km da capital, Fortaleza. Com área territorial de 3.324,987 km² e população estimada em 82.177 habitantes, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [21]. Foi selecionada e analisada uma residência unifamiliar autoconstruída, levando em consideração seu estado de conservação, o que possibilitou a identificação de manifestações patológicas em diferentes estágios de deterioração.

Durante a vistoria na residência selecionada, todas as desconformidades foram registradas por meio de um checklist de inspeção, conforme o modelo apresentado no Quadro 6. A análise incluiu uma inspeção visual, complementada pelo mapeamento das manifestações patológicas na planta baixa da edificação. A abordagem adotada foi sistêmica, assegurando uma avaliação completa dos aspectos relevantes da construção.

Quadro 6 – Lista de verificação de manifestações patológicas

Manifestação patológica	Sim	Não	Local
Descascamento da pintura			
Deslocamento com empolamento			
Destacamento com pulverulência			
Deslocamento ou destacamento de revestimento cerâmico			
Deterioração das juntas			
Eflorescência			
Fenda			
Fissura			
Mofo/bolor			
Rachadura			
Trinca			
Umidade (Precipitação, condensação, ascensional, construção ou acidental)			

Após a vistoria das edificações e o preenchimento da lista de verificação, foi criado um quadro, conforme o Quadro 7, que detalha os problemas identificados. O quadro inclui imagens das áreas afetadas e as manifestações patológicas encontradas.

Quadro 7 - Apresentação das irregularidades

Nº XX	
Local: XXX	
Imagem	**Manifestação patológica**

Os dados coletados foram analisados por meio das ferramentas de priorização, especificamente a matriz GUT e o formulário FMEA. A aplicação de cada método resultou na criação de uma lista de priorização para a manutenção das manifestações patológicas nas edificações, na qual os problemas foram classificados e ordenados conforme sua gravidade e a urgência da correção necessária.

4 RESULTADOS

4.1 Anomalias encontradas na edificação

A edificação em análise caracteriza-se como uma construção autônoma, adquirida por meio de permuta entre os proprietários. Conforme os relatos obtidos, a construção teve início em 2013 e, desde sua conclusão, apresentou diversas manifestações patológicas. Os residentes informaram que, apesar das intervenções corretivas, os defeitos retornavam em um curto intervalo de tempo, tornando-se mais perceptíveis durante o período de precipitações pluviométricas.

O Quadro 8 apresenta o levantamento das manifestações patológicas observadas na residência, onde foram identificadas sete diferentes ocorrências: destacamento com pulverulência, destacamento de revestimento cerâmico, deterioração das juntas, presença de eflorescência, trincas, mofo/bolor e umidade proveniente da precipitação. Essas patologias estão entre as mais recorrentes em edificações residenciais no Brasil, especialmente nos estudos que abordam os efeitos da umidade na construção civil [22]. Destaca-se que infiltrações, sejam decorrentes da chuva ou da umidade ascensional, constituem os principais agentes desencadeadores de manifestações como eflorescência e desagregação de materiais [23].

Quadro 8 – Lista de verificação de manifestações patológicas

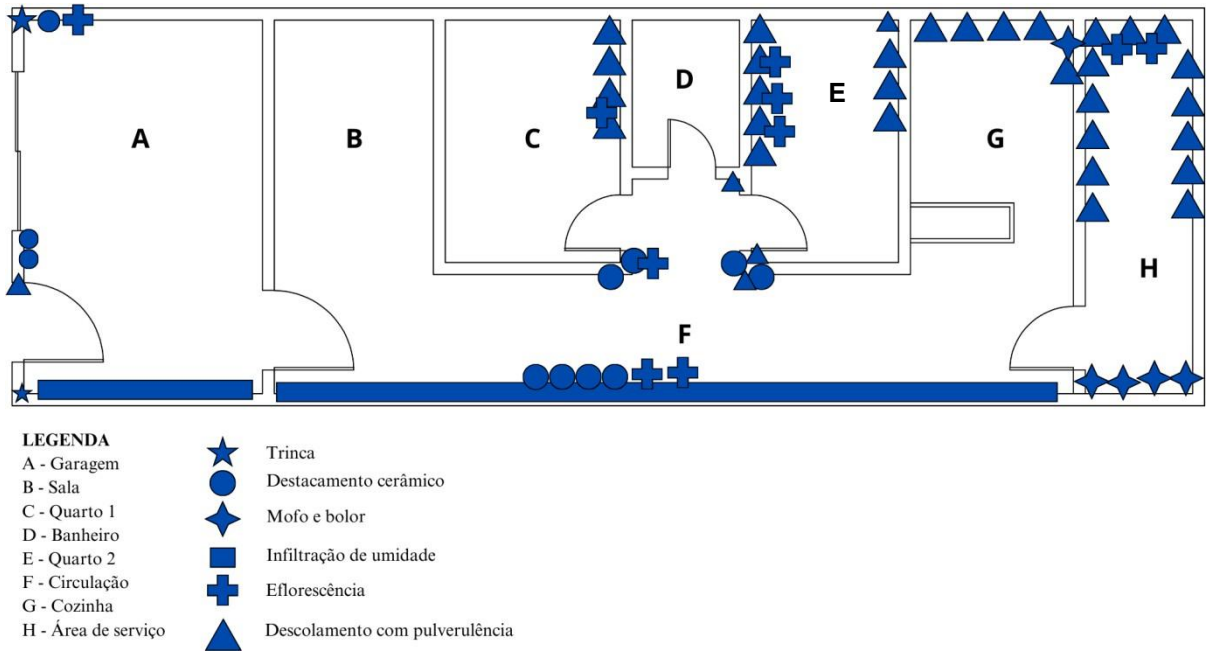
Manifestação patológica	Sim	Não	Local
Descascamento da pintura		X	-
Descolamento com empolamento		X	-
Destacamento com pulverulência	X		Garagem, quarto 1 e 2, circulação, cozinha e área de serviço.
Destacamento de revestimento cerâmico	X		Garagem e circulação.
Deterioração das juntas	X		Banheiro.
Eflorescência	X		Garagem, circulação, quarto 1, quarto 2 e cozinha.
Fenda		X	-
Fissura		X	-
Mofo/bolor	X		Cozinha e Área de serviço.
Rachadura		X	-
Trinca	X		Garagem.
Umidade (Precipitação, condensação, ascensional, construção ou acidental)	X		Garagem e circulação.

A eflorescência observada internamente nesta edificação configura uma possível divergência em relação às ocorrências típicas descritas na literatura, sendo associada, na maioria dos casos, a superfícies expostas ou drenagem inadequada [24]. Fatores como a presença de materiais higroscópicos, ausência de impermeabilização e características específicas do terreno adjacente devem ser considerados como causas potenciais da intensificação dessas manifestações [25].

Diante disso, após o mapeamento, Figura 1, observou-se uma intensificação das manifestações patológicas a partir do cômodo E, coincidindo com o término da área construída da residência vizinha. A partir desse ponto, encontra-se um terreno adjacente com significativa movimentação higroscópica, o que possivelmente contribui para o agravamento das falhas observadas.

Adicionalmente, conforme Figura 1, observou-se a concentração de umidade de precipitação na parede onde se localiza uma calha de zinco. A análise indicou que a provável causa do problema é a insuficiência da calha em comportar a vazão pluvial, ocasionando transbordamento e, consequentemente, manchas de umidade e saturação da alvenaria,

Figura 1 – Mapeamento de manifestações patológicas - residência



As manifestações encontradas foram apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9 - Manifestações patológicas identificadas na residência

(continua)

N° 01		**N° 02**	
Local: Garagem		**Local:** Garagem	
Imagem	**Manifestação patológica**	**Imagem**	**Manifestação patológica**
	Mancha de umidade de precipitação.		Deterioração com pulverulência.

Quadro 9 - Manifestações patológicas identificadas na residência

(continua)

Nº 03		**Nº 04**	
Local: Garagem		**Local:** Garagem	
Imagem	**Manifestação patológica**	**Imagem**	**Manifestação patológica**
	Trinca com espessura de 2mm.		Destacamento cerâmico.
Nº 05		**Nº 06**	
Local: Sala		**Local:** Circulação	
Imagem	**Manifestação patológica**	**Imagem**	**Manifestação patológica**
	Mancha de umidade de precipitação.		1- Destacamento cerâmico. 2- Destacamento com pulverulência.
Nº 07		**Nº 09**	
Local: Circulação		**Local:** Circulação	
Imagem	**Manifestação patológica**	**Imagem**	**Manifestação patológica**
	1- Destacamento com pulverulência. 2- Eflorescência.		1- Destacamento com pulverulência. 2- Eflorescência.

Quadro 9 - Manifestações patológicas identificadas na residência

(continua)

N° 10		**N° 11**	
Local: Quarto 1		**Local:** Quarto 1	
Imagem	**Manifestação patológica**	**Imagem**	**Manifestação patológica**
	Destacamento com pulverulência.		1- Destacamento com pulverulência. 2- Eflorescência.
N° 12		**N° 13**	
Local: Banheiro		**Local:** Quarto 2	
Imagem	**Manifestação patológica**	**Imagem**	**Manifestação patológica**
	Deterioração das juntas do revestimento cerâmico.		1- Destacamento com pulverulência. 2- Eflorescência.
N° 14		**N° 15**	
Local: Local: Quarto 2		**Local:** Cozinha	
Imagem	**Manifestação patológica**	**Imagem**	**Manifestação patológica**
	Destacamento com pulverulência.		Destacamento com pulverulência.

Quadro 9 - Manifestações patológicas identificadas na residência

(conclusão)

N° 16	
Local: Cozinha	
Imagem	**Manifestação patológica**
	Destacamento com pulverulência.

N° 17	
Local: Cozinha	
Imagem	**Manifestação patológica**
	1- Mofo/Bolor. 2- Destacamento com pulverulência.

N° 18	
Local: Área de serviço	
Imagem	**Manifestação patológica**
	Destacamento com pulverulência.

N° 19	
Local: Área de serviço	
Imagem	**Manifestação patológica**
	Mofo/Bolor

N° 20	
Local: Local: Área de serviço	
Imagem	**Manifestação patológica**
	1- Destacamento com pulverulência. 2- Eflorescência.

4.2 Matriz GUT e formulário FMEA

No estudo das manifestações patológicas, aplicaram-se a Matriz GUT e o formulário FMEA, cujos resultados estão apresentados na Tabela 2 no Quadro 10.

Tabela 2 – Matriz de aplicação do método GUT

Manifestações patológicas	G	U	T	GUT	Prioridade
	Gravidade	Urgência	Tendência		
Trinca	5	5	5	125	1°
Infiltração por umidade de precipitação	5	4	5	100	2°
Deterioração com pulverulência	4	5	4	80	3°
Destacamento cerâmico	3	4	3	36	4°
Mofo/Bolor	3	3	3	27	5°
Eflorescência	2	3	3	18	6°
Deterioração de juntas cerâmicas	3	2	3	18	

Quadro 10 - Aplicação do formulário FMEA

(continua)

N°	Manifestação Patológica							
	Modos	Efeitos	Possíveis Causas	Índices				Ordem
				O	S	D	NRP	
1	Trinca	Comprometimento estrutural e potencial risco de infiltrações.	1- Movimentos térmicos e higroscópicos. 2- Retração da alvenaria. 3- Sobrecargas estruturais.	6	9	9	486	1°
2	Deterioração com pulverulência	Impacta a aparência e a integridade da superfície, com potencial para se agravar em desagregações mais profundas.	1- Umidade proveniente do solo. 2- Uso de argamassa magra. 3- Ausência de impermeabilização na base.	8	7	6	336	2°
3	Infiltração por umidade de precipitação	Manchas de umidade e vazamentos	1- Entupimento ou dimensionamento inadequado das calhas provoca o transbordamento da água das chuvas.	7	8	5	280	3°
4	Destacamento cerâmico	Risco de ter novos destacamentos	1- Presença de umidade ascendente. 2- Ausência de impermeabilização na base. 3- Uso de argamassa magra. 4- Infestação de insetos no interior da parede.	6	7	5	210	4°
5	Eflorescência	Comprometimento da estética.	1- Ausência de impermeabilização na base. 2- Sais solúveis no solo ou materiais de construção.	7	7	3	147	5°

Quadro 10 - Aplicação do formulário FMEA

(Conclusão)

N°	Manifestação Patológica							
	Modos	Efeitos	Possíveis Causas	Índices				Ordem
				O	S	D	NRP	
6	Deterioração de juntas cerâmicas	Facilita a infiltração nas peças cerâmicas e o acúmulo de sujeiras.	1- Presença de umidade constante. 2- Uso de produtos de limpeza abrasivos.	3	5	8	120	6°
7	Mofo/Bolor	Afeta a saúde dos ocupantes e compromete a estética.	1- Infiltração de águas pluviais. 2- Ocorrência em áreas sombreadas.	6	6	3	108	7°

Na análise comparativa entre os métodos GUT e FMEA para a priorização de manifestações patológicas, observam-se diferenças relevantes nas abordagens adotadas. A matriz GUT atribui valores com base na gravidade, urgência e tendência dos problemas, priorizando aqueles com maior impacto imediato [26]. Por outro lado, o FMEA foca na prevenção de falhas, considerando a severidade, a probabilidade de ocorrência e a capacidade de detecção, com o objetivo de garantir a confiabilidade dos processos e materiais [26-7].

As variações nos resultados apresentados na Tabela 2 e no Quadro 10 refletem essas distinções metodológicas. Além disso, a subjetividade na atribuição de pontuações, comum a ambos os métodos, influencia diretamente na hierarquização das manifestações, o que pode levar a diferentes ordens de prioridade entre as ferramentas.

5 CONCLUSÃO

A análise das manifestações patológicas identificadas na residência evidenciou os impactos da autoconstrução, prática recorrente em contextos de restrição socioeconômica. Embora represente uma alternativa viável para famílias com recursos limitados, a ausência de assistência técnica especializada compromete a qualidade construtiva, gerando falhas que demandam constantes intervenções corretivas e, consequentemente, custos mais elevados ao longo do tempo.

Na priorização das manifestações observadas, foram aplicadas as metodologias GUT e FMEA, cujos resultados apresentaram divergências, atribuídas às abordagens distintas adotadas por cada ferramenta. A matriz GUT valoriza aspectos relacionados à gravidade, urgência e tendência de agravamento das falhas, enquanto o FMEA considera, de forma mais técnica e preventiva, a severidade, a frequência de ocorrência e a capacidade de detecção das falhas. A discrepância nos resultados evidencia como diferentes critérios de análise podem levar a decisões distintas quanto à priorização dos reparos, ressaltando a importância de uma avaliação integrada e criteriosa, especialmente em contextos de vulnerabilidade construtiva.

A análise das manifestações patológicas, utilizando os métodos GUT e FMEA, evidenciou a importância de priorizar reparos de forma estruturada. Os resultados ressaltam a necessidade de apoio técnico para evitar problemas recorrentes em autoconstruções e melhorar a qualidade das moradias.

REFERÊNCIAS

[1] GOMES, Luana Rodrigues; MOREIRA, Lídia Maia. **Panorama dos aspectos técnicos de moradias autoconstruídas: Uma revisão narrativa**. Anais dos Encontros Nacionais de Engenharia e Desenvolvimento Social-ISSN 2594-7060, v. 17, n. 1, p. 21-21, 2022.

[2] OLIVEIRA, Ana Clébia Balbino de. **Manifestações patológicas nas autoconstruções habitacionais no Grande Bom Jardim na cidade de Fortaleza.** 2022.

[3] LOIOLA, Lídia Rebeka Teixeira. **Levantamento e investigação das manifestações patológicas incidentes em edificações históricas: um estudo de caso na Cidade de Icó-CE.** 2023.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 16747: **Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

[5] INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma de inspeção predial nacional.** São Paulo, 2021.

[6] LIMA, Hiago José Cardoso de. **Utilização da matriz GUT na análise de manifestações patológicas no prédio de uma Instituição de Ensino Superior em São Luís do Maranhão.** São Luís: Centro Universitário UNDB, 2021.

[7] SILVA, Patrícia Farias de Sousa. **Aplicação de ferramentas de priorização de tarefas na inspeção predial: um estudo de caso em uma residência unifamiliar em São Luís, Maranhão.** São Luís: Centro Universitário UNDB, 2021.

[8] IBAPE, Instituto brasileiro de avaliações e perícias de engenharia. **Norma de inspeção predial nacional.** São Paulo, 2012.

[9] ZARPELAM, Juliana Bertello; SILVA, Marcelo Pereira da. **Aplicação de matriz GUT na priorização de tarefas no setor financeiro de uma empresa de bebidas.** 2020.

[10] MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observas e analisar problemas.** 1. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2001.

[11] MARTINS, Natalia Pires; PESSOA, Raniely; NASCIMENTO, Rayssa. **Priorização na resolução de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: método GUT.** Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 2, n. 3, 2017.

[12] DE OLIVEIRA, Alexandre Magno *et al*. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque de diferencial de fundações.** 2012.

[13] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5462: **Confiabilidade e mantenabilidade.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

[14] MONGELÓS, Pablo Daniel Benítez; ESPINOZA, Antonela; DIAZ, Andrés. **Avaliação do risco de falha nas infraestruturas existentes aplicando a metodologia AMEF.** Ingenium Cientifica, v. 15-24, 2023.

[15] MARTÍNEZ LUGO, César Alejandro. **Implementación de un análisis de modo y efecto de falla en una línea de manufactura para juguetes.** 2004. Tese de Doutorado. Universidad Autónoma de Nuevo León.

[16] GUERRA HUAMALI, Cristhian Wenceslao. **Analisis de modos y efecto de falla en los scooptrams de la Empresa Minera Atacocha**. 2016.

[17] GALEANO HERNÁNDEZ, Edward et al. **Analisis de modo y efecto de falla en el proceso de extrusión–soplado en placa sa**. 2017.

[18] PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul: Freevale, 2013. 277 p. ISBN 978-85-7717-158-3.

[19] CAUCHICK-MIGUEL, P. A (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** 3a. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

[20] PEREIRA, Adriana Soares *et al.* **Metodologia da pesquisa científica.** 2018.

[21] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Quixeramobim – CE**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/quixeramobim.html. Acesso em: 19 abr. 2025.

[22] **SANTOS NETO, Daniel Amaral dos; BARROSO, Felipe Maciel; COELHO, Max Esteve de A.; REIS, Raquel Freitas (Orient.).** Análise das patologias das construções em um edifício educacional da cidade de Manaus. Revista Engenharias, v. 26, n. 116, nov. 2022.

[23] SILVA, Fransueila Lemos. OLIVEIRA, Maria do Perpétuo Socorro Lamego. **Manifestações patológicas causadas pela ausência ou falha de impermeabilização**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. v. 01, p. 76-95, 2018.

[24] ANJOS, Pedro Henrique Cardoso dos; SOUZA JUNIOR, Nelson Nunes de; COSTA, Kelvin Davila. **Patologias decorrentes da umidade na construção civil: causas, consequências e soluções para prevenção.** UNIFTC, 2021.

[25] CARVALHO, Aline Mendes de. **Estudo de caso: investigação de manifestações patológicas no Hospital de Pequeno Porte Ecilda Barbosa Ribeiro em Umari-CE**, 2022.

[26] CEMBRANEL, Priscila; LOPES, Luis Felipe Dias. A**plicação das metodologias FMEA e GUT na prestação do serviço automotivo de geometria a laser. Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, v. 9, n. 1, p. 46-55, 2016.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-30

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida útil

ANÁLISE E PRIORIZAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: MÉTODO GUT

FRANÇA, Marlon Brunno Soares de[1]; FREIRE, Ailton Soares[2]

[1] Instituto Federal do Piauí, Teresina, Brasil, marlon.brunno.soares2022@gmail.com, 0009-0001-2476-5185
[2] Instituto Federal do Piauí, Teresina, Brasil, ailton.freire@ifpi.edu.br, 0000-0002-5305-1157

RESUMO

A construção civil no Brasil é marcada pelas execuções rápidas e pela ausência da cultura de manutenção nas edificações. As obras públicas, como institutos e universidades, são exemplos de edificações que apresentam uma baixa qualidade por, muitas vezes, não apresentarem um plano de manutenção que prolongaria a sua vida útil. O presente estudo apresenta uma análise das manifestações patológicas encontradas no Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Zona Sul, com o objetivo de diagnosticá-las e priorizar os problemas encontrados utilizando a metodologia GUT. Ao longo dos anos, ampliações e modificações foram realizadas na instituição, sem a devida análise dos problemas existentes ou a elaboração de um plano de manutenção. Para a pesquisa, foi realizada uma inspeção nos blocos que compõem a edificação, utilizando embasamentos teóricos e ferramentas para os diagnósticos, bem como entrevistas com os funcionários e uso da metodologia GUT. Foram identificadas diversas manifestações patológicas. A análise revelou que mesmo a maioria das manifestações não apresentando graves riscos, elas ainda necessitam da devida atenção e da elaboração de um plano de manutenção.

Palavras-chave: manifestação patológica; GUT; manutenção.

ABSTRACT

The construction industry in Brazil is characterized by fast executions and a lack of a maintenance culture in buildings. Public works, such as institutes and universities, are examples of constructions that often exhibit low quality due to the absence of a maintenance plan that could extend their service life. This study presents an analysis of pathological manifestations found at the Federal Institute of Piauí – Teresina Zona Sul Campus, aiming to diagnose and prioritize the identified issues using the GUT methodology. Over the years, expansions and modifications have been made to the campus without analyzing the existing problems or the developing a maintenance plan. For the research, an inspection was conducted in the buildings that make up the campus, using theoretical foundations and diagnostic tools, as well as interviews with staff and application of the GUT methodology. Several pathological manifestations were identified. The analysis revealed that even though most of the issues do not represent serious risks, they still require proper attention and the implementation of a maintenance plan.

Keywords: pathological manifestation; GUT; maintenance.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, observa-se uma evolução significativa na construção civil, tanto nos métodos construtivos quanto nos materiais empregados. A sua origem se inicia desde os tempos mais remotos quando o homem, a fim de satisfazer as suas necessidades, começou a desenvolver estruturas para sua habitação [1].

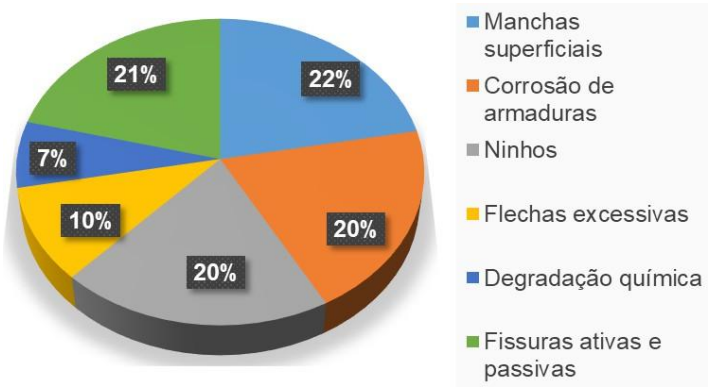
No entanto, ao longo do tempo as edificações tendem a se degradar por um processo natural e, com isso, acarretam a redução do seu desempenho e, inevitavelmente, da sua vida útil [2]. Sendo assim, com os problemas recorrentes

relacionados ao desempenho das edificações, torna-se necessário o aprofundamento dos estudos na área de patologias das estruturas. O termo patologia refere-se ao campo da engenharia das construções que se dedica a estudar as origens, manifestações, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas, assim como dos sistemas de degradação das estruturas [1].

Os problemas patológicos, com raras exceções, costumam apresentar manifestações externas que são importantes para caracterizar cada defeito encontrado na edificação. A partir disso, é possível deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos. Esses sintomas, também conhecidos como lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas, podem ser descritos e classificados e, a partir de observações minuciosas, servem de base para o diagnóstico [3].

A figura 1 apresenta os tipos de sintomas mais comuns encontrados nas estruturas de concreto, como fissuras, eflorescências, flechas excessivas, as manchas no concreto aparente, a corrosão de armaduras e os ninhos de concretagem.

Figura 1 – Distribuição relativa das incidências de manifestações patológicas em estruturas de concreto aparente.



Fonte: Adaptado de Helene (1992) [3].

No Brasil, o desperdício de recursos é algo notável nas obras públicas, com recorrência se encontram obras inacabadas, de baixa qualidade ou, ainda, com custos exorbitantes [4]. As manifestações patológicas identificadas nas edificações públicas, em um contexto geral, são causadas por falhas no planejamento, na execução e, ao longo do tempo, por falta de manutenção adequada [5].

Como forma de evitar esses problemas, é fundamental realizar um estudo detalhado das origens das manifestações que causam a degradação das edificações. Esse estudo inicial tem grande importância para identificar e classificar os problemas encontrados, possibilitando, assim, a proposta de medidas de resolução mais adequada para a situação analisada [6].

Uma vez identificados os problemas, é necessário classificar cada um deles conforme o seu nível de risco, a fim de entender a ordem de priorização para a resolução de cada manifestação patológica encontrada. É recomendado que a prioridade seja disposta em ordem decrescente com base no grau de risco e intensidade das anomalias e falhas, as quais serão avaliadas utilizando técnicas apropriadas, como o método GUT (ferramenta de "gerenciamento de risco" através da metodologia de Gravidade, Urgência e Tendência), FMEA (Failure Mode and Effect Analisys: ferramenta de "gerenciamento de riscos" através da metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha); ou ainda, pela listagem de criticidade decorrente da inspeção predial [7]. Com base no exposto, a presente pesquisa buscou estudar, analisar e apresentar as principais manifestações patológicas encontradas no Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Zona Sul. Para isso, foi realizada uma inspeção nas edificações que compõem a área do campus, objetivando se chegar a um diagnóstico, medidas de manutenção e ordem de priorização, utilizando a matriz GUT.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MÉTODO GUT

O método GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) foi criado em 1981 por Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe, a fim de resolver problemas nas indústrias chinesa e japonesa, com a utilização de ferramentas que pudessem integrar a gestão de atividades e cronogramas, em uma época em que o interesse pelo gerenciamento do tempo estava em crescimento [8].

Essa ferramenta prioriza as ações numa gestão, com sua sigla GUT com os referidos significados: a gravidade consiste no impacto que o problema gera no processo, a urgência consiste na rapidez necessária para resolver o problema e a tendência indica a provável de melhora ou piora do problema, caso ele não seja resolvido [9].

O autor ainda pontua que, com a utilização da metodologia GUT, os problemas devem ser ponderados de 1 a 5 em cada critério, como evidenciado no quadro 1, em seguida deve-se somar na horizontal os valores de cada problema e pelo total eles serão hierarquizados. No entanto, o método também possui certas limitações, que é o caso de existirem pontuações iguais pra cada problema analisado. Fazendo necessário o uso de uma metodologia complementar [10].

Quadro 1 – Matriz de priorização GUT.

Nota	Gravidade	Urgência	Tendência
5	Extremamente grave	Extremamente urgente	Se não for resolvido, piora imediatamente
4	Muito grave	Muito urgente	Vai piorar em curto prazo
3	Grave	Urgente	Vai piorar em médio prazo
2	Pouco grave	Pouco urgente	Vai piorar em longo prazo
1	Sem gravidade	Sem urgência	Sem tendência de piorar

Fonte: Behr, Moro e Estabel (2008) [9].

Para auxiliar na ponderação dos valores de gravidade, urgência e tendência para as manifestações patológicas analisadas e melhor entendimento, o quadro 2 apresenta aspectos descritivos relevantes para a matriz GUT.

Quadro 2 - Aspectos Principais.

Aspectos	Definição
Gravidade	Representa o impacto do problema analisado caso ele venha a acontecer. É analisado sobre alguns aspectos, como: tarefas, pessoas, resultados, processos, organizações etc. Analisando sempre seus efeitos a médio e longo prazo, caso o problema em questão não seja resolvido;
Urgência	Representa o prazo, o tempo disponível ou necessário para resolver um determinado problema analisado. Quanto maior a urgência, menor será o tempo disponível para resolver esse problema. É recomendado que seja feita a seguinte pergunta: “A resolução deste problema pode esperar ou deve ser realizada imediatamente?”;

Tendência	tendência de crescimento, redução ou desaparecimento do problema. Recomenda-se fazer a seguinte pergunta: “Se eu não resolver esse problema agora, ele vai piorar pouco a pouco ou vai piorar bruscamente?”.

Fonte: Periard (2011) [11].

3. METODOLOGIA

Para o presente trabalho, foi definido o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Teresina Zona Sul como área de estudo, que fica localizado no Bairro São Pedro, na Av. Pedro Freitas, na cidade de Teresina, assim como aborda a figura 2, sendo o tipo de estudo abordado um estudo de caso com uma abordagem qualitativa, onde foi feita a análise e priorização das manifestações patológicas identificadas no campus com o uso da metodologia GUT. A análise das manifestações é primordial para se chegar no diagnóstico, identificando as possíveis causas das manifestações.

Figura 2 – Localização do IFPI – Teresina Zona Sul.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2024) [12].

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as patologias das construções, através de artigos, sites, livros, monografias, dissertações, teses e as normas de Inspeção Predial Nacional, sendo estas: ABNT NBR 5674 (2024) [13] Manutenção das edificações e norma de desempenho ABNT 15575 (2024) [14], que forneceram um embasamento teórico para auxiliar na inspeção e no diagnóstico dos problemas encontrados. Além disso, foram realizadas entrevistas com os servidores para compreender o histórico da edificação.

Foram utilizadas ferramentas de análise, como o fissurômetro, para identificar o tamanho das fissuras e trincas, e o pacômetro, com a finalidade de localizar as armaduras nos elementos estruturais.

Para iniciar a análise das manifestações patológicas, foi realizada uma visita no local com registros fotográficos. A partir disso, pode-se chegar às possíveis causas das manifestações, essas causas também embasaram o diagnóstico, parte fundamental para o uso da matriz GUT. Com os diagnósticos obtido, foi possível estabelecer medidas de manutenção para as manifestações e aplicar a matriz GUT. Esse processo pode ser observado através do fluxograma ilustrado na figura 3.

Figura 3 – Fluxograma de procedimentos metodológicos.



Fonte: Autor (2025).

3.1 Histórico da edificação

A área do campus foi dividida em 5 blocos: bloco A, setor administrativo; bloco B, cursos técnicos, ensino médio, cantina, laboratórios e biblioteca; bloco C, circulação; bloco D, curso de bacharelado em engenharia civil e bloco E, quadra poliesportiva.

No ano 2010, o campus passou por algumas ampliações e modificações que abrangeram a cantina e a biblioteca, respectivamente. Nesse mesmo ano, ocorreu a construção da quadra poliesportiva, bloco E. Já em 2018, foi iniciada a construção destinada para receber o curso de Bacharelado em Engenharia Civil, bloco D.

Além disso, uma informação relevante é que a instituição foi edificada em uma área próxima ao Rio Parnaíba e a sua área construída, segundo os servidores, era inundável. Para resolver essa problemática, foi executado um aterro na área a ser construída, onde se fez necessário construir uma laje armada e fundação em estacas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Descrição das manifestações patológicas encontradas

Após visitas e análises no IFPI Campus Teresina Zona Sul, foram identificados diversos tipos de manifestações patológicas ao longo dos blocos analisados neste trabalho, tais como fissuras, trincas, recalques do corpo de aterro, corrosão de armaduras, e infiltrações. As manifestações foram localizadas na planta do campus, conforme ilustrado na figura 4. Para esse trabalho, foi escolhido um tipo de cada manifestação encontrada ou uma mesma que possua uma particularidade específica, podendo, dessa forma, haver manifestações patológicas e soluções semelhantes as abordadas nesse artigo.

Figura 4 – Planta do IFPI com localização das manifestações patológicas.



Fonte: Adaptado do IFPI – Campus Teresina Zona Sul (2025).

Manifestação 1: Ao longo dos blocos analisados, foram identificadas, no bloco A e D, utilizando o fissurômetro, trincas nas alvenarias próximas às portas. Essas trincas, figura 5, possuíam aberturas entre 0,6 e 0,9mm e inclinação de 45° nas regiões em que as vergas não atingiam o comprimento mínimo de 1/10 do vão ou no máximo 30cm para o apoio da verga na alvenaria. Observou-se ainda a presença de uma trinca no centro do vão de uma porta de duas folhas, o que pode indicar, além do apoio insuficiente, o uso de armadura inadequada.

Figura 5 – Manifestação 1: Fissuras e trincas próximas às portas.

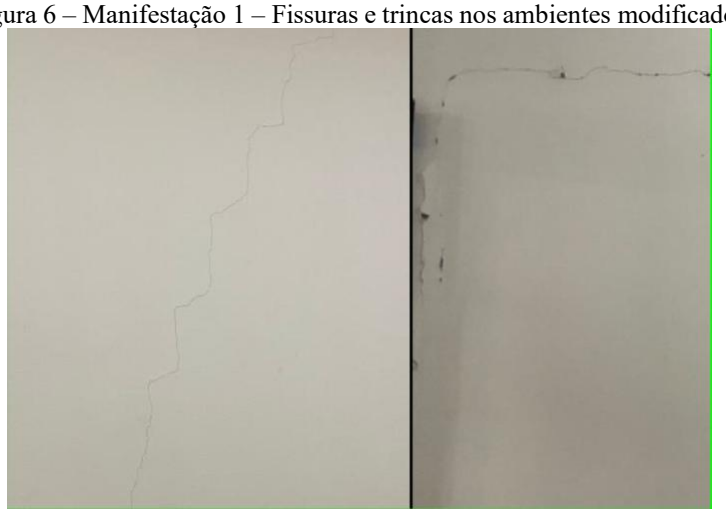


Fonte: Autor (2025).

Outro caso que merece destaque é com relação ao histórico de modificações feitas no campus, onde, no caso da figura 6, foi aberto um vão para uma nova porta, que resultou em vibrações que levaram ao surgimento de fissuras. Além disso, após a abertura desse vão, foi executado o fechamento do antigo vão de porta, que, por não ser feita a vedação adequada, resultou em fissuras no contorno do vão fechado. Casos semelhantes a esses são ressaltados por Helene [3] como causas extrínsecas, ligadas à falhas humanas durante a utilização.

Propostas de manutenção: Para manutenção das Trincas e fissuras do primeiro caso é necessário instalar adequadamente novas vergas, atendendo as especificações mínimas para a armadura e o transpasse de apoio da verga. Para as aberturas ocasionadas durante as modificações no campus, é necessário o preenchimento das fissuras, que nesse caso apresentam 0,4mm de diâmetro, com o uso de resina epoxídica. Além disso, pode haver a necessidade de executar o grampeamento dessas fissuras.

Figura 6 – Manifestação 1 – Fissuras e trincas nos ambientes modificados.



Fonte: Autor (2025).

Manifestação 2: Em alguns ambientes do campus, como no bloco A, foram encontradas manifestações patológicas ligadas à infiltração de água, figura 7. Foi possível identificar uma mancha de umidade próximo a uma tomada elétrica na 2ª guarita de entrada do campus, causada pela infiltração de água pluvial, captada pela cobertura, sendo um caso que apresenta potencial risco à segurança das pessoas. Outro caso identificado foi descascamento da pintura no teto do banheiro da sala dos professores, que foi atribuído como possíveis causas: 1) infiltração na cobertura; 2) infiltração na calha da cobertura.

Propostas de manutenção: Para o primeiro caso identificado é importante corrigir a causa, impermeabilizando a região afetada; lixar a área para remover a tinta; preparar a superfície e aplicar nova pintura. Para o segundo caso é necessário localizar o ponto de infiltração na cobertura/Calha; substituir o telhado danificado ou impermeabilização da área, caso necessário; lixar a área afetada, retirar a tinta não aderida, limpar, nivelar e refazer a pintura.

Figura 7 – Manifestação 2 – Infiltrações.



Fonte: Autor (2025).

Manifestação 3: A figura 8 mostra o desenvolvimento de aberturas entre as paredes e o piso da circulação, indicando um provável recalque do corpo de aterro do piso desse ambiente. O campus foi edificado sobre uma região inundável, próxima ao Rio Parnaíba, onde foi necessário executar um aterro para receber o piso da circulação, que, depois de alguns anos, começou apresentar recalque do corpo de aterro, diagnosticado por conta do histórico de construção. As possíveis causas para essa manifestação são: má compactação do solo e aterro executado com material inadequado.

Propostas de manutenção: **1)** a monitoração do recalque do corpo de aterro, remoção do piso existente, compactação do solo, caso necessário e a execução do novo piso; **2)** a remoção do piso existente e a execução de uma laje armada apoiada sobre a viga baldrame, que possui uma sobra de espaço para receber a carga do piso na fundação em estacas. Essa última opção requer uma análise estrutural devido ao acréscimo de cargas solicitantes na estrutura existente.

Figura 8 – Manifestação 3: Recalque do corpo de aterro.

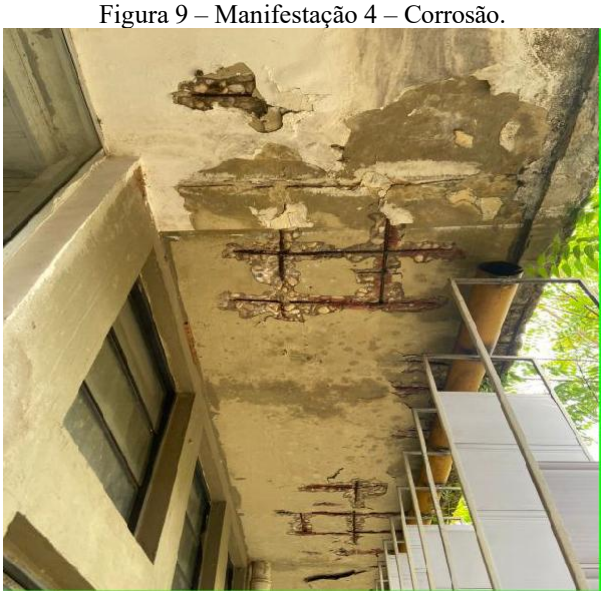


Fonte: Autor (2025).

Manifestação 4: No campus foram identificadas várias marquises em processo corrosão da armadura, figura 9, apresentando armaduras expostas na face debaixo da marquise. As possíveis causas para essas manifestações são: o cobrimento insuficiente aliado a uma impermeabilização deficiente, que, por conta da infiltração de água em algum ponto específico pode ter corroborado para o surgimento dessas manifestações. É importante destacar que, embora as marquises apresentem armaduras expostas em alguns pontos, não foi identificado nenhum problema no engaste da marquise, onde o momento fletor é máximo, figura 10, local esse que, de fato, poderia comprometer a estrutura e oferecer riscos mais significativos como o colapso da estrutura.

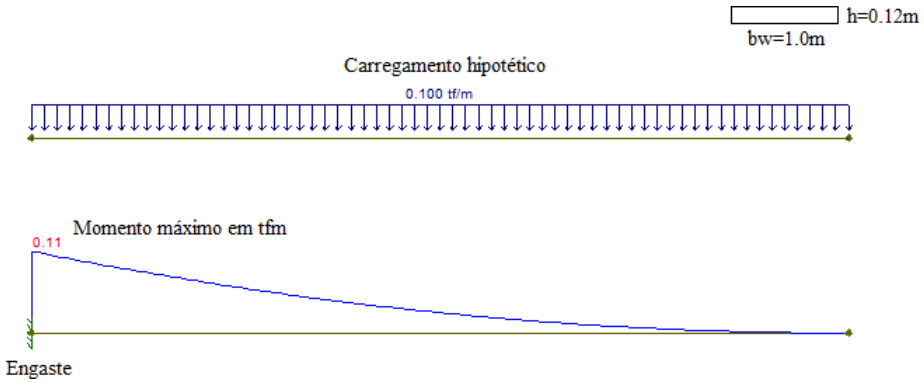
Propostas de manutenção: **1)** Realizar o escoramento da marquise; **2)** Remoção do concreto danificado; **2)** limpeza da armadura; **3)** aplicação de um produto anticorrosivo; **4)** Execução de uma ponte de aderência; **5)** preenchimento com argamassa de reparo e acabamento garantindo o cobrimento estabelecido pela norma ABNT NBR 6118 [15]; **6)** Impermeabilizar devidamente a área, caso se faça necessário.

Figura 9 – Manifestação 4 – Corrosão.



Fonte: Autor (2025).

Figura 10 – Momento fletor máximo em elemento engastado de concreto.



Fonte: Extraído do software ftool pelo Autor (2025).

4.2 Aplicação da matriz GUT

Com base em todos os dados obtidos ao longo do estudo, o quadro 3 apresenta as classificações das manifestações patológicas analisadas e aplicação da matriz GUT para identificar quais manifestações devem ser priorizadas.

Quadro 3 – Aplicação da matriz GUT.

Matriz GUT					
	Gravidade	Urgência	Tendência	Pontuação	Priorização
Manifestação 1: Fissuras e trincas	3	2	2	12	3°
Manifestação 2: Infiltração	4	3	3	36	1°
Manifestação 3: Recalque do corpo de aterro	3	1	3	9	4°
Manifestação 4: Corrosão das armaduras	3	3	2	18	2°

Fonte: Autor (2025).

Com base nos resultados da matriz GUT, fica evidenciado que os principais problemas encontrados e que devem ser priorizados são as infiltrações, pois apresentam uma possibilidade de impacto maior para a edificação e seus usuários. Dessa forma, representam uma gravidade elevada em comparação às demais manifestações patológicas.
Além disso, esses resultados evidenciaram que a metodologia GUT é uma excelente ferramenta para análise e classificação, podendo ser muito bem aplicada na área da engenharia civil, pois oferece resultados objetivos e práticos tanto para elaboração, quanto para a análise das prioridades de intervenção.

5. CONCLUSÃO

Com base na inspeção executada no IFPI Campus Teresina Zona Sul, foram encontrados diversos tipos de manifestações patológicas que abrangeram diversas áreas do conhecimento da engenharia.

A análise dos diagnósticos revelou que as manifestações de maior relevância foram as relacionadas à infiltração, por apresentar um potencial risco à segurança, e, em seguida, a corrosão da armadura. Além disso, destacou-se o recalque do aterro e as fissuras em alvenaria, que, apesar do desconforto visual, não apresentaram riscos à estrutura nem aos usuários.

No entanto, como já citado anteriormente, o método também possui certas limitações. Em um caso como esse seria necessário adotar algum critério específico para resolver esse caso ou mesmo utilizar outra ferramenta para complementar a análise.

Portanto, com base na inspeção realizada e nos métodos aplicados, conclui-se que a instituição não apresenta manifestações que comprometam a sua estrutura de forma crítica. No entanto, existem problemas que requerem atenção imediata, cujas origens estão relacionadas à concepção, execução e à ausência de manutenções periódicas.

Dessa forma, recomenda-se que a instituição desenvolva um plano de manutenção corretiva para as manifestações existentes, aliado à análise de prioridades das manifestações patológicas a serem solucionadas, bem como um plano de manutenção preventiva para evitar futuros problemas.

REFERÊNCIAS

[1] DE SOUZA, Vicente Custodio Moreira; RIPPER, Thomaz. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. Pini, 1998.

[2] DOS SANTOS, Cleyton Roberto Bezerra; DA SILVA, Dione Luiza; DO NASCIMENTO, Ismaylly Michel Silva. Incidência de manifestações patológicas em edificações residenciais na região metropolitana do Recife (RMR). Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 2, n. 3, 2017.

[3] HELENE, Paulo R. L. Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto. Ambiente Construído, São Paulo, v. 1, p.45-57, jul. 1997.

[4] FERNANDES, Ana Luiza Queiroz Melo Jacoby. Elaboração de projetos básicos: relevância para a eficácia na realização de obras públicas. 2015.

[5] NÓBREGA, Nadja Peixoto da. Patologias na construção civil-análise das principais manifestações patológicas em residências do município de ParaúRN. 2019.

[6] NAZARIO, Daniel. Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal de Criciúma: inspeção dos sete postos de saúde. 2012.

[7] INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERICIAS DE ENGENHARIA (IBAPE). Norma de Inspeção Predial Nacional. São Paulo, 2012.

[8] ZARPELAN, Juliana Bertello; SILVA, Marcelo Pereira. Aplicação de matriz GUT na priorização de tarefas no setor financeiro de uma empresa de bebidas. In: CONBREPRO–Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. 2020.

[9] BEHR, A.; MORO, E.L.S.; ESTABEL, L.B. (2008). Gestão da biblioteca escolar: metodologias, enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca. Ciência da Informação, v. 37, n.2, p. 37-42.

[10] BRANCO FILHO, Gil. A organização, o planejamento e o controle da manutenção. Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna., 2008.

[11] PERIARD, Gustavo. Matriz GUT: Guia Completo, 2011.

[12] GOOGLE EARTH. Imagem de satélite da região de Teresina - PI. 2024. Disponível em: https://earth.google.com/web/@-5.10224494,-42.81386893,62.68428476a,348.48524227d,35y,-24.45504846h,2.5374015t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASg0I _____ARAA. Acesso em: 17 abr. 2025.

[13] ABNT NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2024.

[14] ABNT NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2024.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de Estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-35

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida útil

APLICAÇÃO DE NEGRO DE FUMO (CARBON BLACK) EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM CAPACIDADE DE AUTOSSENSORIAMENTO

SILVA, André Rodrigues[1] , PEREIRA, Claudio Henrique[2]

[1]Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-9983-651X
[2]Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2170-0068

RESUMO

A integridade e a durabilidade de estruturas de engenharia civil demandam metodologias avançadas de Monitoramento da Saúde Estrutural (SHM). Sensores convencionais apresentam limitações de custo, complexidade de instalação e escopo de monitoramento. Este artigo apresenta uma pequena apresentação da literatura científica, sobre a aplicação de negro de fumo, *Carbon Black* (CB), como aditivo para induzir a capacidade de autos sensoriamento em compósitos cimentícios. O mecanismo de condução é baseado na formação de uma rede condutiva percolada de partículas de CB na matriz cimentícia isolante. Variações no estado de deformação ou a nucleação de fissuras alteram a microestrutura desta rede, resultando em variações mensuráveis na resistividade elétrica, fenômeno este conhecido como piezoresistividade. Os fatores que governam este comportamento como as propriedades intrínsecas da nano carga como morfologia e área superficial, a concentração, a qualidade da dispersão, a composição da matriz cimentícia como a relação água/cimento, aditivos minerais e fibras e as condições ambientais como a umidade e a temperatura são apresentados. Conclui-se que, apesar das barreiras existentes, a viabilidade econômica e o potencial de desempenho do CB o estabelecem como uma adição promissora para o desenvolvimento de infraestruturas, capazes de realizar um automonitoramento.

Palavras-chave: Negro de Fumo; Compósitos Cimentícios; Autos sensoriamento; Piezoresistividade; Monitoramento da Saúde Estrutural.

ABSTRACT

The integrity and durability of civil engineering structures require advanced Structural Health Monitoring (SHM) methodologies. Conventional sensors have limitations in terms of cost, installation complexity, and monitoring scope. This article presents a brief overview of the scientific literature on the application of carbon black (CB) as an additive to induce self-sensing capability in cementitious composites. The conduction mechanism is based on the formation of a conductive network of percolated CB particles in the insulating cementitious matrix. Variations in the deformation state or the nucleation of cracks alter the microstructure of this network, resulting in measurable variations in electrical resistivity, a phenomenon known as piezoresistivity. The factors governing this behavior, such as the intrinsic properties of the nanofiller (morphology and surface area), concentration, dispersion quality, cementitious matrix composition (water/cement ratio), mineral additives and fibers, and environmental conditions (humidity and temperature), are presented. It is concluded that, despite existing barriers, the economic viability and performance potential of CB establish it as a promising addition to the development of infrastructures capable of self-monitoring.

Keywords: Carbon Black; Cementitious Composites; Self-Sensing; Piezoresistivity; Structural Health Monitoring.

1. INTRODUÇÃO

Nossas cidades e infraestruturas dependem fortemente de estruturas feitas de concreto e outros materiais cimentícios como pontes, edifícios, estradas e barragens. Garantir que essas estruturas permaneçam seguras e funcionais ao longo do tempo é uma responsabilidade gigante. É aí que entra o Monitoramento da Saúde Estrutural (SHM). O SHM é um sistema de monitoramento para estruturas em concreto armado. Os sistemas tradicionais para estruturas usam sensores externos complexos e inspeções muitas vezes manuais que demandam um alto custo financeiro, são difíceis de instalar em todas as partes críticas e, às vezes, só detectam problemas depois que eles já se tornaram significativos [12].

Essa realidade nos desafia a pensar em novas abordagens. E se o próprio material de construção pudesse ser utilizado como sensores? Essa é a ideia por trás dos materiais auto sensíveis. Compósitos que têm a capacidade embutida de perceber e reportar mudanças em seu estado interno, como quando estão sob tensão ou quando uma pequena fissura começa a se formar.

Compósitos cimentícios são a base da nossa infraestrutura, mas eles são, por natureza, isolantes elétricos e tendem a romper quando tracionados. Quando adicionamos aos compósitos cimentícios materiais que conduzem eletricidade as propriedades dos mesmos sofrem alterações. As adições de promotores de condutividade como o “CARBON BLACK” tornam o compósito cimentício isolante em um compósito condutor que quando interligado através de uma malha metálica a um sistema informatizado de monitoramento o torna o conjunto capaz de detectar micro fissuras.

O Carbon Black (CB), um pó fino derivado da combustão incompleta de produtos de petróleo ou gás, surge como um candidato particularmente interessante para essa tarefa [3]. Ele é relativamente barato e tem uma boa capacidade de conduzir eletricidade. Quando misturado ao cimento, o CB pode criar redes condutoras por onde a corrente elétrica pode ser conduzida. essas redes condutoras de eletricidade se alteram quando o material se deforma, um fenômeno chamado piezoresistividade, ou fissura.

Este artigo se propõe a para apresentar o uso de Carbon Black em compósitos cimentícios auto sensíveis, demostrando o mecanismo de transporte de eletricidade desse material. O objetivo é sintetizar os mecanismos de funcionamento, os fatores que tornam o material um condutor elétrico, os obstáculos que ainda precisam ser superados e o que esperar dessa tecnologia no futuro. Queremos oferecer uma visão do potencial desse material simples para criar estruturas verdadeiramente inteligentes e auto monitoráveis.

2. MECANISMOS DE AUTOSSENSORIAMENTO COM CARBON BLACK

O concreto tradicional, embora amplamente empregado por suas robustas propriedades mecânicas e de durabilidade, é um compósito material isolante elétrico devido à sua microestrutura porosa preenchida por ar e solução aquosa com íons, que confere uma alta resistividade elétrica [16]. Contudo, a crescente demanda por infraestruturas inteligentes e multifuncionais é possível fabricar concreto condutivo pela adição de materiais condutores, como fibras de aço, pó de grafite, negro de fumo, nanotubos de carbono ou fibras de carbono [17] e essa demanda impulsionou a pesquisa e o desenvolvimento de concretos condutores.

Os concretos condutores são definidos pela incorporação de aditivos eletricamente condutores na matriz cimentícia, visando reduzir significativamente sua resistividade elétrica e, consequentemente, aumentar sua condutividade [18], [19] que criam uma rede condutiva no interior da matriz cimentícia.

2.1 mecanismos de condução elétrica e a Teoria da Percolação

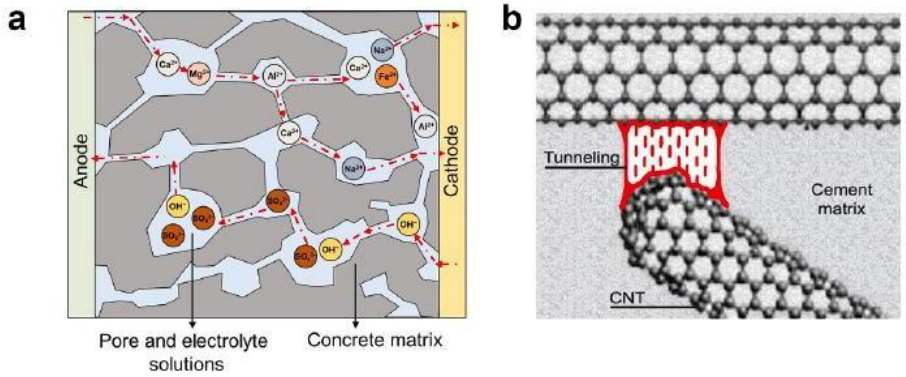
Qin et al. [16] investigam os mecanismos de condução elétrica em concretos multifuncionais com propriedades condutivas, enfatizando que esses materiais são compósitos multi escalares, compostos por múltiplas fases e interfaces complexas. Abaixo descreveremos as três principais categorias conforme figuras 1 e 2:

i. A condução iônica ocorre devido ao movimento de íons dissolvidos na água livre presente nos poros do concreto [21], [22]. Esses íons incluem espécies catiônicas (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, entre outras) e aniônicas (OH^{-}, SO_4^{2-}). Sob a aplicação de um campo elétrico, os íons migram através dos poros capilares interconectados, promovendo a condução elétrica. Esse mecanismo predomina quando a fração volumétrica de preenchimentos condutivos está abaixo do limiar de percolação.

ii. A condução por tunelamento e emissão de campo refere-se ao transporte de elétrons por tunelamento quântico através de barreiras de potencial. Tal fenômeno ocorre quando partículas condutivas estão separadas por curtas distâncias, permitindo o tunelamento, mesmo na ausência de contato físico direto. A condução por emissão de campo é facilitada por preenchimentos com morfologias específicas, como nanopartículas pontiagudas, que intensificam o campo elétrico local. [9], [12].

iii. A condução por contato ocorre pela formação de caminhos elétricos contínuos por meio de partículas condutivas em contato direto. Esse mecanismo se torna predominante quando a concentração de preenchimentos condutivos é suficientemente alta para formar redes interligadas, promovendo significativa redução da resistividade do compósito [9].

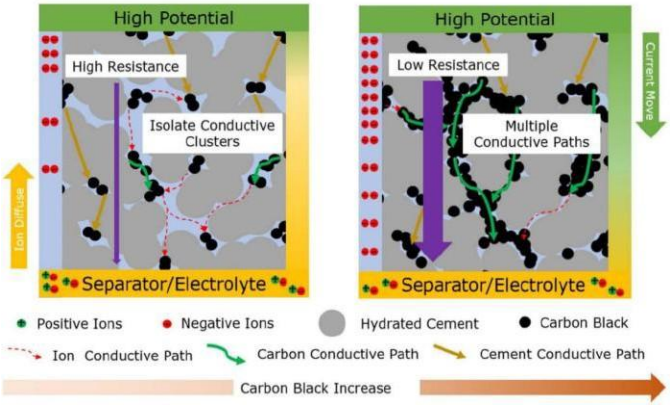
Figura 1 – Mecanismos de condução elétrica por condução iônica e por tunelamento. [19]



(a) diagrama esquemático da condução iônica

(b) diagrama esquemático da condução por tunelamento

Figura 2 – Mecanismos de condução elétrica por contato.[20]



Tais mecanismos são descritos pela teoria da percolação, que modela a transição do comportamento isolante para condutivo em materiais compósitos à medida que a concentração de partículas condutivas aumenta. Conforme essa teoria, quando partículas condutivas são incorporadas em uma matriz isolante, como o concreto, a condutividade elétrica permanece desprezível enquanto essas partículas estiverem dispersas de forma isolada. No entanto, à medida que a concentração atinge um ponto crítico, denominado limiar de percolação[7], forma-se uma rede interconectada, permitindo o fluxo de corrente elétrica. A condutividade elétrica do sistema, nesse ponto, sofre um aumento exponencial.

A Figura 3 ilustra este fenômeno, que pode ser dividido em três zonas distintas de comportamento elétrico [12].

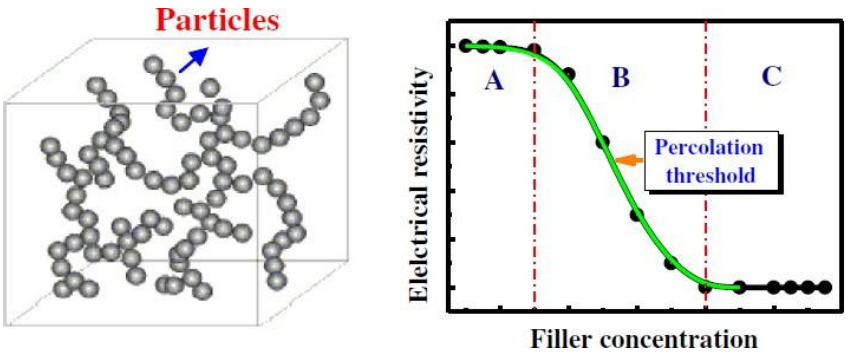
2.2 O Efeito Piezoresistivo: Sentindo a Carga

A mágica do auto sensoriamento acontece porque a rede elétrica do CB não é estática. Ela reage quando o material é submetido a forças:

i. **Sob Compressão:** Se o material sofre compressão, as partículas de CB podem ser forçadas a se aproximar umas das outras. Isso aumenta o número de contatos diretos e diminui a distância entre as partículas, facilitando o tunelamento quântico. Neste sentido a eletricidade flui mais facilmente, e a resistência elétrica diminui [12].

ii. **Sob Tração ou Quando Fissuras Aparecem:** Se tracionarmos o material ou se começarem a surgir fissuras, as partículas de CB podem se afastar. Isso rompe contatos diretos e aumenta as distâncias entre as partículas de CB, dificultando (ou até bloqueando) o tunelamento quântico. Neste sentido a eletricidade tem mais dificuldade de passar, e a resistência elétrica aumenta [12].

Figura 3. Alteração da resistividade elétrica com a concentração de enchimento, ilustrando a teoria da percolação com partículas (esquerda) e fibras (direita). Reproduzido de Han, Ding e Yu [12] com adaptações.



Essa mudança na resistência elétrica ilustrado na figura 4 em resposta à deformação ou dano é a o mecanismo básico do auto sensoriamento. Podemos medir essa variação para entender o que está acontecendo dentro do material. A "sensibilidade" do material é frequentemente descrita por um valor que relaciona o quanto a resistência muda em comparação com a deformação aplicada. Monteiro, Cachim e Costa [7] observaram esse comportamento, mostrando uma relação quase linear entre a deformação sob compressão e a mudança na resistência em compósitos com teor suficiente de CB. A Figura 5 ilustra a resposta piezoresistiva de compósitos cimentícios sob tração, evidenciando a correlação entre a variação da resistividade e o desenvolvimento de deformações e tensões.

Figura 4. Comportamento do compósito frente ao carregamento.
Adaptado de [23]

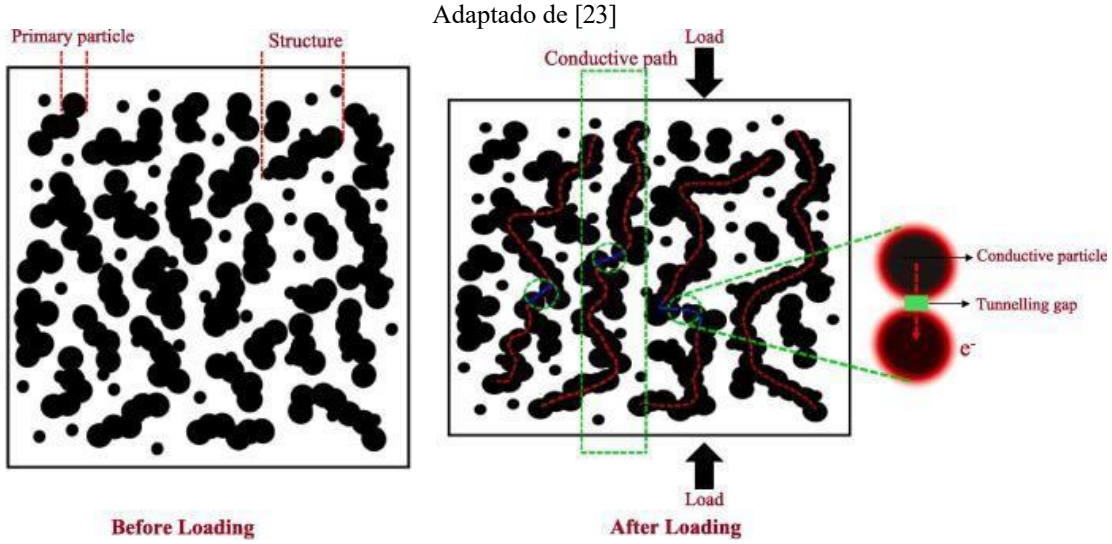
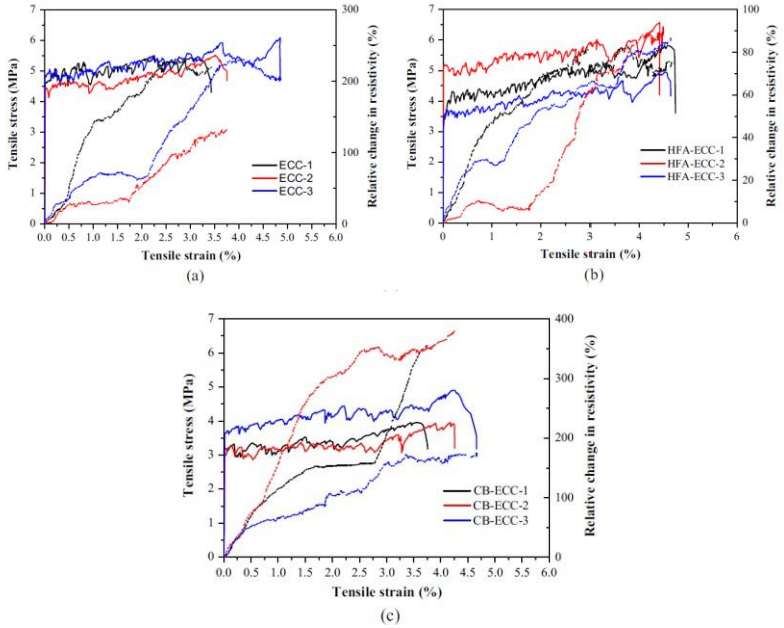


Figura 5. Comportamentos mecânico e elétrico de compósitos auto sensíveis sob tração, mostrando a correlação entre tensão, deformação e a variação relativa da resistividade para (a) ECC, (b) HFA-ECC e (c) CB-ECC. Adaptado de Deng e Li [1].



2.3 Tipos de Condutores

Existem outros materiais condutores que poderiam ser usados, como as superfinas fibras de carbono (CF) ou nanotubos de carbono (CNT) [3]. Eles podem ser excelentes condutores, mas geralmente são mais caros que o CB. Às vezes, pesquisadores combinam CB com outros materiais, como CNTs, para tentar obter o melhor dos dois mundos: usar uma quantidade menor de materiais mais caros ou criar uma rede condutiva mais eficiente e robusta [2], [8]. No entanto, misturar esses materiais de forma homogênea é um desafio extra.

3. FATORES-CHAVE PARA O DESEMPENHO DO SENSOR

A capacidade do CB de transformar o concreto em sensor não é automática; ela depende de uma série de "ingredientes" e "etapas" que precisam ser acertados. A literatura nos mostra que vários fatores são cruciais.

3.1 Características e Quantidade de CB Adicionado

Não existe um único "tipo" de Carbon Black. Eles variam em tamanho, área de superfície e estrutura. Essas características intrínsecas do CB são importantes [10]. Partículas muito finas, por exemplo, têm uma área de superfície enorme, o que afeta a trabalhabilidade e a estrutura final do material. Nanopartículas de CB são estudadas por sua capacidade de detectar micro deformações, um efeito atribuído à sua sensibilidade ao tunelamento quântico [9].

A quantidade de CB adicionada é, talvez, o fator mais estudado. Precisamos adicionar uma quantidade suficiente para formar a rede condutiva. A condutividade aumenta rapidamente logo após o limiar de percolação. No entanto, adicionar muito CB não necessariamente aumenta a sensibilidade do sensoriamento e pode trazer outros problemas. Teores muito altos são mais difíceis de misturar bem e podem reduzir a resistência mecânica do concreto [5]. Pesquisadores buscam o "ponto ideal" de CB, onde o sensoriamento é bom sem prejudicar outras propriedades essenciais.

3.2 A Dispersão do CB

Apesar do enorme potencial do Carbon Black (CB) para transformar compósitos cimentícios em sensores, a transição da pesquisa de laboratório para aplicações práticas em larga escala enfrenta desafios significativos, consistentemente destacados na literatura [3]; [10]. A dispersão uniforme do CB é um obstáculo fundamental; suas nanopartículas tendem

a aglomerar, impactando a trabalhabilidade, as propriedades mecânicas e a eficácia do sensoriamento, exigindo métodos eficientes de mistura [10].

3.3 A Cura dos Materiais Cimentícios com CB

A base cimentícia (o tipo de cimento, quanta água é usada, se outros materiais são adicionados) também tem um papel importante. A quantidade de água usada na mistura, por exemplo, afeta a porosidade e a microestrutura do material depois que ele endurece. Adicionar outros materiais, como cinza volante ou sílica ativa, pode mudar a microestrutura e a durabilidade, impactando indiretamente o sensoriamento. Curiosamente, em compósitos cimentícios projetados (ECC), a adição de CB junto com agentes incorporadores de ar (AEA) não só diminuiu a resistência elétrica, mas também aumentou a capacidade do material de se deformar antes de quebrar [1].

O uso de materiais condutivos na própria mistura de agregados, como escória de cobre, junto com CB, também tem sido explorado para aumentar a condutividade geral [4]. A presença de fibras, como as de PVA ou aço, é frequente em compósitos que precisam ser mais resistentes a rachaduras. A combinação de fibras e CB é poderosa: as fibras controlam a propagação das fissuras, enquanto o CB permite "sentir" a formação dessas fissuras. Pesquisas com UHPFRC contendo CB mostraram que ele pode detectar fissuras mesmo sob tensão [5].

A forma como as fibras interagem com o CB e a matriz cimentícia influencia diretamente essa capacidade de sentir danos (LIU; DING, 2023). As condições em que o material cura – a temperatura, a umidade e por quanto tempo – também são relevantes, pois a umidade nos poros do cimento pode conduzir eletricidade (condução iônica), afetando a sensibilidade.

4. ANÁLISE DE DESEMPENHO E APLICAÇÕES

Os estudos investigaram a capacidade de auto sensoriamento de compósitos cimentícios com adição de Carbon Black (CB), focando na propriedade piezoresistiva sob diferentes condições.
Ensaios mecânicos sob compressão uniaxial cíclica foram realizados, registrando as variações na resistência elétrica em função da deformação. Observou-se um comportamento piezoresistivo reversível e uma relação quase linear entre a mudança fracionária na resistividade e a deformação compressiva [7]. A capacidade de autodetecção de micro deformações foi avaliada utilizando nanopartículas de CB, explorando a alta sensibilidade do efeito de tunelamento quântico [9].

Em compósitos cimentícios projetados (ECC) contendo CB, a capacidade de autodetecção de microfissuras no estágio inelástico inicial sob tração foi avaliada [1]. A capacidade de autodetecção sob tensão em concreto reforçado com fibras de ultra alto desempenho (UHPFRC) com pós condutores, incluindo CB, foi analisada experimentalmente, mostrando que a detecção de fissuras e o monitoramento pós-pico são possíveis [5]. A localização de fissuras foi investigada em vigas de concreto com fibras e CB submetidas à flexão, demonstrando a viabilidade de utilizar arranjos de eletrodos para identificar a posição de danos (LIU; DING, 2023).

Também foram avaliados compósitos com enchimentos compostos de CNT/NCB (nanotubos de carbono/nano Carbon black) incorporados em colunas de concreto inteligente sob carga cíclica e monotônica [2]. O comportamento multifuncional, incluindo propriedades elétricas e sensoriamento de deformação, foi comparado em vigas baseadas em CNT e CB [8]. Adicionalmente, explorou-se o uso de escória de cobre como agregado miúdo em argamassas cimentícias com CB, investigando a melhoria na condutividade elétrica [4]. A literatura geral sobre compósitos com CB também revisa aspectos de resistência à compressão, tração e características condutivas para SHM [3].

A Tabela 1 resume os parâmetros de sensibilidade de alguns compósitos auto sensíveis, demonstrando o potencial de diferentes aditivos.

Tabela 1. Sensibilidade de Compósitos Cimentícios Auto Sensíveis Típicos (ISSC).

Tipo de ISSC	Sensibilidade			
	máxima variação fracionária na resistividade elétrica sob compressão.	Coeficiente de sensibilidade ao estresse, indicando a relação entre a variação fracionária na resistividade e o estresse aplicado.	Coeficiente de sensibilidade à deformação, também chamado de fator de medição, que relaciona a variação fracionária na resistividade com a deformação.	Coeficiente de sensibilidade à deformação sob tensão.
Fibra de Carbono (CF)	45%		560	90
Escória de Aço (SS)	50%			
Carbon Black (CB)	55%		50	
Níquel em Pó (NP) |	80%	0.16 MPa^{-1}	1500	8584
Com Fibra de Aço (SF)		0.048 MPa^{-1}	720	4560

Fonte: Adaptado de Han, Ding e Yu (12).

5 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar do enorme potencial, transformar compósitos cimentícios com Carbon Black (CB) em sensores práticos em grande escala enfrenta desafios significativos, consistentemente apontados pela literatura [3]; [10].

i. A dispersão perfeita é um obstáculo fundamental, pois a aglomeração do CB afeta desde a misturabilidade até a eficácia do sensoriamento e a resistência do material [10].

ii. Há também uma relação entre sensoriamento e resistência, pois otimizar a sensibilidade elétrica com CB pode, por vezes, não ser o ideal para as propriedades mecânicas do material, demandando um equilíbrio cuidadoso [3].

iii. Além disso, a questão do tempo e do ambiente questiona a estabilidade e durabilidade a longo prazo do sensoriamento sob variações de carga, temperatura, umidade e processos de degradação [3].

iv. A dificuldade em "decifrar o sinal" é outro desafio, pois separar mudanças na resistência elétrica causadas por deformação ou dano de influências ambientais requer métodos avançados de interpretação [3].

v. Por fim, alcançar escala" é difícil [10], pois replicar resultados entre lotes e escalonar o desempenho para elementos estruturais de tamanho real aponta para a necessidade de maior controle e padronização.

Apesar dos desafios, as perspectivas são promissoras. A pesquisa avança para o desenvolvimento de modelos mais sofisticados que possam correlacionar a resposta elétrica com estados de dano específicos. A combinação de CB com outros resíduos industriais condutores, como escória de aço, está sendo explorada para criar compósitos ainda mais sustentáveis e eficazes [15]. A integração desses materiais com a Internet das Coisas (IoT) e algoritmos de inteligência artificial poderá, no futuro, permitir um monitoramento em tempo real e preditivo da saúde das infraestruturas.

6. CONCLUSÕES

A análise qualitativa da vasta literatura sobre o tema reforça a ideia de que o Carbon Black é, de fato, um material com grande potencial para criar compósitos cimentícios auto sensíveis. Essa capacidade do compósito de detectar o próprio

estado através de mudanças na resistência elétrica, impulsionada pela rede condutiva de CB, é uma perspectiva viável para o futuro do monitoramento de estruturas.

Vimos que não é apenas a presença do CB, mas também suas características específicas, a quantidade utilizada, a maneira como ele é misturado e disperso, e a própria composição da matriz cimentícia e as condições ambientais, que juntos determinam o quão bem o material funciona como sensor. A dispersão homogênea, em particular, demostra ser como um fator crítico e um desafio persistente.

Embora a aplicação generalizada ainda tenha obstáculos significativos, o CB se destaca por seu baixo custo. Essa vantagem econômica o torna um material muito propicio para o desenvolvimento de soluções de SHM mais acessíveis e difundidas. Em resumo, apesar das complexidades, o conhecimento que estamos construindo nos aproxima cada vez mais da concretização da visão de estruturas civis que não são apenas fortes e duráveis, mas também inteligentes e capazes de serem auto sensíveis. Com o avanço das pesquisas, existe potencial da utilização de Carbon Black em compósitos cimentícios para transformar a maneira como construímos e mantemos nossa infraestrutura.

REFERÊNCIAS

[1] DENG, H.; LI, H. (2018). **Avaliação da capacidade de autodetecção de compósitos cimentícios projetados com negro de fumo**. *Construction and Building Materials*, v. 173, p. 1-9.

[2] DING, S. et al. (2019). **Automonitoramento de coluna de concreto inteligente incorporando sensores cimentícios modificados com enchimentos compostos CNT/NCB**. *Construction and Building Materials*, v. 201, p. 127-137.

[3] DINESH, A. et al. (2023). **Compósito de cimento auto-sensível à base de negro de fumo para monitoramento de saúde estrutural – Uma revisão sobre resistência e características condutivas**. *Materials Today: Proceedings*.

[4] HEMALATHA, T.; SANGOJU, B.; MUTHURAMALINGAM, G. (2022). **A study on copper slag as fine aggregate in improving the electrical conductivity of cement mortar.** ***Sadhana***, v. 47, n. 1, p. 141.

[5] LEE, S.-J. et al. (2022). **Capacidade de autodetecção de concreto reforçado com fibras de ultra-alto desempenho contendo pós condutores em tensão**. *Cement and Concrete Composites*, v. 125, p. 104331.

[6] LIU, G.; DING, Y. (2023). **Automonitoramento e Localização de Fissuras em Viga de Concreto com Fibras e Negro de Fumo Submetida à Flexão.** In: KRISTIAWAN, S. A. et al. (eds.). *Proceedings of the 5th International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering*. Lecture Notes in Civil Engineering, v. 225. Springer, Singapore.

[7] MONTEIRO, A. O.; CACHIM, P. B.; COSTA, P. M. (2017). **Compósito de cimento piezoresistivo auto-sensível carregado com partículas de negro de fumo**. *Cement and Concrete Composites*, v. 81, p. 59-65.

[8] ÖZTÜRK, O. (2021). **Comportamento multifuncional de vigas compostas baseadas em CNT e CB**. *Construction and Building Materials*, v. 296, p. 123453.

[9] SHI, Z.; LU, Y. (2023). **Carbon black enhanced cementitious composites for self-sensing micro strain**. *Materials Research Proceedings*, v. 27, p. 279-284.

[10] SIAD, H.; LACHEMI, M.; ŞAHMARAN, M. (2022). **Compósitos cimentícios nano-adaptados com capacidade de autodetecção**. In: *Recent Advances in Multifunctional Nanomodified Cementitious Composites*. Woodhead Publishing, p. 103-140.

[11] BOUILLARD, T. et al. (2025). **Mechanical performance and self-sensing capability of an amorphous fiber-reinforced concrete for radioactive waste storage facilities**. *Nuclear Engineering and Design*, 431, 113727.

[12] HAN, B.; DING, S.; YU, X. (2015). **Intrinsic self-sensing concrete and structures: A review**. *Measurement*, 59, 110-128.

[13] HE, Z.; JU, F.; XIAO, M. (2025). **Effects of aggregate size and carbon fiber content on piezoresistive responses of smart coal waste-based cemented paste backfill**. *Construction and Building Materials*, 470, 140562.

[14] HU, Z. et al. (2025). **Structural health monitoring of lightweight concrete beams strengthened with ultra-lightweight ECC-FRP mesh composite.** *Engineering Structures*, 322, 119224.

[15] NALON, G. H. et al. (2022). **Recycling waste materials to produce self-sensing concretes for smart and sustainable structures: A review.** *Construction and Building Materials*, 325, 126658.

[16] QIN, M. et al. **Enhanced electrical and mechanical properties in CNT/cement composites: A comprehensive review**. *Materials Today Communications*, v. 39, p. 107574, 2024.

[17] MAHDAVI, M. M.; AFZAL, N. **Electrical conductivity of cement-based composites**. Journal of Building Engineering, v. 14, p. 160-170, 2017.

[18] DONG, W. et al. **Dispersion of carbon-based nanomaterials in cement-based composites**: **A review**. *Construction and Building Materials*, v. 354, p. 129278, 2023.

[19] QIN, M. et al. **Enhanced electrical and mechanical properties in CNT/cement composites: A comprehensive review.** *Materials Today Communications*, v. 39, p. 107574, 2024.

[20] BANGERA, Deeksha N.; Y. N., Sudhakar; NAZARETH, Ronald Aquin. **Concrete-based energy storage: exploring electrode and electrolyte enhancements**. *RSC Advances*, v. 14, n. 53, p. 28854-28876, 2024.

[21] PIRO, Nzar Shakr et al. **Medição de resistividade elétrica, comportamento piezoresistivo e resistência à compressão do concreto: uma revisão abrangente**. *Materials Today Communications*, v. 36, p. 106573, 2023.

[22] ANDRADE, Carmen; ARALDI, Osvaldo. ***Corrosão em armaduras de concreto armado***. São Paulo: PINI, 2009.

[23] A. Hussain, Y. Xiang, T. Yu, F. Zou, Nanocarbon black-based ultra-high-performance concrete (UHPC) with self-strain sensing capability, Construct. Build. Mater. 359 (2022) 129496, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129496.

[24] T. Bouillard, A. Turatsinze, O. Helson, J.-P. Balayssac, A. Toumi, C. Soula, Mechanical performance and self-sensing capability of an amorphous fiber- reinforced concrete for radioactive waste storage facilities, Nucl. Eng. Des. 431 (2025) 113727, https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113727.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-36

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil

AVALIAÇÕES DAS FUNDAÇÕES EM PRÉDIOS DO TIPO CAIXÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE COM O AUXÍLIO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

BRITO, Isaac[1]; SANTOS, Lia[2]; KOHLMAN RABBANI, Emilia[3]

[1] Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, isab@poli.br, https://orcid.org/0000-0002-9149-870X
[2] Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, edra.liasantos@gmail.com , https://orcid.org/0009-0006-6049-3523
[3] Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, emilia.rabbani@upe.br, orcid.org/0000-0002-4016-5198

RESUMO

A tipologia conhecida como "prédio caixão" é amplamente utilizada em conjuntos habitacionais da Região Metropolitana do Recife (RMR), mas apresenta vulnerabilidades estruturais relevantes, sobretudo nas fundações. Este estudo teve como objetivo avaliar as condições dos embasamentos em blocos selecionados do Conjunto Beira Mar, utilizando inspeções visuais, escavações pontuais e termografia infravermelha como técnicas complementares de diagnóstico. Os resultados indicaram ausência de fissuras, recalques ou sinais de EPU, confirmando a estabilidade estrutural dos embasamentos. A análise termográfica evidenciou comportamento térmico homogêneo, sem presença de infiltrações ou degradações ocultas. Adicionalmente, observou-se que o espaço do caixão vazio permite intervenções internas de reforço, embora tenham sido identificados pontos de oxidação nas lajes do piso térreo. Conclui-se que a integração entre métodos destrutivos e não destrutivos fornece uma base técnica segura para o monitoramento e conservação de edificações dessa tipologia.

Palavras-chave: Fundações; prédios caixão; termografia; inspeção predial

ABSTRACT

The building typology known as “prédio caixão” is widely used in social housing developments across the Metropolitan Region of Recife (RMR), yet it presents structural vulnerabilities, particularly in foundation systems. This study aimed to assess the condition of foundation embankments in selected blocks of the Beira Mar housing complex using visual inspections, localized excavations, and infrared thermography as complementary diagnostic techniques. The results indicated no evidence of cracks, differential settlements, or signs of moisture-induced expansion (EPU), confirming the structural stability of the foundation walls. Thermographic analysis revealed homogeneous thermal behavior, with no signs of active moisture, infiltration, or hidden deterioration. Furthermore, the presence of an accessible crawl space (“caixão vazio”) allows for internal structural interventions, although localized corrosion of reinforcement bars in ground floor slabs was identified. It is concluded that the integration of destructive and non-destructive testing methods provides a reliable technical basis for monitoring and preserving buildings of this typology.

Keywords: foundations; caixão buildings; thermography; building inspection

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os chamados “prédios do tipo caixão” consolidaram-se como solução construtiva recorrente em programas habitacionais de interesse social na Região Metropolitana do Recife (RMR), sobretudo nas décadas de 1980 e 1990. Tais edificações caracterizam-se pela adoção de alvenaria de vedação com função estrutural, sem a presença de pilares ou vigas tradicionais, o que lhes confere elevada vulnerabilidade a agentes ambientais e a alterações não projetadas durante a vida útil [1]. A fundação, em geral do tipo direta, é composta por blocos cerâmicos deitados sobre sapatas corridas moldadas in loco, com embasamento esbelto e pouco protegido contra umidade, sendo frequentemente apoiado sobre solo de média a baixa compacidade.

Esse modelo construtivo apresenta riscos estruturais significativos, especialmente nas regiões litorâneas, onde há elevada presença de agentes agressivos, como íons cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}), que intensificam os processos de degradação das fundações e das armaduras presentes nos elementos estruturais [2]. Além disso, a atuação de águas pluviais e do lençol freático favorece a ocorrência da Expansão por Umidade (EPU), principalmente em blocos cerâmicos sem revestimento protetivo, reduzindo progressivamente sua resistência à compressão e gerando manifestações patológicas visíveis e ocultas [3].

Frente à dificuldade de inspeção direta desses elementos, a utilização de métodos não destrutivos (END) tem se mostrado uma alternativa eficaz. Entre esses métodos, destaca-se a termografia infravermelha, técnica capaz de mapear variações térmicas superficiais relacionadas à presença de umidade, delaminações, vazios e falhas de aderência em componentes construtivos [4]. Em conformidade com os preceitos da [5] que exige avaliações quanto à durabilidade, segurança estrutural e manutenibilidade, a termografia oferece vantagens práticas ao permitir diagnósticos rápidos, seguros e abrangentes, com mínima interferência na ocupação da edificação.

A relevância da avaliação estrutural de fundações em prédios do tipo caixão se justifica, ainda, pelo histórico de colapsos súbitos registrados na região, conforme apontado por [6], em que a origem do comprometimento estrutural se localizava nos embasamentos, intensificados por modificações indevidas e ausência de manutenção preventiva [7]. A necessidade de reforço e reabilitação estrutural dessas edificações deve, portanto, ser precedida por diagnósticos técnicos consistentes e contextualizados. Diante deste cenário, o presente artigo objetiva relatar a avaliação das fundações de três blocos habitacionais do Conjunto Beira Mar – localizados no bairro do Janga, em Paulista/PE – por meio da inspeção termográfica, complementada por escavações, inspeções visuais e registro fotográfico sistemático. Os dados levantados serão analisados à luz da literatura especializada e dos parâmetros técnicos estabelecidos pelas normas brasileiras de avaliação e segurança estrutural [8] (Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos). Espera-se, com este estudo, contribuir para a consolidação de práticas diagnósticas aplicadas a sistemas fundacionais de edificações habitacionais vulneráveis, indicando diretrizes técnicas para a proteção e o reforço estrutural dos embasamentos, com vistas à ampliação da vida útil, à segurança dos usuários e à conformidade com os critérios de desempenho exigidos pela norma técnica vigente.

2. METODOLOGIA

A definição da metodologia adotada neste estudo partiu da necessidade de avaliar tecnicamente as fundações de edificações do Conjunto Beira Mar, em virtude de ocorrências estruturais críticas previamente registradas no local. Ocorrências anteriores, como o desabamento do bloco D7 do Conjunto Beira Mar, em 7 de julho de 2023, que resultou em 11 a 14 vítimas fatais [9] o colapso parcial do bloco D10, em 30 de janeiro de 2025, sem registro de vítimas [10], ,evidenciam a urgência de realizar um diagnóstico técnica detalhado das fundações. Diante desse contexto, optou-se pela adoção de uma abordagem metodológica combinada, integrando técnicas destrutivas e não destrutivas de inspeção, com o propósito de levantar dados confiáveis sobre a estabilidade estrutural, detectar eventuais manifestações ocultas e subsidiar a proposição de medidas corretivas e de manutenção. A aplicação sequencial e integrada dos procedimentos metodológicos visou garantir uma análise completa do sistema fundacional, respeitando as diretrizes das normas técnicas vigentes e os princípios da engenharia diagnóstica.

2.1 Local do estudo

O presente estudo foi conduzido no Conjunto Habitacional Beira Mar, situado no bairro do Janga, município de Paulista, Região Metropolitana do Recife (RMR). Este conjunto é composto por edificações do tipo "prédio caixão", caracterizadas por estruturas em alvenaria resistente sem pilares ou vigas independentes. Nos últimos anos, o conjunto tem enfrentado

sérios problemas estruturais, incluindo desabamentos que resultaram em vítimas fatais e a necessidade de demolição de diversas unidades . Para preservar a confidencialidade e a segurança dos moradores, os blocos investigados neste estudo serão referenciados de forma genérica, sem identificação específica.

2.2 Procedimentos Metodológicos

A avaliação das fundações foi conduzida com base em uma abordagem diagnóstica integrada, utilizando técnicas destrutivas e não destrutivas de modo complementar, conforme preconiza a ABNT NBR 9452:2019 (Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos). Essa abordagem possibilita uma análise mais abrangente e segura da integridade dos elementos estruturais, especialmente em sistemas construtivos de difícil acesso direto, como os prédios do tipo caixão. As técnicas utilizadas descritas na Figura 1 são: inspeção visual sistemática, escavações localizadas para exposição dos embasamentos e termografia infravermelha. A seleção desses métodos buscou combinar avaliação direta com diagnóstico não invasivo, de forma a validar as observações por diferentes vias de verificação e reduzir a subjetividade na interpretação das manifestações patológicas. A sequência das atividades foi estruturada para garantir confiabilidade nos dados levantados e eficiência operacional, priorizando técnicas menos invasivas nos estágios iniciais da avaliação.

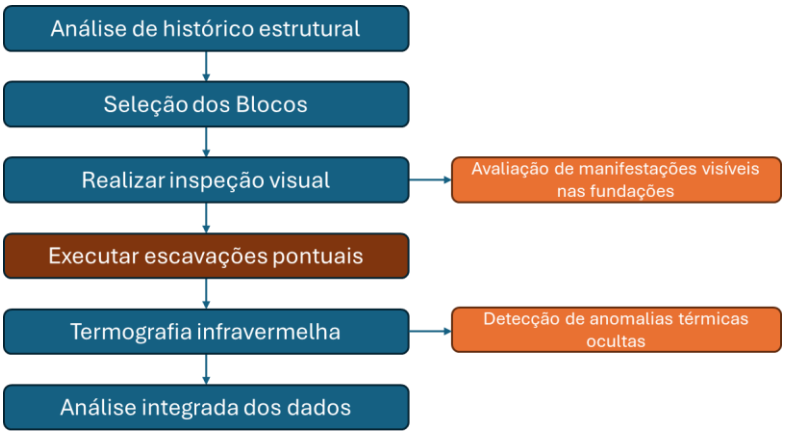


Figura 1 – Fluxograma das técnicas utilizadas para a realização da inspeção. Fonte: Elaborado pelos autores

2.3 Abertura de Furos e Inspeção Visual dos Embasamentos

Foram executadas escavações localizadas nas áreas de embasamento das edificações, permitindo a exposição direta das fundações. Essas aberturas possibilitaram a avaliação visual das condições dos blocos cerâmicos, verificação da presença de fissuras, desagregações, umidade ascendente e outros sinais de degradação material.

2.4 Registro Fotográfico

Durante todas as etapas da inspeção, foram realizados registros fotográficos detalhados, documentando as condições observadas nas fundações, embasamentos e demais elementos estruturais. Essas imagens serviram como base para análises posteriores e para a elaboração de laudos técnicos.

2.5 Aplicação de Termografia Infravermelha

A técnica de termografia infravermelha foi aplicada como método não destrutivo de avaliação, com o objetivo de detectar possíveis manifestações ocultas nas fundações das edificações, tais como infiltrações, umidade concentrada, delaminações ou falhas de aderência entre os materiais. Trata-se de uma ferramenta amplamente empregada em inspeções prediais, por sua capacidade de registrar variações térmicas superficiais que indicam alterações nos padrões de comportamento dos elementos construtivos. A escolha por essa técnica se justifica especialmente diante das limitações de acesso aos embasamentos e da necessidade de diagnósticos mais precisos e não invasivos.

As inspeções termográficas foram realizadas com a câmera UTi260B, fabricada pela Uni-Trend. Esse equipamento possui resolução infravermelha de 256 × 192 pixels (Figura 2), com faixa de medição térmica entre –20 °C e 550 °C, e tela de exibição LCD TFT de 2,8 polegadas. O sensor térmico possui sensibilidade inferior a 70 mK a 30 °C, o que permite detectar pequenas diferenças de temperatura com alto grau de precisão. A câmera conta ainda com modos de exibição variados, incluindo imagem térmica pura, imagem visível, fusão por imagem (PIP), além de sete paletas de cores disponíveis, como White Hot, Iron Red, Rainbow e Lava. A proteção do equipamento é classificada como IP65, o que garante resistência a poeira e jatos d'água, além de suportar quedas de até dois metros. A câmera dispõe ainda de sistema de transmissão em tempo real para análise posterior em computador, e de câmera digital embutida com resolução de 640 × 480 pixels.



Figura 2 – Câmera térmica realizada para as inspeções. Fonte: UNIT

Durante a aplicação, foram adotados parâmetros técnicos adequados à realidade do material inspecionado, utilizando-se valor de emissividade fixado em 0,95, compatível com superfícies de alvenaria e argamassa. As medições foram conduzidas a uma distância média de 2 a 3 metros das superfícies inspecionadas, sob temperatura ambiente entre 28 °C e 31 °C, com umidade relativa do ar em torno de 70%. As inspeções foram realizadas durante períodos de estabilidade térmica, o que garante maior fidelidade nos dados obtidos. A execução seguiu as diretrizes da norma ASTM E1934-99a (2010), adaptadas às condições climáticas e operacionais do local de estudo. As imagens capturadas foram posteriormente analisadas em conjunto com os registros visuais e os dados coletados nas escavações pontuais, permitindo uma leitura técnica mais completa da situação dos embasamentos. A utilização da termografia, nesse contexto, proporcionou uma camada adicional de segurança ao diagnóstico, ao validar a ausência de anomalias térmicas nas regiões inspecionadas e contribuir com a confiabilidade do laudo técnico.

3. RESULTADOS E DISSCUÇÃO

3.1 Condições gerais do Caixão

Durante as inspeções realizadas nos blocos do Conjunto Beira Mar, foi possível acessar o espaço denominado "caixão vazio", característico dessa tipologia construtiva. Esse espaço, localizado abaixo da laje do piso térreo, é formado pela ausência de aterro sob a fundação, criando um volume oco que, embora não tenha função habitável, influencia diretamente na ventilação, umidade do embasamento e na manutenção técnica da estrutura. Em todos os blocos inspecionados, foram identificadas aberturas de acesso ao caixão vazio, algumas realizadas originalmente como alçapões de manutenção e outras executadas de forma adaptada (figura 3). Essas entradas permitiram o avanço da investigação em ambiente confinado, viabilizando a avaliação direta da integridade do embasamento estrutural. Nesses locais, observou-se que a alvenaria de embasamento se apresentava estável, com boa aderência aos elementos de fundação e sem evidência de deslocamentos, trincas ou colapsos parciais. Um aspecto positivo verificado foi que o caixão vazio possui dimensões suficientes para permitir a execução de serviços de reforço estrutural ou manutenção corretiva de forma interna, sem a necessidade de escavações externas profundas. Essa característica favorece tanto a logística de intervenção quanto a

segurança, permitindo ações de escoramento e reforço com acesso direto às bases das paredes portantes e elementos fundacionais.



(a) (b)

Figura 3 (a) e (b) – Condições dos caixões vazios encontrados nas inspeções. Fonte: Elaborado pelos autores

Contudo, como ponto crítico identificado, foi observada a ocorrência de oxidação em partes da armadura das lajes que compõem o piso dos apartamentos térreos (Figura 4). Em alguns pontos, essa oxidação é visível na superfície inferior da laje, com presença de eflorescência, perda parcial do cobrimento e, em casos pontuais, exposição direta de barras com indícios de corrosão ativa. Essa condição pode estar relacionada à presença de umidade residual no ambiente do caixão, à ausência de barreiras de vapor no piso superior ou à deficiência no sistema de impermeabilização e ventilação.



Figura 4 – Pontos de oxidação encontrados na laje. Fonte: Elaborado pelos autores

A presença dessas patologias, ainda que localizadas, merece atenção especial, uma vez que compromete a durabilidade das lajes de piso e pode evoluir para perda de capacidade resistente se não forem adotadas medidas preventivas. Recomenda-se, portanto, a inspeção regular desse espaço técnico e, quando necessário, a aplicação de técnicas de passivação das armaduras e reforço das lajes, conforme preconizado em intervenções de durabilidade estrutural.

3.2 Condições da alvenaria de embasamento da fundação

As inspeções realizadas nos embasamentos das fundações dos blocos analisados não revelaram qualquer manifestação patológica relevante. Durante as escavações e observações presenciais, não foram constatadas fissuras (Figura 5), recalques diferenciais, desagregações, nem outros sinais de dano estrutural nos elementos acessados. Também não se observou a ocorrência de Expansão por Umidade (EPU) nos blocos cerâmicos utilizados, patologia comum em edificações do tipo caixão na RMR, principalmente quando expostas a ambientes com saturação hídrica prolongada. No momento das inspeções, o lençol freático não se encontrava elevado, e as condições de drenagem, tanto superficial quanto subsuperficial, demonstraram-se funcionais, sem evidência de acúmulo de água nas proximidades das fundações. Apesar da espessura reduzida dos embasamentos característica típica desse sistema construtivo as alvenarias encontravam-se estáveis, secas e bem conservadas. Não foram identificados pontos de umidade ascendente, oxidação de armaduras, nem falhas relevantes nos revestimentos que sugerissem vulnerabilidades críticas. Esses resultados são relevantes, sobretudo considerando o histórico de degradação e colapsos parciais em edificações similares da região. Eles reforçam a necessidade de manter um programa contínuo de inspeções e manutenção preventiva, com foco na preservação das boas condições estruturais identificadas durante esta avaliação.



Figura 5 – Condição dos embasamentos durante as inspeções. Fonte: Elaborado pelos autores

3.3 Análise Termográfica

Durante a varredura, não foram identificadas anomalias térmicas significativas nas regiões inspecionadas (figura 4). As áreas termografadas apresentaram comportamento térmico homogêneo, sem indícios de umidade concentrada, delaminação de revestimentos ou infiltrações ativas. Também não foram detectadas zonas frias associadas a falhas de estanqueidade ou acúmulo de água nos elementos estruturais próximos ao embasamento. Os dados obtidos confirmam que, no momento da avaliação, não havia comprometimento funcional ou indícios de degradação oculta nas fundações inspecionadas. A termografia demonstrou-se eficaz como ferramenta complementar, validando os resultados das inspeções visuais e das escavações pontuais, e oferecendo segurança adicional ao diagnóstico técnico.

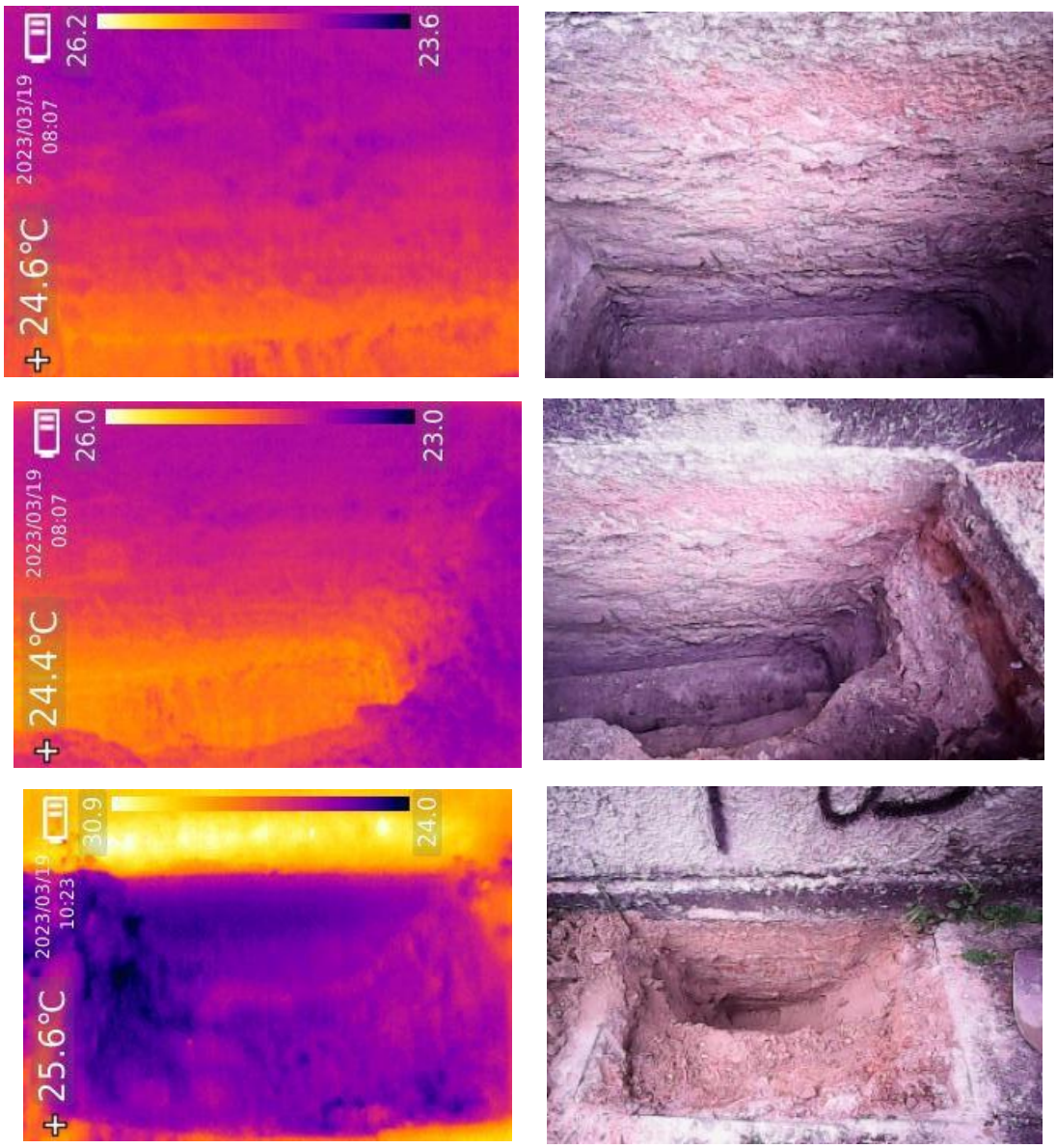


Figura 4 – Resultado da termografia infravermelha em diversos pontos de inspeções na fundação. Fonte: Elaborado pelos autores

3.4 Comparativo dos blocos

A inspeção técnica dos blocos selecionados do Conjunto Beira Mar permitiu identificar tanto características construtivas padronizadas, comuns à tipologia "prédio caixão", quanto variações pontuais nas condições estruturais entre os blocos. O comparativo entre as unidades inspecionadas (tabela 1) evidenciou similaridades no sistema fundacional e no caixão vazio, mas também revelou divergências quanto ao estado de conservação dos elementos estruturais complementares, como as lajes de piso e os acessos técnicos.

Tabela 1 - Tabela Comparativa dos Blocos inspecionados

Categoria	Item Avaliado	Descrição
Aspectos Comuns	Tipologia estrutural	Todos os blocos apresentaram fundações diretas compostas por blocos cerâmicos deitados apoiados em sapatas corridas, embasamentos esbeltos e caixões vazios sob a laje do térreo.
Aspectos Comuns	Acesso ao caixão vazio	Foi possível acessar o caixão vazio através de aberturas pré-existentes ou adaptadas, viabilizando a inspeção interna dos embasamentos e o registro termográfico com boa amplitude visual.
Aspectos Comuns	Condições dos embasamentos	As alvenarias de embasamento apresentaram-se estáveis, sem fissuras, recalques ou sinais de desagregação, indicando ausência de patologias estruturais críticas.
Aspectos Comuns	Eficiência da drenagem superficial	Não foram observados indícios de acúmulo de água próximo às fundações, o que contribuiu para a ausência de umidade ascendente nos blocos cerâmicos.
Variações Identificadas	Oxidação das lajes do térreo	Em alguns blocos, foram identificados pontos de oxidação ativa nas armaduras das lajes, com maior ou menor intensidade. Essa condição não foi uniforme entre os blocos.
Variações Identificadas	Revestimentos no embasamento	Houve variação na presença e na integridade dos revestimentos protetores nas paredes do embasamento. Alguns blocos apresentaram camadas intactas; outros, rarefação ou ausência.
Variações Identificadas	Condições do acesso ao caixa	Em determinados blocos, os acessos ao caixão estavam bem dimensionados. Em outros, o acesso era restrito ou improvisado, dificultando futuras intervenções.

Essa comparação evidencia que, embora os blocos compartilhem a mesma concepção construtiva e tenham sido edificados sob os mesmos critérios técnicos, as condições de manutenção, intervenções realizadas por moradores e fatores ambientais locais influenciam significativamente o desempenho estrutural de cada unidade. A heterogeneidade observada reforça a necessidade de avaliação individualizada por bloco, mesmo em conjuntos habitacionais homogêneos.

Além disso, a variação na integridade das lajes e dos revestimentos reforça a importância da implementação de planos de manutenção preventiva, conforme preconiza a ABNT NBR 5674:2012, de forma a evitar a evolução de manifestações pontuais para quadros patológicos mais graves.

3.5 Análise Integrada e Contributiva dos Ensaios

A avaliação técnica das fundações foi estruturada a partir da aplicação de métodos complementares, com o objetivo de aumentar a confiabilidade do diagnóstico e reduzir a margem de incerteza sobre o estado estrutural dos blocos inspecionados. A interpretação integrada dos dados obtidos por inspeção visual, escavações pontuais e termografia infravermelha permitiu validar os resultados de forma cruzada, evidenciando a contribuição específica de cada técnica para o entendimento global da situação patológica.

A inspeção visual inicial foi fundamental para mapear manifestações aparentes nos elementos acessíveis, identificar fissuras superficiais, deslocamentos ou sinais de recalque. Embora não tenham sido observadas anomalias visuais significativas nos embasamentos acessíveis, esse método forneceu os primeiros indícios da estabilidade aparente das alvenarias de fundação e serviu como base para a seleção dos pontos de escavação.

As escavações pontuais representaram uma etapa de confirmação física, permitindo o acesso direto às fundações. Essa técnica foi essencial para verificar o estado real dos blocos cerâmicos de embasamento, a integridade dos revestimentos e a presença ou ausência de umidade ascendente, desagregações ou sinais de colapso localizado. Os resultados dessa etapa corroboraram os achados visuais, indicando bom estado geral dos elementos estruturais.

A termografia infravermelha, por sua vez, funcionou como ferramenta de verificação complementar não destrutiva, com a vantagem de permitir a detecção de anomalias ocultas que poderiam não ser visíveis ou acessíveis nas outras etapas. As imagens térmicas obtidas demonstraram comportamento homogêneo nas áreas inspecionadas, sem indícios de infiltrações ativas, delaminações ou zonas frias associadas a acúmulo de umidade. Essa técnica reforçou a confiabilidade do diagnóstico e contribuiu para validar a ausência de manifestações patológicas em regiões de difícil acesso.

Ao serem analisados de forma conjunta, os dados obtidos revelam um quadro técnico consistente de estabilidade estrutural nas fundações avaliadas. A metodologia sequencial adotada, com aplicação progressiva de métodos de crescente grau de aprofundamento, mostrou-se eficiente para assegurar a robustez das conclusões. A abordagem multidisciplinar adotada confirma a importância da integração entre diferentes métodos de ensaio para a construção de diagnósticos precisos, especialmente em sistemas construtivos com acesso limitado, como os prédios do tipo caixão.

4 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo avaliar as fundações de edificações do tipo caixão localizadas no Conjunto Habitacional Beira Mar, na Região Metropolitana do Recife, utilizando uma metodologia combinada que integrou inspeções visuais, escavações pontuais e termografia infravermelha. A aplicação sequencial e complementar dessas técnicas permitiu uma análise mais técnica segura das condições estruturais dos embasamentos, alinhada às diretrizes da engenharia diagnóstica e às normas técnicas vigentes. Os resultados obtidos evidenciaram a estabilidade estrutural dos blocos inspecionados no momento das vistorias, sem ocorrência de fissuras, recalques diferenciais, umidade ascendente ou sinais de Expansão por Umidade (EPU). As inspeções visuais e as escavações revelaram alvenarias de embasamento em bom estado de conservação, com aderência satisfatória às fundações e ausência de manifestações patológicas relevantes. A termografia infravermelha, por sua vez, confirmou a inexistência de anomalias térmicas significativas, validando os achados das etapas anteriores e ampliando a confiabilidade diagnóstica.

A análise integrada dos dados demonstrou que cada técnica empregada contribuiu de forma específica para o entendimento global das condições estruturais. A inspeção visual atuou como triagem inicial, as escavações permitiram a verificação física direta dos materiais e a termografia forneceu uma visão ampliada de potenciais falhas ocultas. A complementaridade dos métodos foi determinante para a formação de um parecer técnico seguro, com base em evidências convergentes. Apesar da ausência de danos estruturais relevantes, foi identificada a presença localizada de oxidação nas armaduras das lajes dos pavimentos térreos em alguns blocos, condição que requer medidas corretivas pontuais, como a passivação das armaduras e reforço das lajes. Além disso, a existência do caixão vazio em condições acessíveis representa uma oportunidade estratégica para futuras intervenções internas de reforço estrutural, com menor impacto à ocupação.

Recomenda-se, com base nos achados deste estudo, com inspeções periódicas dos espaços técnicos e verificação das condições das fundações e lajes inferiores. Conclui-se que a integração de métodos destrutivos e não destrutivos é essencial para a avaliação de edificações do tipo caixão, permitindo diagnósticos técnicos precisos e decisões mais seguras no planejamento de reforços e reabilitações estruturais em contextos urbanos vulneráveis.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a FACEPE por fornecer a bolsa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

[1] GUSMÃO, TARCÍSIO CORREIA DE. **Engenharia para prédio caixão da Região Metropolitana do Recife.** 1. ed. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2012. Cap. 10.

[2] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

[3] BRAGA, CHELSSY EMANUELE DE OLIVEIRA. **Estudo de caso para análise de viabilidade de recuperação de prédio em alvenaria resistente com risco ao desabamento na cidade de Recife.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2016.

[4] MEOLA, CARLA; CARLOMAGNO, GIOVANNI MARIA. **Recent advances in the use of infrared thermography.** Measurement Science and Technology, [S.l.], v. 15, p. R27–R58, 2004. DOI: https://doi.org/10.1088/0957-0233/15/9/R01

[5] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

[6] SANTOS, ANDRÉ LUÍS DE MELO DOS; PIRES SOBRINHO, CLÁUDIO WAGNER DE ARAÚJO. **Reforço estrutural em prédio caixão situado na Região Metropolitana de Recife.** Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 3, n. 2, p. 31–45, 2018. Disponível em: https://revistas.unifoa.edu.br/repa/article/view/2410. Acesso em: 24 abr. 2025.

[7] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674:2021 – Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.** Rio de Janeiro, 2012.

[8] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452:2019 – Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos.** Rio de Janeiro, 2019.

[9] CNN BRASIL. **Sobe para 11 o número de mortos em desabamento de prédio no Grande Recife**. São Paulo, 7 jul. 2023. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/mortos-desabamento-predio-recife-pernambuco/. Acesso em: 30 jul. 2025.

[10] DIÁRIO DE PERNAMBUCO**. Bloco do Conjunto Beira Mar, no Janga, desaba na manhã desta quinta (30). Recife**, 30 jan. 2025. Disponível em: https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2025/01/bloco-do-conjunto-beira-mar-no-janga-desaba-na-manha-da-quinta-30.html. Acesso em: 30 jul. 2025.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-34

ÁREA TEMÁTICA: Patologias e Vida Útil

CARBONATAÇÃO EM CONCRETO CONVENCIONAL SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO

FRAGA, Lorrania Soares[1]; PAULINO, Mohamed Beserra[2]; NASCIMENTO, Jussara Cruz[3]; DOURADO, Lara Fernanda Nunes[4]; LIMA, Karla Ulisses[5]

[1] Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Januária, Brasil, lorraniafraga@gmail.com
[2] Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Januária, Brasil, mohamedbezerrapaulino@gmail.com
[3] Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Montes Claros, Brasil, jussara.nascimento@ifnmg.edu.br
[4]Instituto Federal de Minas Gerais, Santa Luzia, Brasil, lara.dourado@ifmg.edu.br
[5]Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Januária, Brasil, karla.lima@ifnmg.edu.br

RESUMO

A carbonatação é um processo físico-químico que ocorre no concreto devido à reação química do CO_2 (proveniente da reação do gás carbônico atmosférico com a água presente no concreto) com o hidróxido de cálcio, que é um produto da hidratação do cimento, essa reação por sua vez tem como produto o carbonato de cálcio. A carbonatação pode ser prejudicial especialmente em concretos armados, uma vez que em decorrência do carbonato de cálcio gerado pelo processo, o pH do concreto é reduzido, comprometendo a película passivadora do aço, tornando o metal vulnerável à corrosão. O objetivo deste trabalho consistiu em verificar as implicações da carbonatação em amostras de concreto convencional em decorrência do ambiente no qual esse concreto é exposto. Foi realizado o estudo de dosagem do concreto e as amostras foram submetidas à cura submersa até a idade de 28 dias, depois foram expostas a diferentes ambientes com possíveis concentrações distintas de CO_2 por 60 dias e logo após, submetidas aos ensaios de resistência à compressão e carbonatação. Os resultados obtidos demonstraram que o avanço da profundidade de carbonatação foi menor em ambientes onde a concentração de CO_2 é possivelmente menor, no entanto, não foi possível estabelecer uma relação direta entre a resistência à compressão e a profundidade de carbonatação do concreto.

Palavras-chave: Concreto. Carbonatação. Resistência à compressão. Durabilidade.

ABSTRACT

Carbonation is a physical-chemical process that occurs in concrete due to the chemical reaction of CO2 (derived from the reaction of atmospheric carbon dioxide with water present in the concrete) with calcium hydroxide, which is a product of cement hydration. This reaction in turn produces an alkaline substance called calcium carbonate. Carbonation can be harmful, especially in reinforced concrete, since the pH of the concrete is reduced because of the calcium carbonate generated by the process, compromising the steel's passivating film and making the metal vulnerable to corrosion. The objective of this study was to verify the implications of carbonation in samples of conventional concrete due to the environment to which this concrete is exposed. A study of the concrete dosage was carried out and the samples prepared were subjected to submerged curing until the age of 28 days, then they were exposed to different environments with possible different concentrations of CO2 for 60 days and, immediately after, subjected to compressive strength and carbonation tests. The results obtained demonstrated that the advance of carbonation depth was lower in environments where the CO2 concentration is possibly lower, however, it was not possible to establish a direct relationship between the compressive strength and the carbonation depth of the concrete.

Keywords: Concrete. Carbonation. Compressive strength. Durability.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto têm uma enorme aplicabilidade em edificações de todo o mundo. O conhecimento sobre a durabilidade do concreto é essencial para prever o comportamento do material ao longo dos anos e prevenir fenômenos patológicos precoces, além de contribuir para a sustentabilidade e economia em seu processo construtivo, afirmam Medeiros, Andrade e Helene [1].

Segundo Lima [2], existem inúmeros fatores que influenciam na durabilidade das estruturas de concreto, com destaque para a temperatura, índice pluviométrico local, umidade relativa do ar e os poluentes atmosféricos. Tendo em vista o desenvolvimento acelerado das cidades e o aumento da poluição, as estruturas de concreto construídas nestes ambientes podem ser bastante prejudicadas com a exposição direta aos agentes agressivos. Nesse sentido, Krug *et al.* [3], destacam a carbonatação do concreto, fenômeno relacionado à presença do dióxido de carbono no meio ambiente, como um dos principais processos que afetam a vida útil das edificações.

A carbonatação é um fenômeno físico-químico que penetra lentamente no concreto a partir da sua superfície, podendo causar a despassivação da película protetora do aço, acarretando a degradação da estrutura. O concreto é um material que apresenta peculiaridades em sua estrutura. Sua morfologia pode contribuir para sua própria deterioração já que seus poros e fissuras facilitam a entrada de substâncias nocivas a sua durabilidade e vida útil, como o gás carbônico, por exemplo. De acordo com Tokudome [4], o processo da carbonatação é provocado pela presença do dióxido de carbono no ambiente em que a estrutura se encontra. O composto químico penetra nos poros do concreto e reage com a umidade da estrutura, transformando-o em ácido carbônico (H_2CO_3), que por sua vez reage com o hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$, resultando em água (H_2O) e carbonato de cálcio ($CaCO_3$).

Segundo Neville [5], a carbonatação ocorre primeiro na superfície do concreto e, em seguida, se desenvolve gradualmente para o seu interior. A profundidade da carbonatação separa duas zonas de pH do concreto. Dentro da normalidade, o valor do pH é próximo a 13 e para as peças carbonatadas o pH fica em torno de 8. Em concretos com estruturas mais porosas ou fissuradas, a carbonatação pode atingir grandes profundidades, pois a taxa de penetração depende do teor de umidade e CO_2 do ambiente. Portanto, concretos com fator água/cimento elevado ou processo de cura insuficiente, são mais propensos a carbonatação devido à sua alta permeabilidade.

Vários pesquisadores citam o fenômeno da carbonatação como um exemplo típico que favorece a despassivação da armadura, entre eles, Bary e Sellier [6], Puertas, Palácios e Vázquez [7] e Hui-Sheng, Bi-Wan e Xiao-Chen [8]. Sendo assim, no concreto armado, essa condição é mais preocupante, visto que a camada protetora da barra de aço, uma película passivadora, é formada pelas condições alcalinas do concreto. Com a carbonatação o pH do concreto é reduzido, podendo resultar na perda da película passivadora, deixando o aço vulnerável à corrosão. Um estudo realizado por Duffo *et al.* [9] concluiu que a corrosão da armadura de uma estrutura de concreto de 65 anos foi provocada pela carbonatação desenvolvida ao longo da vida útil da estrutura. Um estudo conduzido por Chen, Liu e Yu [10] concluiu que a profundidade da frente de carbonatação em uma peça estrutural está diretamente relacionada à concentração de CO_2 no concreto.

Neville e Brooks [11] definem a carbonatação como a reação do dióxido de carbono com o cimento hidratado e estabelecem concentrações padrões de dióxido de carbono de acordo com o ambiente. Em um ambiente rural, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera é por volta de 0,03% (por volume); em um laboratório não ventilado, é em torno de 0,1% e geralmente mais de 0,3% nas grandes cidades.

Merah [12] analisou diversos métodos de ensaio de carbonatação acelerada e destacou que fatores como temperatura, umidade relativa do ar e tempo de exposição influenciam significativamente o avanço da frente de carbonatação. O autor também ressaltou que o tipo de cimento utilizado exerce influência direta nesse processo. Ainda segundo o estudo, o método mais amplamente adotado para a determinação da profundidade de carbonatação em condições aceleradas é a aplicação da fenolftaleína como indicador de pH.

Variações regionais de temperatura, umidade e concentração de dióxido de carbono influenciam de forma diferenciada o avanço da carbonatação em estruturas de concreto armado. Esse cenário se agrava diante da frequente não conformidade em relação ao cobrimento mínimo estabelecido pela ABNT NBR 6118 [13], comprometendo significativamente a

durabilidade das estruturas, conforme afirmam Teodoro e Carrazedo [14]. Nesse contexto, estudos regionais sobre a carbonatação no Brasil são fundamentais para orientar estratégias de projeto e conservação mais eficazes.

Considerando a durabilidade das estruturas de concreto, cabe analisar suas peculiaridades e garantir que apresentem a qualidade e vida útil como projetada. Sendo assim, este estudo teve como objetivo verificar as implicações da carbonatação em amostras de concreto convencional expostas em diferentes ambientes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

As amostras de concreto foram confeccionadas em laboratório com cimento Portland comum - CP II, areia quartzosa (granulometria < 600 μm), brita n° 0, brita n° 1 e água potável. A consistência do concreto fresco foi avaliada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), obtendo-se um valor médio de aproximadamente 100 mm. Para verificação da carbonatação nas amostras do concreto utilizou-se solução de fenolftaleína 1%.

2.2 Métodos

Inicialmente, para a escolha do traço do concreto a ser utilizado na pesquisa, foi realizado um estudo de dosagem de concreto Fck (*feature compression know*) ou resistência característica à compressão de 15 MPa, com os traços mais utilizados na cidade de Januária-MG e, obteve-se como traço mais viável para a pesquisa o traço 1:3,1:4,7:0,47 (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e fator água/cimento).

Os corpos de prova foram moldados em formas cilíndricas de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura (10 x 20 cm) e a confecção destes ocorreu da seguinte maneira: primeiramente todos os materiais foram pesados na proporção referente ao traço de concreto adotado. A produção do concreto foi realizada com base no método convencional seguindo a sequência conforme a Figura 1, misturando os materiais de cada etapa por 5 minutos na betoneira.



Figura 1 – Etapas do processo de mistura adotado para a confecção dos corpos de prova de Concreto

O concreto ainda em seu estado fresco foi submetido ao ensaio de *slump test* para verificação do abatimento da mistura. Os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas e submetidos à cura submersa em água com cal até a idade de 28 dias. Após esse período, os corpos de prova foram separados em cinco lotes com três corpos de prova, para que cada lote fosse exposto a ambientes com diferentes taxas de emissão de CO_2 por um período de 60 dias, a temperatura ambiente.

Os ambientes nos quais os corpos de prova foram expostos apresentam classe de agressividade I e II, apresentando o grau de deterioração da estrutura insignificante e pequeno, respectivamente, conforme a norma ABNT NBR 6118 [13].

O primeiro lote de amostras foi exposto no posto policial da cidade de Januária, na saída para a cidade de Montes Claros, um local arejado e descoberto com grande fluxo de veículos de pequeno, médio e grande porte. A Figura 2 apresenta a localização e a Figura 3 mostra os corpos de prova expostos no local.

O segundo lote de amostras foi exposto em um posto de gasolina na cidade de Januária, local coberto, arejado e com grande fluxo de veículos de pequeno, médio e grande porte, como demonstrado na Figura 4 e Figura 5.

O terceiro lote de amostras foi exposto no estacionamento de um supermercado no centro da cidade de Januária, com grande fluxo de veículos de pequeno porte, um local aberto, coberto e pouco arejado, como demonstrado nas Figuras 6 e na Figura 7.



Figura 2 e 3 – Localização das amostras do Lote I, expostos no posto policial da cidade de Januária.



Figura 4 e 5 – Localização das amostras do Lote II, expostos em um posto de gasolina, na cidade de Januária.



Figura 6 e 7 – Localização das amostras do Lote III, expostos em um estacionamento de supermercado, na cidade de Januária.

O quarto lote de amostras foi exposto na guarita do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG) campus Januária, como mostra as Figuras 8 e 9. O local foi caracterizado como um local aberto, arejado, com pouco fluxo de veículos pois na época da realização do estudo as aulas no campus estavam suspensas.

O quinto lote de amostras foi exposto no laboratório de construção civil no IFNMG - Campus Januária, como ilustrado nas Figuras 10 e 11. O local foi caracterizado como um local fechado, coberto, pouco arejado e com pouco fluxo de veículos e pessoas.

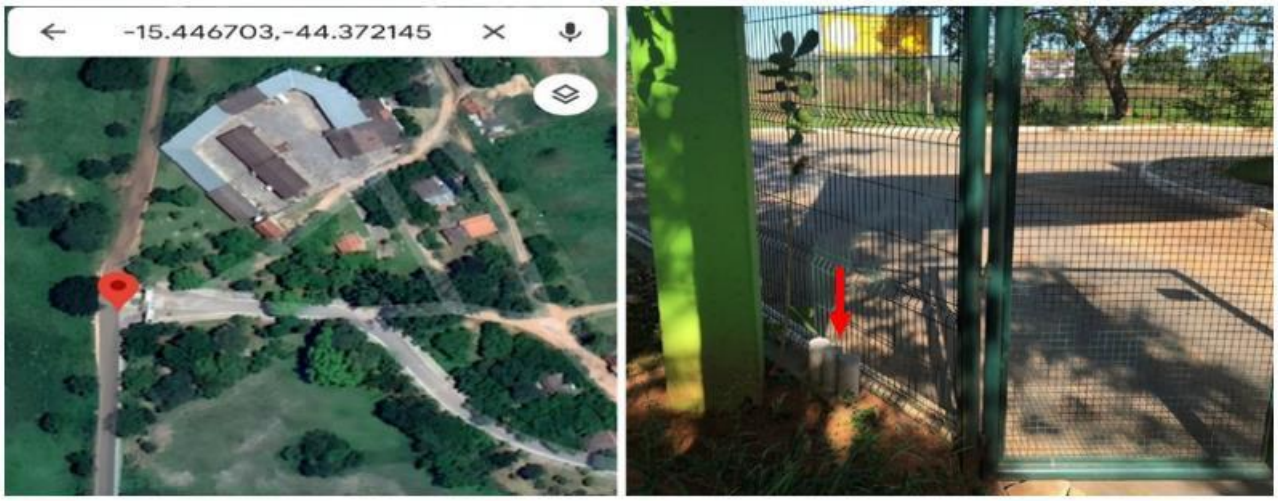


Figura 8 e 9 – Localização das amostras do Lote IV, expostos na entrada do IFNMG campus Januária.

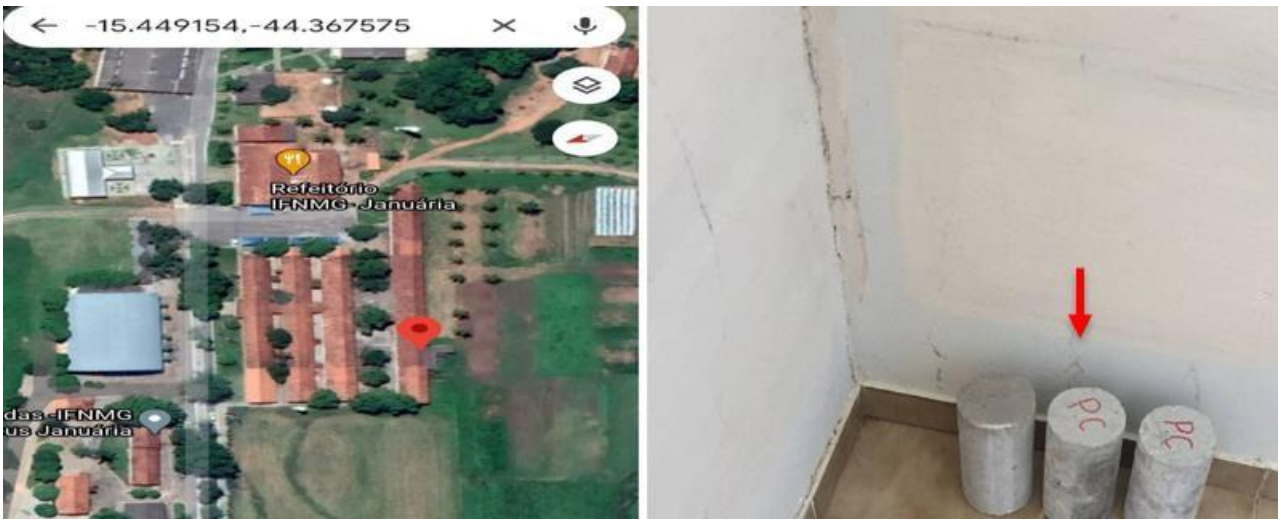


Figura 10 e 11 – Localização das amostras do Lote V, expostos no laboratório de construção civil do IFNMG *campus* Januária.

Após 60 dias de exposição aos ambientes citados, as amostras foram recolhidas e levadas ao laboratório de construção civil do IFNMG campus Januária, onde foram submetidos ao teste de resistência mecânica para análise da resistência à compressão, como demonstrado na Figura 12 e 13.

Em seguida, avaliou-se a carbonatação nos corpos de prova. Para análise da carbonatação, aspergiu-se solução de fenolftaleína 1% no corpo de prova rompido e mediu-se a profundidade da carbonatação com paquímetro digital, assim como apresentado na Figura 14.



Figura 12 e 13 – Ensaio de resistência à compressão das amostras.

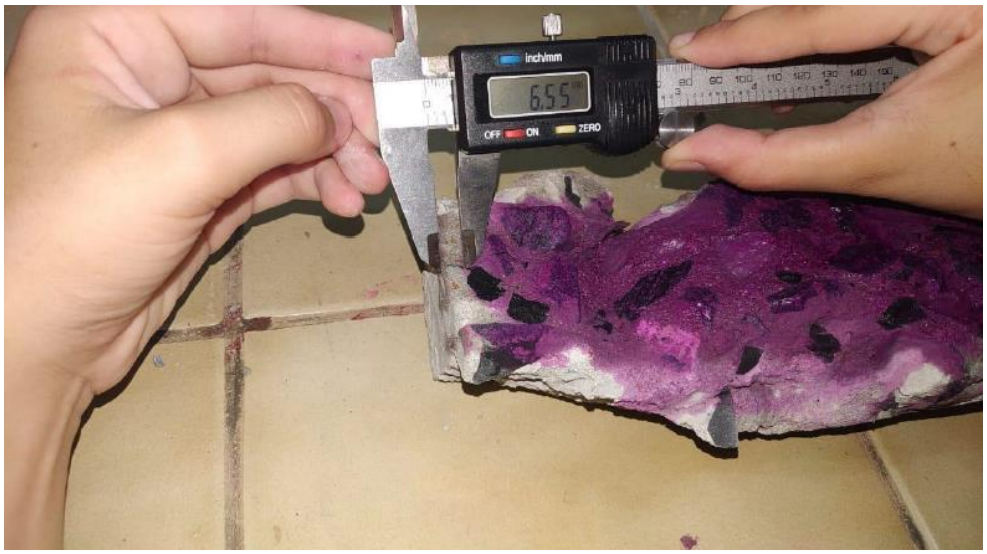


Figura 14 – Medição da profundidade de carbonatação do concreto.

2.3 Análise estatística

Para a análise estatística dos dados obtidos nos ensaios, foi empregada a análise de variância (ANOVA) de uma via, com o objetivo de verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos grupos avaliados. A ANOVA considera a variabilidade interna e entre os grupos, permitindo testar a hipótese nula de que todas as médias são estatisticamente iguais. Para identificar quais pares de grupos apresentavam essas diferenças, foi aplicado o teste *post-hoc* de Tukey (HSD) com nível de significância de 5%, que realiza comparações múltiplas entre as médias, controlando o erro do tipo I. As análises foram conduzidas com suporte do *software* Excel versão 2024.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 15 são apresentados os resultados do ensaio de resistência à compressão dos lotes das amostras de concreto. Constatou-se que as amostras mantiveram um padrão de resistência entre 10 MPa e 15 MPa. A ANOVA indicou diferença estatisticamente significativa entre os lotes (p = 0,0033). Considerando os resultados teste *post-hoc* de Tukey (HSD) apresentados na Tabela 1, pode-se afirmar que o Lote III apresentou resistência significativamente superior em relação aos Lotes I, II e IV, enquanto o Lote V também apresentou valores médios de resistência superiores ao Lote II. Esses resultados sugerem que os Lotes III e V possuem matriz cimentícia mais densa e menos porosa, favorecendo a resistência mecânica e a durabilidade frente à carbonatação**.** Por outro lado, os Lotes I, II e IV apresentaram resistências mais baixas e estatisticamente semelhantes entre si, o que pode indicar condições de dosagem ou execução menos favoráveis ao desempenho mecânico. Corroborando com essa análise, Barría *et al*. [15] demonstraram experimentalmente que a compactação da matriz cimentícia e a redução da porosidade resultaram em significativo aumento da resistência mecânica. Esses resultados reforçam a relação inversa entre porosidade e resistência, e indicam a relevância da densidade microestrutural para a durabilidade do concreto frente à carbonatação.

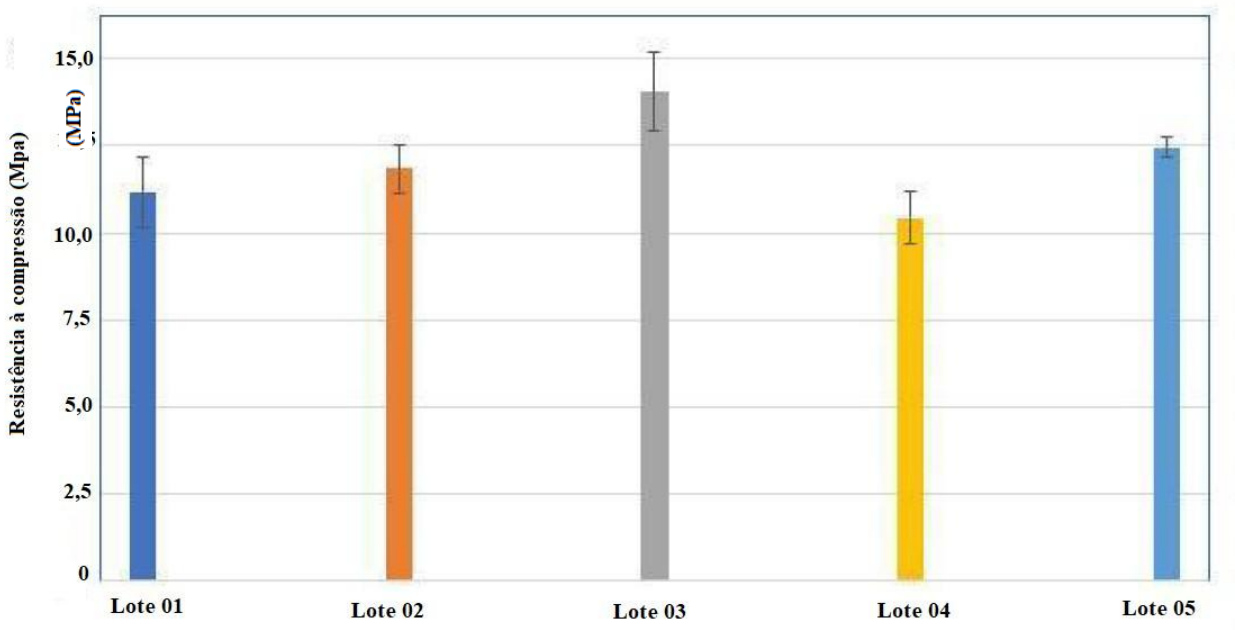


Figura 15 – Resistência à compressão dos lotes de amostras de concreto.

Tabela 1 - Comparações múltiplas de Tukey (HSD) para resistência à compressão entre os lotes.

Grupo 1	Grupo 2	Diferença de Médias (MPa)	Valor de p	IC Inferior	IC superior	Diferença Significativa
Lote I	Lote II	0,72	0,7812	-2,01	3,45	Não
Lote I	Lote III	-3,33	0,0087	-6,06	-0,60	Sim
Lote I	Lote IV	0,11	0,9995	-2,62	2,84	Não
Lote I	Lote V	-2,34	0,0713	-5,07	0,39	Não
Lote II	Lote III	-4,05	0,0014	-6,78	-1,32	Sim
Lote II	Lote IV	-0,61	0,8896	-3,34	2,12	Não
Lote II	Lote V	-3,06	0,0127	-5,79	-0,33	Sim
Lote III	Lote IV	3,44	0,0068	0,71	6,17	Sim
Lote III	Lote V	0,99	0,6972	-1,74	3,72	Não
Lote IV	Lote V	-2,45	0,0589	-5,18	0,28	Não

A seguir, na Figura 16 são apresentados os resultados das medições da profundidade da frente de carbonatação das amostras de concreto após 60 dias de exposição nos ambientes. A análise estatística por meio da ANOVA de uma via

indicou diferença estatisticamente significativa entre os grupos, evidenciando que ao menos um dos lotes apresentouprofundidade de carbonatação distinta dos demais ($p < 0,05$).

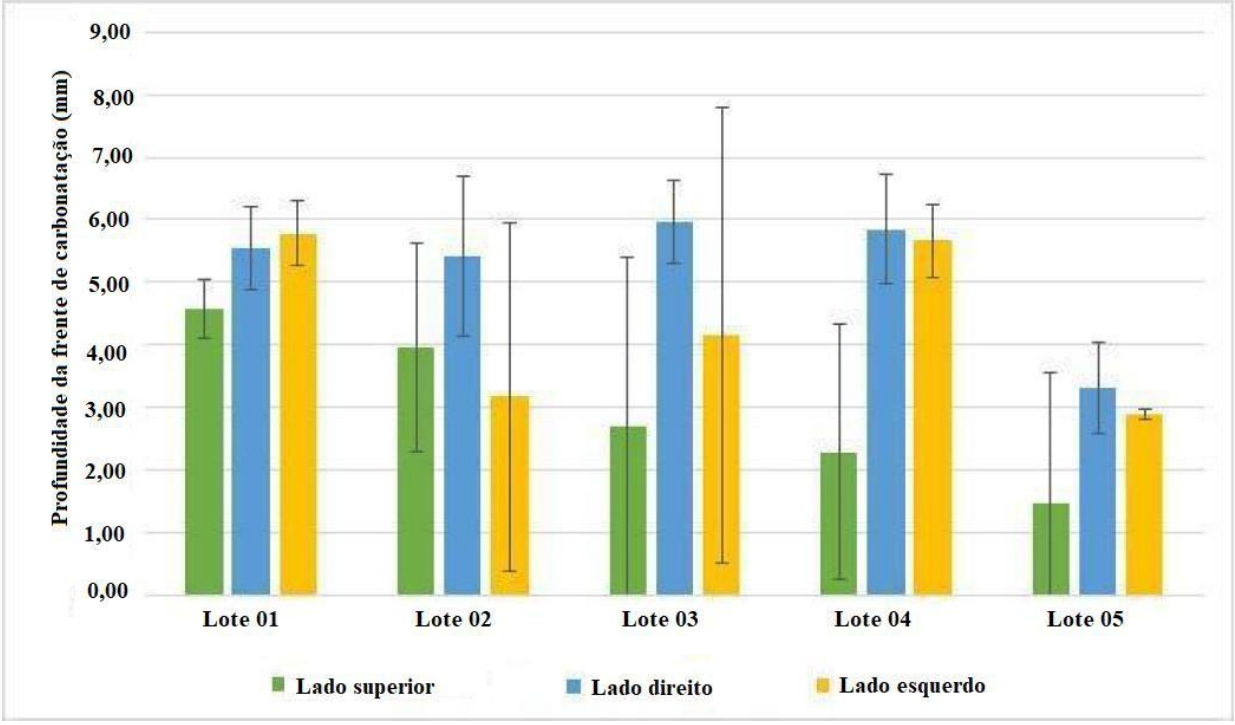


Figura 16 – Profundidade da frente da carbonatação dos lotes de corpos de prova de concreto.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados do teste *post-hoc* de Tukey (HSD), que revelou diferenças estatisticamente significativas apenas entre os pares Lote III × Lote IV ($p = 0,0057$) e Lote IV × Lote V ($p = 0,0022$), cujos intervalos de confiança não incluíram o valor zero, confirmando a existência de diferenças reais entre esses grupos.

Tabela 2 - Comparações múltiplas de Tukey (HSD) para profundidade de carbonatação entre os lotes.

Grupo 1	Grupo 2	Diferença de Médias	Valor de p	IC inferior	IC Superior	Diferença Significativa
Lote I	Lote II	-0,2144	0,9721	-1,7751	1,3462	Não
Lote I	Lote III	-1,4778	0,1224	-3,0384	0,0829	Não
Lote I	Lote IV	0,9556	0,4966	-0,6051	2,5162	Não
Lote I	Lote V	-1,6856	0,0605	-3,2462	0,1251	Não
Lote II	Lote III	-1,2633	0,2171	-2,8239	0,2974	Não
Lote II	Lote IV	1,1700	0,2716	-0,3907	2,7306	Não
Lote II	Lote V	-1,4711	0,1247	-3,0317	0,0896	Não
Lote III	Lote IV	2,4333	0,0057	0,8727	3,9939	Sim
Lote III	Lote V	-0,2078	0,9746	-1,7684	1,3529	Não
Lote IV	Lote V	-2,6411	0,0022	-4,2017	-1,0805	Sim

No primeiro caso, a maior profundidade de carbonatação no Lote IV, em comparação ao Lote III, sugere que o concreto do Lote III apresentou desempenho superior frente à penetração de CO_2. De forma semelhante, a comparação entre Lote IV e Lote V evidenciou que este último apresentou menor avanço da frente de carbonatação, indicando melhor resistência ao processo. As demais comparações não apresentaram significância estatística ($p > 0,05$), o que aponta para comportamentos semelhantes entre esses pares no que se refere à carbonatação. Esses resultados reforçam que diferenças nas condições de exposição ou nas propriedades do concreto podem influenciar substancialmente o avanço da frente de carbonatação. Tais resultados estão em consonância com os achados de Chen, Liu e Yu [10], que observaram uma relação direta entre a concentração de CO_2 e o avanço da carbonatação no concreto. Os autores também identificaram que a

profundidade da frente de carbonatação é influenciada por fatores ambientais, como temperatura e umidade relativa do ar, sendo esta última mais crítica em níveis próximos a 70%, ponto em que a taxa de carbonatação tende a ser máxima.

Comparando os resultados de resistência à compressão com os resultados da profundidade de carbonatação, percebeu-se que as amostras do Lote V apresentaram o segundo melhor resultado de resistência à compressão e o menor avanço na frente de carbonatação. No entanto, não foi possível estabelecer uma relação direta entre esses dois parâmetros, uma vez que outros fatores que podem influenciar na resistência e carbonatação do concreto não foram avaliados neste estudo, como absorção e porosidade dos corpos de prova de concreto, além de vários outros fatores relacionados também ao meio ambiente no qual as amostras foram expostas.

Paglia, Antonetti e Mosca [16] investigaram a relação entre a resistência à compressão e o processo de carbonatação em concreto, concluindo que concretos com maior resistência apresentam menor porosidade, em geral. Essa característica dificulta a difusão de dióxido de carbono (CO_2) pela matriz cimentícia, resultando em uma menor profundidade de carbonatação. O estudo também identificou uma relação inversa entre resistência à compressão e avanço da frente de carbonatação, reforçando a relevância da caracterização da porosidade como parâmetro complementar nas avaliações de desempenho frente à carbonatação.

Em consonância, Ribeiro *et al*. [17] ressaltam que ainda não há dados suficientes na literatura para estabelecer uma classificação que considere diretamente as condições ambientais e as propriedades da matriz com o coeficiente de carbonatação. Estes mesmos autores também afirmam que a maioria dos estudos disponíveis utilizam métodos de ensaio de carbonatação acelerada para investigar o avanço da frente de carbonatação e destacam a necessidade de estudos que considerem a evolução natural da carbonatação em concretos em períodos e condições reais de exposição, com o objetivo de aprimorar a compreensão desse fenômeno ao longo do tempo.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que o avanço da frente de carbonatação varia de forma significativa de acordo com o ambiente no qual o concreto está exposto. Observou-se que um dos lotes com maior resistência à compressão também apresentou o menor avanço na frente de carbonatação. No entanto, não foi possível estabelecer uma relação direta entre esses dois parâmetros, visto que outros fatores, como absorção e porosidade do concreto não foram analisados e podem influenciar significativamente tanto na resistência, quanto na durabilidade do material. Além disso, verificou-se que a profundidade de carbonatação foi menor em ambientes onde a concentração de CO_2 atmosférico era possivelmente menor, reforçando a influência das condições ambientais sobre o desempenho do concreto ao longo do tempo.

Para um melhor entendimento e previsão da frente de carbonatação em concretos, sugere-se para estudos futuros a realização de ensaios mais precisos em que seja avaliado além dos materiais do concreto, a porosidade e absorção do concreto e as características do ambiente nos quais o concreto é exposto, como concentração de CO_2, umidade, temperatura e o comportamento da carbonatação em decorrência da variação do tempo de exposição ao CO_2.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFNMG campus Januária pela bolsa de Iniciação Científica concedida e por todo apoio no desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

[1] MEDEIROS, F. H. M.; ANDRADE, O. J. J.; HELENE, P. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto, Concreto Ciência e Tecnologia**. Vol 1, cap. 22. São Paulo. 2011.

[2] LIMA, G. M. **Ações do meio ambiente sobre as estruturas de concreto, Conceito ciência e tecnologia**. Vol 1, cap. 21. São Paulo. 2011.

[3] KRUG, L. F.; KRUG, F. I. B.; CAMPOS, M. ; SAUSEN, P. S.; SAUSEN, A. T. Z. R. **Processo de carbonatação no concreto e modelos para sua previsão: Uma Revisão**. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão, v. 8, p. 1-16, 2023.

[4] TOKUDOME, N. **Carbonatação do concreto**. (Cimento Itambé, Editor). Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/carbonatacao-do-concreto/>. Acesso em: 13 de março de 2025.

[5] NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5º. ed. Porto Alegre: Bookman, v. 1, 2016. 888 p. ISBN 978-85-8260-365-9. Livro.

[6] BARY, B.; SELLIER, **A. CoupledMoistureCarbonDioxide-CalciumTransfer Model for Carbonation of** Concrete. Cement and Concrete Research, v. 34, n.10, p. 1859-1872, 2004.

[7] PUERTAS, F.; PALACIOS, M.; VÁZQUEZ, T. **Carbonation Process of Alkali-Activated slag Mortars**. Journal of Materials Science, v. 41, n. 10, p. 3071-3081, 2006.

[8] HUI-SHENG, S.; BI-WAN, X.; XIAO-CHEN, Z. **Influence of Mineral AdmixturesonCompressiveStrength, GasPermeabilityandCarbonationof High Performance Concrete**. Constructionand Building Materials, v. 23, p. 1980-1985, 2009.

[9] DUFFO, G.S.; MORRIS, W.; RASPINI, I.; SARAGOVI, C. **A study of steel rebars embedded in concrete during 65 years**, Corrosion Science, v. 46, n. 9, p. 2143-2157, 2004.

[10] CHEN, Y.; LIU, P.; YU, Z. **Effects of Environmental Factors on Concrete Carbonation Depth and Compressive Strength**. Materials. v. 11, n. 11 p. 2167, 2018.

[11] NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, v. 1, 2013. 448 p.

[12] MERAH, A. **Methods of concrete accelerated carbonation test: a review**. Discover Civil Engineering, [S. l.], v. 2, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44290-024-00057-z>. Acesso em: 29 de julho de 2025.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, p.35. 2014.

[14] TEODORO, C. P.; CARRAZEDO, R. **Impact of carbonation on reinforced concrete structures, considering the increase of CO2 due to climate change in Brazil**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 18, p. e18114, 2025.

[15] BARRÍA, J. C.; MANZANAL, D.; GHABEZLOO, S.; PEREIRA, J.M. ***Effect of supercritical carbonation on porous structure and mechanical strength of cementitious materials modified with bacterial nanocellulose***. Materials and Structures, v. 56, art. no. 180, 14 nov. 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/375635673>. Acesso em: 07 de agosto de 2025.

[16] PAGLIA, C. S.; ANTONIETTI, S.; MOSCA, C. ***The relationship between compressive strength and carbonation for in service concrete elements***. In: The 8th International Conference on Advanced Engineering and Technology, Incheon National University, South Korea, 21 maio 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/360756682>. Acesso em: 07 de agosto de 2025.

[17] RIBEIRO, D. V.; AMORIM JÚNIOR, N. S.; SANTOS, B. S.; SANTANA, H. A.; PINTO, S. A. **Proposal for classification of concrete quality based on accelerated carbonation tests**. *Cement and Concrete Composites*, v. 139, 104936, 2023. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509523006460>. Acesso em: 31 de julho de 2025.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-27

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida útil

ESTUDO DE CASO: DESPLACAMENTO DO REVESTIMENTO NA FACHADA DO BLOCO B EM UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO DA CIDADE DE QUIXADÁ (CEARÁ)

SANTOS, Antonia Isnara André dos[1]; ALVES, Ingrid Heloisa da Silva[2]

[1]Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, isnarasantos2020@gmail.com, 0009-0006-2207-1231
[2]Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá, Brasil, Ingrid.alves@ifce.edu.br

RESUMO

Na construção civil as manifestações patológicas referem-se a falhas ou anomalias que surgem em elementos construtivos ao longo do tempo, comprometendo não apenas a estética, mas também a vida útil da edificação. Entre essas manifestações, destaca-se o desplacamento de revestimentos cerâmicos, que pode representar riscos de acidentes e custos elevados de manutenção. Nesse sentido, objetivo desse estudo é analisar as manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas, com foco no desplacamento identificado no Bloco B de uma instituição pública de ensino em Quixadá (CE). A metodologia incluiu revisão bibliográfica, análise normativa, entrevistas com servidores e levantamento fotográfico. Para priorizar as ações corretivas, aplicou-se o método GUT, permitindo identificar as intervenções mais urgentes e impactantes. A falha foi associada à execução inadequada, como a não umidificação das pastilhas, e à ausência de manutenção preventiva, contrariando diretrizes da ABNT NBR 13755:2017. Como soluções, propôs-se a remoção e substituição das placas danificadas, reavaliação da argamassa utilizada, capacitação das equipes executoras e adoção de um plano de manutenção periódica. Os resultados reforçam a importância de práticas construtivas adequadas e gestão eficiente dos sistemas de revestimento.

Palavras-chave: Desplacamento; Fachada; Manifestação; Revestimento cerâmico.

ABSTRACT

In civil construction, pathological manifestations refer to flaws or anomalies that appear in construction elements over time, compromising not only the aesthetics, but also the useful life of the building. Among these manifestations, the peeling of ceramic tiles stands out, which can pose a risk of accidents and high maintenance costs. In this sense, the objective of this study is to analyze the pathological manifestations in ceramic facade coverings, focusing on the peeling identified in Block B of a public educational institution in Quixadá (CE). The methodology included bibliographic review, normative analysis, interviews with employees and photographic survey. To prioritize corrective actions, the GUT method was applied, allowing the most urgent and impactful interventions to be identified. The failure was associated with inadequate execution, such as not humidifying the tablets, and the lack of preventive maintenance, contrary to ABNT NBR 13755:2017 guidelines. As solutions, it was proposed the removal and replacement of damaged slabs, reevaluation of the mortar used, training of execution teams and adoption of a periodic maintenance plan. The results reinforce the importance of appropriate construction practices and efficient management of coating systems.

Keywords: Displacement; Facade; Manifestations; Ceramic coating.

1. INTRODUÇÃO

O acabamento de uma construção desempenha um papel fundamental na definição da sua aparência. Nessa fase, a escolha dos materiais a serem utilizados fica a cargo do projetista e do proprietário, sendo definida com base em fatores como custo, clima, exposição solar e umidade, que impactam diretamente na durabilidade da fachada.

Os revestimentos da fachada devem apresentar as propriedades para os fins a que se destinam, que é a proteção e vedação da edificação contra a ação de agentes externos agressivos, quanto ao efeito estético e de valorização patrimonial [1]. Além disso, Resende [2] afirma que os revestimentos de fachadas "tem por função [...] o isolamento térmico-acústico, garantir níveis mínimos de desempenho à construção, prolongando a durabilidade de seus elementos construtivos". O material pode ser de vidro, pedras naturais, madeira, pintura, revestimento cerâmico e outros.

Nessa pesquisa, o material de estudo é o revestimento cerâmico, um produto proveniente de um processamento industrial, composto essencialmente por materiais inorgânicos e não metálicos [3]. Esse tipo de produto é bastante usado nas construções, mas, como qualquer outro material, a placa cerâmica está sujeita a sofrer riscos suscetíveis ao surgimento de manifestações patológicas.

Segundo Ripper [4], patologia é "campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas." Diante desse contexto, quando uma estrutura sofre algum tipo de manifestação patológica é necessário inspecionar, avaliar e diagnosticar as possíveis doenças que a edificação esteja sofrendo.

Conforme Granato [1], os revestimentos das fachadas em muitas ocasiões não são devidamente planejados, bem como a execução deficiente e sem atender e respeitar as diretrizes da ABNT NBR 13755:2017 (Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante - Projeto, execução, inspeção e aceitação - Procedimento) e as características reológicas dos materiais componentes da edificação e dos elementos constituintes da fachada.

Consequentemente, se não há uma execução correta durante a aplicação, como a não utilização da argamassa colante levando em consideração o clima da cidade e em qual local será a aplicação, como também a não realização de testes pós-obra e manutenções, é possível que ocorram manifestações patológicas, como desplacamentos que é um fenômeno que ocorre devido a perda de aderência da argamassa colante com o revestimento cerâmico. Esse desplacamento pode ocorrer pós-obra ou após algum tempo de assentamento.

As rupturas (fissuras, trincas e rachaduras) são manifestações que podem ocorrer no corpo cerâmico e são diferenciadas por seu tamanho e profundidade. Para diferenciar cada uma, segundo Olivari [5], a classificação se dá da seguinte forma: as fissuras são pequenas rupturas entre 0,2 mm e 0,5 mm; as trincas são maiores que 0,5 mm e menores que 1,5 mm e as rachaduras variam entre 1,5 mm e 5 mm.

Santos [6] apresenta que no caso das fissuras, trincas e rachaduras, além de apresentarem aberturas nas superfícies esmaltadas, as patologias alcançam o corpo cerâmico da peça, acontecendo tanto em peças esmaltadas quanto não esmaltadas. No caso de trinca nas paredes de alvenaria, ou seja, em peças não esmaltadas, é importante verificar se ela aumenta ou se está estabilizada. Se a trinca aumenta, podem existir problemas na fundação ou na estrutura, portanto, deve ser avisado ao calculista. Se a trinca não aumenta, o caso não é grave, mas poderá causar complicações aos usuários, seja de infiltração de água ou de estética [5].

As manchas (eflorescências, bolor, manchas d'água ou manchas pelo uso) e a deterioração das juntas nas fachadas são outras manifestações que podem surgir. Todas elas comprometem diretamente na durabilidade, impermeabilidade, nos riscos de quedas acidentais de placas e nos custos de manutenção.

Considerando que a manifestação que ocorre na fachada do Bloco B em uma instituição pública de ensino da cidade de Quixadá é o desplacamento, o presente trabalho questiona o seguinte: "Quais foram as causas do desplacamento em uma área do Bloco B, enquanto em outra área do bloco não ocorreu o mesmo problema, considerando que ambas foram executadas no mesmo mês? Quais soluções podem ser propostas para essa situação?". A partir desse problema, o objetivo central desse estudo foi analisar e propor soluções para as manifestações de desplacamento nas fachadas da edificação.

Além de fornecer informações e orientar os profissionais, a sociedade e os alunos do instituto sobre como e por que ocorreu a manifestação, este estudo estabelece a diferença entre manifestações e patologias, orienta sobre a execução correta do acabamento cerâmico conforme a NBR 13755:2017 e descreve as possíveis tipologias de anomalias.

2. METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida teve uma abordagem aplicada, que, segundo Fleury e Werlang [7], concentra-se na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções. As etapas de execução da investigação estão apresentadas na Figura 1 e são detalhadas na sequência. A investigação foi conduzida com abordagem qualitativa por meio de um estudo de caso, método que se baseia na análise aprofundada de uma situação específica, permitindo a formulação de inferências a partir das particularidades observadas [8].



Figura 1 - Passo a passo da execução da pesquisa. Autoria própria (2025).

Inicialmente, buscou-se a escolha do local para que pudesse dar início ao estudo. O edifício de análise, apresentado na Figura 2, consiste no bloco B de uma instituição pública de ensino na cidade de Quixadá, estado do Ceará. O município apresenta um clima quente e seco, classificado como tropical semiárido, marcado por períodos de estiagem, precipitações irregulares e temperaturas médias que oscilam entre 26 °C e 28 °C [9]. A região é cercada por formações de rochas graníticas, conhecidas como monólitos, o que também se observa nas imediações da instituição, fatores que devem ser considerados na escolha e execução do revestimento.



Figura 2 - Planta de localização do bloco B na instituição pública. Fonte: Google Earth (2025).

Em relação ao revestimento, o bloco B tem diferentes tipos cerâmicos. Em seu lado esquerdo, o edifício é constituído por partilhas retangulares 05 x 15 cm com tonalidade alaranjada, e em seu lado direito, é usada uma pastilha

quadrada 10 x 10 cm com tonalidade verde e vermelho (Figura 3).



Figura 3 – Fachada da parede do bloco B à direita. Fonte: Autoria própria (2025).

Logo após, foi necessário analisar revisões de literatura disponíveis nos sites acadêmicos, com o intuito de fornecer uma base teórica sólida, além de melhor entendimento sobre o tema da pesquisa, utilizando artigos, normas e livros como referências. Conforme apontam Sousa, Oliveira e Alves [10] a revisão da literatura representa a etapa inicial de qualquer pesquisa. Nessa etapa, foram levantados os tipos de manifestações patológicas, suas características, causas, procedimentos corretos de execução e manutenção, além das soluções indicadas, conforme a bibliografia da área.

A coleta de dados foi realizada com base no trabalho de Roldi, Nunes e Oliveira [11], utilizando a técnica de observação e registro fotográfico, este com o objetivo de facilitar a identificação e documentação das manifestações de forma prática e acessível. A observação foi importante para avaliar as características físicas e visuais do desplacamento. Segundo Marconi e Lakatos [12], essa técnica baseia-se na utilização dos sentidos humanos para observar e compreender a realidade em análise. Essa etapa permitiu uma caracterização visual e superficial da manifestação patológica, sendo avaliados aspectos como som cavo e quebra de cordões.

Também foram realizadas entrevistas com os funcionários de longa data na instituição, com o objetivo de entender como foi conduzida a execução do processo e atividades ao longo da construção. O levantamento de dados foi executado com as orientações da ABNT NBR 16747 [13], que descreve o processo de inspeção predial que consiste em levantar e analisar dados e documentos da edificação, identificar suas características construtivas (como idade e histórico de manutenção), realizar vistoria técnica detalhada, classificar irregularidades, recomendar ações corretivas e preventivas com base nas falhas observadas, e por fim, organizar as prioridades conforme o grau de urgência das intervenções necessárias.

Além disso, foi realizada a avaliação das fachadas por meio do método de Gravidade, Urgência e Tendência (GUT), uma matriz que atribui notas de 1 a 5 para cada critério, permitindo priorizar os problemas conforme sua criticidade. O resultado orienta a ordem das ações corretivas, focando nas mais urgentes e impactantes, otimizando a gestão das manifestações patológicas.

Para embasar tecnicamente a proposta de solução, foram consideradas as diretrizes da ABNT NBR 13755 [14], que recomendam etapas específicas para o processo de assentamento, consistindo em uma sequência de subidas e descidas consecutivas dos serviços, conforme ilustrado na Figura 4.

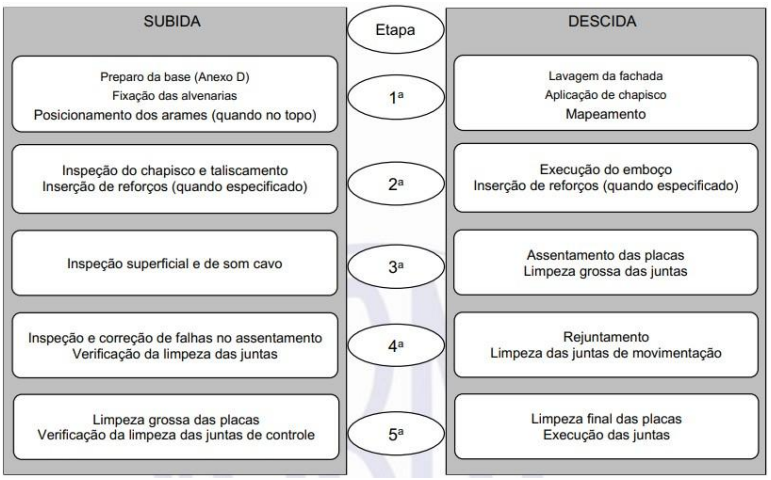


Figura 4 - Etapas de assentamento cerâmico [14].

Os dados coletados permitiram reconhecer as possíveis causas das manifestações patológicas encontradas e propor soluções embasadas no levantamento bibliográfico realizado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das informações fornecidas, constatou-se que o edifício em análise foi construído em 2011 e, de acordo com as explicações obtidas, o assentamento cerâmico foi executado por uma empresa terceirizada. Até o ano de 2025, houve apenas uma manutenção, ou seja, ao longo de 14 anos foi realizada apenas uma intervenção. Na Figura 5A E 5B é mostrada a parede afetada pela manifestação patológica, e é possível observar com mais detalhes a manifestação.

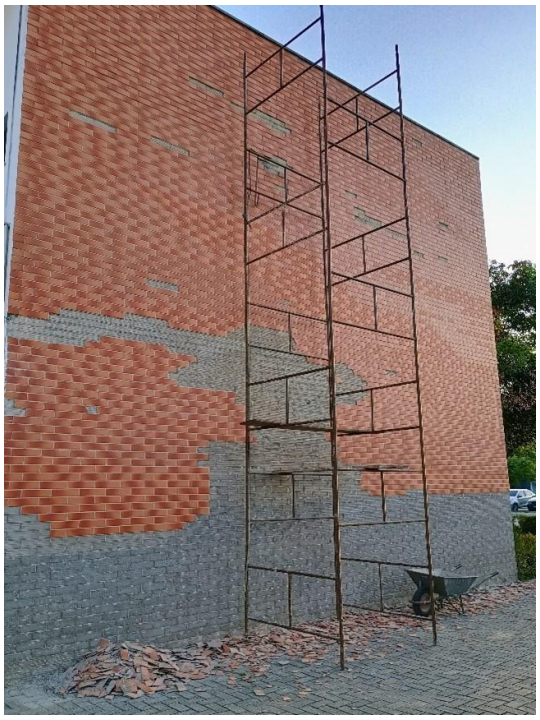


Figura 5A – Vista Geral do desplacamento na parede do Bloco B à esquerda Fonte: Autoria própria (2025).



Figura 5B – Vista mais ampla do desplacamento na parede do Bloco B à esquerda. Fonte: Autoria própria (2025).

Durante a investigação, não foi possível obter o projeto do edifício que especificasse o tipo de argamassa utilizada

no assentamento, o que impediu a verificação de sua conformidade com as diretrizes recomendadas pela norma [14]. Vale ressaltar que de acordo com Santos [6], a utilização da argamassa colante se dá para as seguintes aplicações mencionadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação de uso de argamassa [6].

Tipo de argamassa	Aplicação
AC- I	Argamassa colante indicada para piso e paredes em áreas internas, com exceção de ambientes especiais como saunas, churrasqueiras, estufas.
AC-II (exterior)	Apropriada para paredes e pisos em áreas externas.
AC-II (alta resistência)	Argamassa apropriada para locais onde se necessita de alta tensão de cisalhamento, apresentando aderência superior à dois tipos: AC-I e AC-II. Indicada para uso em fachadas que durante o assentamento não estejam submetidas à insolação direta, em saunas, em piscinas e em ambientes similares.
AC-III-E (especial)	Argamassa que atende aos requisitos dos tipos I e II, com tempo em aberto estendido. Indicada para fachadas que durante o assentamento estejam submetidas à insolação direta.

Nesse sentido, na entrevista, um dos funcionários pauta que a maior causa do desplacamento seria o não umedecimento das pastilhas. Segundo Lania [15], durante:

> Os procedimentos de execução, o substrato deverá estar úmido para a perfeita aderência da argamassa de assentamento da peça. A argamassa é espalhada no tardoz (verso) da peça em quantidade suficiente para que ao se assentar a peça no local, apertando-a e dando "batidinhas" com marreta de borracha, o excesso de argamassa seja expelido, evitando assim falhas ou bolhas de ar retido, o que fatalmente acarretaria descolamento do elemento cerâmico.

Levando em consideração que o clima de Quixadá é semiárido, portanto, isso significa que a região possui temperaturas elevadas durante a maior parte do ano e uma distribuição irregular de chuvas. Com isso, o processo de umedecimento antes do assentamento se torna importante para garantir uma melhor fixação, permitindo que a argamassa mantenha a consistência necessária para a aderência ideal.

Na opinião de Esteves, Calixto e Meurer [16], a mão de obra em muitos casos se recusa a executar o assentamento de acordo com a técnica sugerida pela norma e/ou manuais, não efetuando a limpeza da base, não realizando a dupla colagem quando necessário, não produzindo 12 cordões na argamassa e não utilizando argamassa recomendada. No levantamento fotográfico (Figura 5A e 5B) é visível que o desplacamento possivelmente ocorreu devido a execução inadequada e à falta de manutenção.

A presença de som cavo nas placas cerâmicas e o estufamento da camada de acabamento são indicativos de um possível desplacamento, que pode ocorrer logo após a aplicação ou ao longo do tempo. É comum que esta manifestação patológica ocorra nos primeiros e últimos andares das edificações, devido ao maior nível de tensões [17].

Na Figura 5B, é possível observar que os cordões não foram quebrados corretamente. Como isso não ocorreu, pode-se concluir que a empresa responsável não realizou os testes de percussão, no qual o profissional verifica placa por placa se há som cavo. Se houver som cavo, é necessário remover e reassentar as placas. Além disso, outro teste que não foi executado foi o desplacamento pós-obra, no qual um profissional verifica durante a execução, através da remoção das placas inicialmente assentadas, se a quebra dos cordões foi efetivamente realizada.

Da mesma forma, observou-se que o desplacamento na parte posterior (Figura 6A e 6B) e nas paredes externas (Figura 7, 8 e 9) do bloco B, são associados aos mesmos motivos.



Figura 6A – Vista geral de desplacamento na parede do Bloco B posterior. Fonte: Autoria própria (2025).



Figura 6B – Vista mais ampla do desplacamento na parede do Bloco B à posterior. Fonte: Autoria própria (2025).



Figura 7 – Desplacamento na parede externa do Bloco B. Fonte: Autora própria (2025).



Figura 8 - Vista mais detalhada do desplacamento na parede externa do Bloco B. Fonte: Autora própria (2025).



Figura 9 – Desplacamento na parede externa do bloco B e vista mais ampliada da manifestação. Fonte: Autora própria (2025).

A partir dessas análises foi possível realizar a avaliação por intermédio da matriz GUT (Tabela 2), que permitiu estabelecer a ordem de manutenção e prioridade a serem implementados. Na verificação do método foi relacionado

somente 3 tipos de manifestações, sendo elas, desplacamento, som cavo e trinca. Porém ressalta-se que durante toda a análise não se obteve trincas nos revestimentos, com isso o resultado na Tabela 2 se dá como nulo.

Tabela 2 - Simulação da aplicação do método GUT. Fonte: Autora própria (2025).

Manifestação	G	U	T	G x U x T	Prioridade
Desplacamento	5	5	5	125	1ª
Som cavo	4	4	4	64	2ª
Trinca	-	-	-	-	-

Na Tabela 2, cada manifestação patológica recebeu notas de 1 a 5, sendo 5 o nível máximo de gravidade. Após a multiplicação dos valores de gravidade, urgência e tendência, foi determinada como prioridade de intervenção a atuação sobre o desplacamento que obteve um valor de 125, enquanto o som cavo resultou em 64. As pontuações mais baixas indicam risco mínimo à edificação e aos usuários, enquanto valores mais altos representam risco elevado, exigindo ações imediatas [18]. Para padronizar a atribuição das notas no método GUT, foram definidos critérios técnicos, conforme mostra a Figura 10.

Pontos	Critérios para Análise da Matriz GUT
5	G (extremamente graves), U (ação imediata), T (tende a piorar de imediato)
4	G (muito grave), U (com alguma urgência), T (vai piorar a curto prazo)
3	G (grave), U (o mais cedo possível), T (vai piorar a médio prazo)
2	G (pouco grave), U (pode esperar um pouco), T (vai piorar a longo prazo)
1	G (sem gravidade), U (não tem pressa), T (não vai piorar)

Figura 10 - Critérios utilizados para elaboração da matriz GUT [19].

Mediante todo estudo analisando, a única solução possivelmente viável seria a remoção e substituição de todos os revestimentos, incluindo a retirada da argamassa antiga. Com essa abordagem, eliminaria todos os casos de desplacamento, como também para o som cavo.

Em outros artigos analisados sobre o mesmo tema, como na pesquisa de Picinin Júnior, Carmo e Villani [3], o edifício estudado sofreu várias manifestações, e em relação ao desplacamento cerâmico foi proposto como solução a remoção de todas as placas que estavam comprometidas. Mas, também se faz necessário manutenções preventivas para que não venha ocorrer o destacamento com tanta facilidade. E como Gomes [19] afirma, com o método GUT é possivel avaliar uma edificação utilizando essa técnica, e assim definir as prioridades de intervenções.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do desplacamento do revestimento cerâmico na fachada do Bloco B da instituição revelou que, possivelmente, falhas na execução e na falta de manutenção preventiva foram as principais causas do problema. A ausência de umedecimento adequado das pastilhas, a execução inadequada e a falta de testes pós-obra comprometeram a aderência entre as placas cerâmicas e o substrato, favorecendo o surgimento da patologia.

Para organizar a tomada de decisão, utilizou-se o método GUT, que teve o objetivo de priorizar ações corretivas para otimizar a gestão das manifestações. Com isso, foi observado que a intervenção deve priorizar o desplacamento, considerando os critérios de gravidade, urgência e tendência do método.

Visando evitar novos problemas, a solução proposta para o desplacamento envolve a remoção e substituição do revestimento danificado. Alémdisso, emexecuçõesfuturasderevestimento, é necessário seguir as normas técnicas, como a ABNT NBR 13755 [14], realizar manutenções periódicas e treinar adequadamente as equipes responsáveis pela execução.

Além disso, reforça-se que a atenção aos detalhes técnicos e ao clima local são essenciais para garantir a durabilidade e a segurança das edificações, pois é importante estudar qual será o tipo de argamassa a ser usado para o assentamento das placas cerâmicas para que não venha ocorrer manifestações devido ao clima e assegurando a segurança e qualidade das edificações.

REFERÊNCIAS

[1] GRANATO, J. E. Patologia das construções. 2002.

[2] RESENDE, M. D. O. Propostas de sistemas construtivos para fachada baseadas em características, propriedades, custo e benefício dos materiais. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário de Brasília. Repositório UniCEUB, 2017. Disponível em: https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/13219. Acesso em: 27 mar. 2025.

[3] PICININ JUNIOR, A.; CARMO, J. C. S.; VILLANI, P. M. Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos: um estudo de caso. Revista Programa de Pesquisa, Produção e Divulgação Científica da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais, 2023. Disponível em: https://periodicos.famig.edu.br/index.php/parametrica/article/view/443. Acesso em: 09 jan. 2025.

[4] SOUZA, V. C.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1ª ed. São Paulo: Pini, 1998. 257 p.

[5] OLIVARI, G. Patologia em edificações. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Anhembi Morumbi, 2003.

[6] SANTOS, Y. M. Análise de patologias de pisos cerâmicos: Um estudo de caso. Revista Boletim do Gerenciamento, 2019. Disponível em: https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/260. Acesso em: 09 jan.2025.

[7] FLEURY, M. T. L.; WERLANG, S. R. C. Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens. Anuário de pesquisa GV Pesquisa. 2016.

[8] SEVERINO, A. J. Metodologia do trabalho científico. Cortez editora, 2017.

[9] AMORIM, C. D.; LOUREIRO, C. V.; SOPCHAKI, C. H. Caracterização ambiental do município de Quixadá-CE como subsídio ao planejamento ambiental e gestão territorial. REVISTA EQUADOR, Vol. 10, n. 3, p. 124-144, 2021.

[10] Sousa, A. S. de. Oliveira, G. S. de, & Alves, L. H. (2021). A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. Cadernos da FUCAMP, 20(43).

[11] TAVARES, N. Investigação de manifestações patológicas nos sistemas de revestimentos cerâmicos de fachadas em uma edificação residencial localizada em Vitória/ES. Revista FT, [S. l.], 24 jul. 2023. Disponível em: https://revistaft.com.br/investigacao-de-manifestacoes-patologicas-nos-sistemas-de-revestimentos-ceramicos-de-fachadas-em-uma-edificacao-residencial-localizada-em-vitoria-es/. Acesso em: 29 jul. 2025.

[12] MARCONI, M. de A. LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica - 5. ed. - São Paulo: Atlas 2003.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 16747: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13755: Revestimento de argamassa – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

[15] LANIA, P. P. Monografia: Análise da execução de revestimento cerâmico em paredes. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS9A4JS4/1/monografia_lania_pronta_apresetada.pdf. Acesso em: 15 fev. 2025.

[16] ESTEVES, B. N.; CALIXTO, R. D.; MEURER, C. E. Patologias em revestimento cerâmico na construção civil. 2021. Disponível em: https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/3709. Acesso em: 10 jan. 2025.

[17] RHOD, A. B. Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos: análise da frequência de ocorrência em áreas internas de edifícios em uso em Porto Alegre. Trabalho de diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, 2011. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/34383. Acesso em: 10 jan. 2025.

[18] BARROS, D. F. Inspeção predial: estudo de caso em uma edificação localizada na cidade de Fortaleza-CE. 2021. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/59347. Acesso em: 28 jul. 2025.

[19] GOMES, L. G. Dos S. Reavaliação e melhoria dos processos de beneficiamento de não tecidos com base em reclamações de clientes. Revista Produção Online, v. 6, n. 2, 2006.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-32

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e vida útil

IMPACTOS DA CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS: RELATO DE INSPEÇÃO NA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UFAM

OLIVEIRA, Alana Benedetto[1]; FERREIRA, Lucas da Silva[2]; NUNES, David Brandão[3]

[1] Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil, alana.oliveira@ufam.edu.br, 0009-0000-7631-6018
[2] Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil, lucas.ferreira@ufam.edu.br, 0009-0007-1807-906X
[3] Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil, david.nunes@ufam.edu.br, 0000-0002-6969-3883

RESUMO

A integridade estrutural de edifícios é essencial para garantir segurança e funcionalidade. Este estudo avaliou as condições dos pilares metálicos da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), com foco na identificação de processos corrosivos e proposição de medidas corretivas. A metodologia adotou uma abordagem qualitativa e exploratória, alinhada às normas NBR 13752 [1] e NBR 16747 [2], utilizando inspeção visual, registro fotográfico e análise documental. Os resultados demonstraram que a corrosão se concentra predominantemente nas bases dos pilares, especialmente em regiões próximas a sistemas de drenagem e áreas sujeitas a alagamentos. Os principais fatores contribuintes incluem exposição prolongada à umidade, falhas no sistema de drenagem pluvial, ausência de revestimento protetivo adequado e possível influência de agentes químicos, como urina de animais. Com base nos dados obtidos, concluiu-se que a adoção de medidas corretivas é fundamental para a preservação da integridade estrutural dos pilares e a manutenção das condições de uso seguro da edificação.

Palavras-chave: patologia; vistoria; corrosões.

ABSTRACT

The structural integrity of buildings is essential to ensure safety and functionality. This study evaluated the condition of the metal columns at the Faculty of Technology of the Federal University of Amazonas (UFAM), focusing on identifying corrosion processes and proposing corrective measures. The methodology adopted a qualitative and exploratory approach, aligned with NBR 13752 [1] and NBR 16747 [2] standards, utilizing visual inspection, photographic records, and document analysis. The results demonstrated that corrosion is predominantly concentrated at the bases of the columns, especially in areas close to drainage systems and areas subject to flooding. The main contributing factors include prolonged exposure to moisture, failures in the rainwater drainage system, lack of adequate protective coating, and possible influence of chemical agents, such as animal urine. Based on the data obtained, it was concluded that adopting corrective measures is essential to preserve the structural integrity of the columns and maintain the building's safe operating conditions.

Keywords: pathology; survey; corrosion.

1. INTRODUÇÃO

A integridade estrutural de edifícios acadêmicos é fundamental para garantir a segurança, durabilidade e pleno funcionamento das instituições de ensino superior. No contexto da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), localizada no Setor Norte do campus em Manaus, a avaliação técnica dos pilares metálicos reveste-se de especial relevância devido às condições climáticas da região amazônica. O clima equatorial úmido, caracterizado por altos índices pluviométricos, elevada umidade relativa do ar e temperaturas médias anuais acima de 26°C, acelera processos corrosivos em estruturas metálicas expostas.

1.1. Manifestações patológicas em estruturas metálicas

De acordo com Neto e Cunha [9], as manifestações patológicas em estruturas de aço podem ser classificadas como adquiridas, que são provenientes de elementos externos; transmitidas, que são provenientes de vícios construtivos e/ou falta de conhecimento técnico; e, também, atávicas, que são resultado de erros de cálculo e/ou dimensionamento.
Pannoni [10], ilustra na Figura 1 tipos de problemas que serão abordados e as devidas soluções para algumas das mais frequentes manifestações patológicas que ocorrem em estruturas metálicas. Tais imagens mostram que com devidas precauções mínimas pode-se impedir a ocorrência de inúmeras manifestações patológicas nas peças metálicas, ressaltando ainda mais, que o cuidado e a precaução, assim como a manutenção, acarretam a maior viabilidade desse material e menor incidência de ações corretivas e a quase inexistência de problemas estruturais advindos de intempéries.

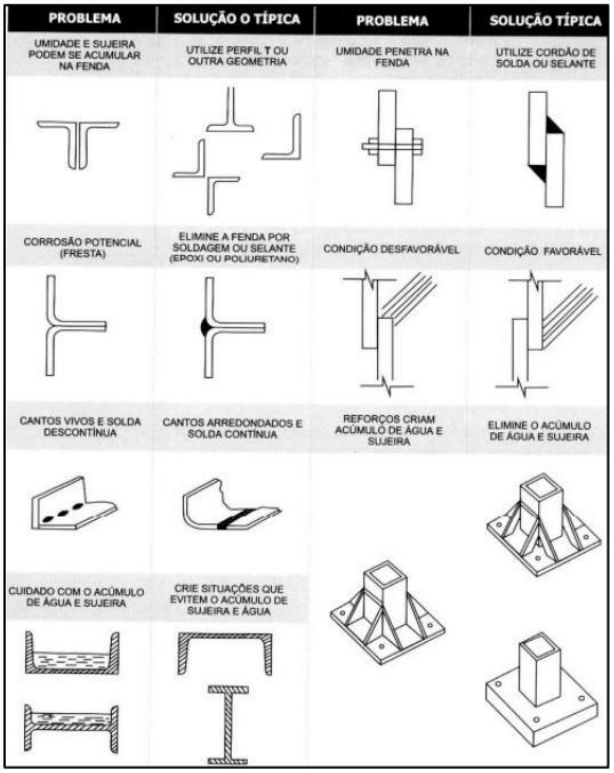


Figura 1 – Tipos de problemas e soluções típicas [9]

1.1.1. Corrosão

Segundo Peixoto [11], a corrosão metálica consiste na degradação do material por reações com o meio ambiente, levando à redução de sua seção transversal, alteração da estrutura cristalina ou conversão química em compostos menos resistentes. Esse fenômeno ocorre mediante exposição a agentes como oxigênio, umidade, contato com metais

dissimilares e produtos químicos, configurando-se como a manifestação patológica mais frequente em construções metálicas [11].
Complementarmente, Lima e Faria [8] conceituam a corrosão como um processo degradativo resultante da interação material-meio ambiente, cuja manifestação varia conforme:

- Propriedades do material;
- Condições de exposição;
- Combinação metal/meio;
- Associação inadequada entre metais distintos.

Embora o aço apresente vantagens como alta resistência, custo acessível e versatilidade de fabricação, sua suscetibilidade à corrosão – especialmente em contato com água, concreto, solo, agentes químicos ou atmosfera agressiva – representa uma limitação crítica [11]. O processo corrosivo envolve a transferência de elétrons do metal para o ambiente, gerando íons que reagem formando óxidos, sais ou hidróxidos (produtos de corrosão), os quais comprometem progressivamente a integridade estrutural e reduzem a vida útil do material.

Segundo Bardal [3], a corrosão de estruturas metálicas pode ser prevenida por meio de diversas estratégias que visam minimizar os fatores que desencadeiam ou aceleram esse processo. Entre as principais medidas estão a escolha de materiais que apresentem maior resistência ao meio em que serão utilizados, a alteração das condições ambientais (como a redução da umidade ou do oxigênio) e o uso de inibidores químicos. Também é relevante adotar soluções de projeto que evitem o acúmulo de água nas superfícies metálicas, como inclinações e drenos adequados, além da aplicação de revestimentos que atuem como barreiras físicas contra o contato direto com agentes corrosivos. Essas práticas não apenas reduzem a velocidade da corrosão como também aumentam a vida útil das estruturas.

Outro ponto fundamental na compreensão do fenômeno corrosivo é a influência das propriedades do ambiente sobre a superfície metálica. Fatores como a presença de umidade, poluentes atmosféricos, sais e variações de temperatura contribuem diretamente para o aparecimento e a progressão da corrosão. Além disso, produtos de corrosão, como óxidos e hidróxidos, podem se acumular sobre a superfície metálica e dificultar a troca de oxigênio com o ambiente, o que pode tanto retardar quanto intensificar o processo dependendo das condições locais. Assim, a prevenção da corrosão está fortemente associada ao controle ambiental e à adoção de boas práticas de manutenção e projeto [3].

2. METODOLOGIA DE VISTORIA

Este estudo caracteriza-se como um estudo de caso com abordagem qualitativa e exploratória, voltado à análise de manifestações patológicas por corrosão em pilares metálicos de uma edificação acadêmica. A escolha desse tipo de abordagem justifica-se pela necessidade de compreender, em profundidade, os fatores envolvidos na degradação dos elementos estruturais em um contexto real, visando à proposição de medidas corretivas e preventivas.

A vistoria técnica foi realizada no dia 4 de julho de 2024, às 8h30 (horário local de Manaus), nas instalações da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A metodologia adotada seguiu os princípios estabelecidos pelas normas NBR 13752 [1], que trata das perícias de engenharia na construção civil, e NBR 16747 [2], que dispõe sobre inspeções prediais. Tais normas definem os procedimentos para levantamento de dados técnicos, classificação das manifestações patológicas e proposição de recomendações técnicas, além de estarem em conformidade com a Lei Federal nº 5.194 [4] e resoluções do CONFEA.

Durante a inspeção, priorizou-se a observação direta dos elementos estruturais com registros fotográficos sistematizados, croquis de localização dos pilares e anotações em prancheta. Foram inspecionados pilares metálicos ao longo de uma passarela coberta de aproximadamente 100 metros, com foco especial nos pontos de fixação à fundação de concreto, onde comumente ocorrem processos de corrosão por ação de água, umidade e agentes químicos.

A seleção dos pontos de análise foi definida com base em critérios de acessibilidade, evidência visual de deterioração, proximidade com sistemas de drenagem pluvial e histórico de alagamentos. Os danos observados foram classificados conforme sua gravidade, localização e possível origem, sendo, posteriormente, comparados com dados extraídos de documentos técnicos da instituição e literatura especializada. Adicionalmente, o estudo contou com pesquisa documental no acervo da universidade, com o intuito de levantar informações sobre o histórico construtivo da estrutura inspecionada, os projetos originais e as especificações técnicas dos materiais utilizados. Embora não tenham sido realizados ensaios

laboratoriais ou medição instrumental precisa de espessura metálica, os registros obtidos permitiram uma análise qualitativa consistente, dentro do escopo de um estudo técnico preliminar.

2.1. Objeto inspecionado

O objeto da inspeção são blocos estudantis da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), especificamente a Faculdade de Tecnologia (FT).

Na Figura 2 é possível visualizar o imóvel via satélite. Está localizado na Av. Gen. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3.000 – Coroado.



Figura 2 – Localização do imóvel [7]

A Figura 3 ilustra de forma mais detalhada os objetos de estudo e suas localizações ao longo nos corredores dos blocos da universidade.



Figura 3 – Vista em perspectiva dos pórticos metálicos [7]

2.2. O imóvel e suas particularidades

Os discentes buscaram reunir o máximo de informações sobre a história do bloco, os projetos de dimensionamento das estruturas metálicas e o período de execução. A seguir, as Figuras 4, 5 e 6 são registros obtidos pelos autores em consulta ao Arquivo da Universidade Federal do Amazonas que apresentam alguns detalhes relacionados aos projetos utilizados como referência para a elaboração deste documento.



Figura 4 – Carimbo do projeto de estrutura metálica de coberturas do Campus.

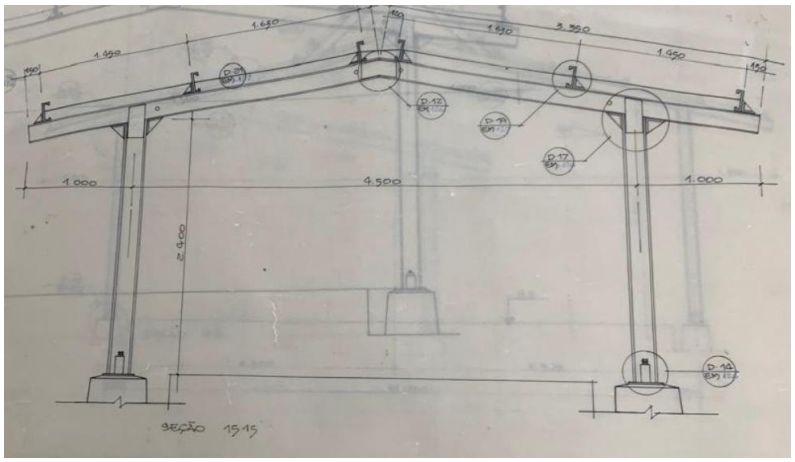


Figura 5 – Detalhe pórtico metálico dos blocos da FT.

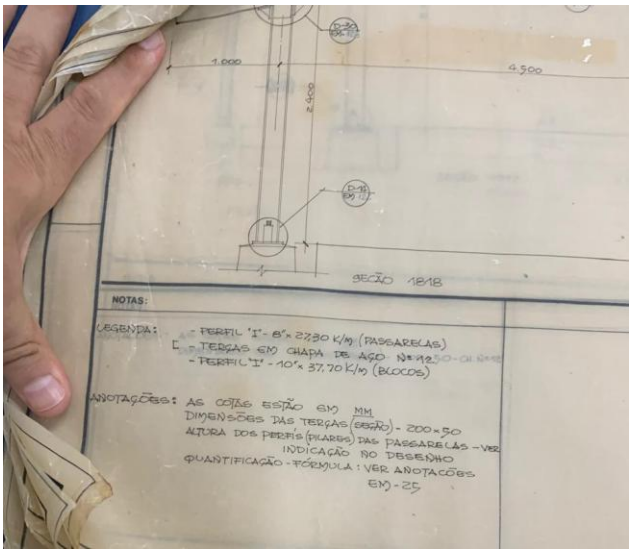


Figura 6 – Detalhamento dos perfis metálicos do bloco.

3. RESULTADOS DA VISTORIA

O ambiente inspecionado durante a vistoria compreende um corredor com aproximadamente 100 metros de extensão, situado entre o Bloco de Salas de Aula Nelson Porto e o Bloco de Laboratórios de Hidráulica e Saneamento. Nesse trecho, foram identificados os elementos estruturais com manifestações patológicas mais evidentes e severas. Trata-se de pilares metálicos que compõem a estrutura em pórtico da cobertura das passarelas e dos blocos da Faculdade de Tecnologia.

De acordo com o detalhamento apresentado na Figura 6, os pilares das passarelas são perfis metálicos do tipo I com 8 polegadas e peso aproximado de 27,30 kg/m, enquanto os pilares dos blocos possuem perfil I de 10 polegadas, com peso médio de 37,70 kg/m. Ambos os tipos são fixados à fundação de concreto por meio de uma placa de base e dois chumbadores. A localização desses pilares está representada nos croquis apresentados nas Figuras 8 e 9.

Durante a inspeção, observou-se a presença de corrosão localizada, principalmente nas placas de base que fixam os pilares às fundações. A maioria desses pilares com sinais de corrosão encontra-se próxima as colunas de drenagem das coberturas, e apresentam pequena elevação em relação ao solo, o que favorece o acúmulo de umidade. O sistema de drenagem, por sua vez, foi projetado para suportar um grande volume de águas pluviais, já que recebe também a contribuição dos telhados de blocos vizinhos.

A corrosão observada nas bases dos pilares caracteriza-se por perda da seção dos perfis, desgaste das placas de base e remoção da pintura protetiva, evidenciadas por manchas de coloração marrom-avermelhada e pela presença de fragmentos metálicos soltos no entorno das bases. Os registros fotográficos das manifestações patológicas identificadas estão apresentados na Tabela 1.

A Figura 7 abaixo representa a seção transversal típica de distribuição dos pórticos do estudo.



Figura 7 – Cobertura de passarela do Hall da FT para o corredor do Bloco de Design.

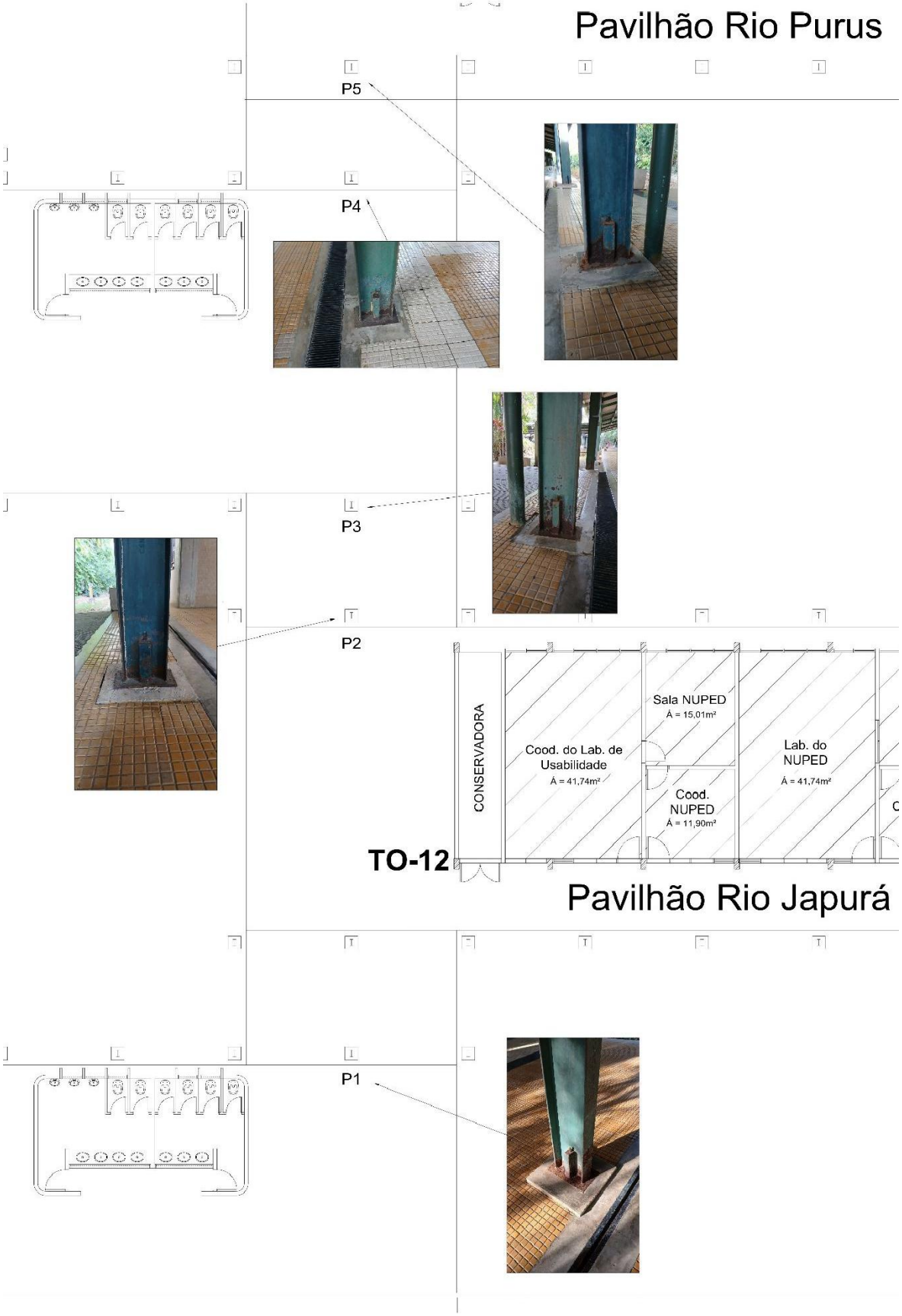


Figura 8 – Trechos do croqui de localização dos pilares analisados.



Figura 9 – Trechos do croqui de localização dos pilares analisados

Tabela 1 – Pilares em situação mais severa de corrosão

Posição do pilar P1	Posição do pilar P3	Posição do pilar P5	Posição do pilar P11
			
Posição do pilar P12	**Posição do pilar P13**	**Posição do pilar P14**	
			

Na seção de transição entre a passarela do Bloco de Design e o hall da lanchonete, foi constatado que o pilar P3 apresenta a base em condições significativamente deterioradas. Esse pilar está situado nas proximidades de uma calha de escoamento e de um conduto vertical de drenagem. Segundo relatos de alunos que circulam frequentemente pela área, essa região sofre com alagamentos recorrentes durante períodos de chuvas intensas. Tal situação indica que a ação contínua da água pluvial, proveniente dos dispositivos de captação e condução — possivelmente comprometidos por falhas no sistema de drenagem —, constitui o principal fator responsável pelo avanço do processo de corrosão na base do elemento estrutural metálico. A Figura 10 ilustra um exemplo da calha de drenagem pluvial instalada ao longo da extensão do corredor.



Figura 10 – Vista da calha de drenagem de águas pluviais do corredor.

O ponto mais crítico da área estudada situa-se ao lado do Bloco de Laboratórios de Eletrotécnica, em um pilar (P12) que integra sustentação da cobertura do bloco e da passarela. Pode-se visualizar na Tabela 1 a perda de seção do perfil na base do pilar que resultou na formação de uma cavidade. Nota-se que altura fundação é baixa em relação aos pilares próximos e o solo mostra-se bastante úmido, evidenciando que o local também sofre com ação da água proveniente da chuva e empoçamentos.

Na Tabela 2, pode-se verificar especificações dos pilares e suas particularidades:

Tabela 2 – Características e observações relevantes dos pilares do estudo

Pilar	Tipo de perfil	Severidade da corrosão	Possível solução
P1	Perfil I	Leve, corrosão superficial (ferrugem inicial sem perda de material significativa)	Limpeza (jateamento) + pintura anticorrosiva
P3	Perfil I	Moderada, com base em condições significativamente deterioradas	Manutenção no sistema de drenagem logo acima do pórtico
P5	Perfil I	Leve, corrosão superficial (ferrugem inicial sem perda de material significativa)	Limpeza (jateamento) + pintura anticorrosiva
P11	Perfil I	Leve, corrosão superficial (ferrugem inicial sem perda de material significativa)	Limpeza (jateamento) + pintura anticorrosiva
P12	Perfil I	Grave, com base em condições significativamente deterioradas	Verificar o escoamento mais ideal para a água pluvial
P13	Perfil I	Leve, corrosão superficial (ferrugem inicial sem perda de material significativa)	Limpeza (jateamento) + pintura anticorrosiva
P14	Perfil I	Leve, corrosão superficial (ferrugem inicial sem perda de material significativa)	Limpeza (jateamento) + pintura anticorrosiva

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a inspeção, foram identificadas manifestações patológicas concentradas principalmente nas bases dos pilares metálicos, em especial nas regiões próximas às calhas de escoamento, condutos verticais de drenagem e áreas de cota mais baixa. As causas mais prováveis dessas manifestações patológicas incluem a agressividade ambiental, exposição contínua dos elementos às intempéries, falhas no sistema de drenagem pluvial, ausência de manutenção preventiva e de revestimento protetivo adequado. A presença recorrente de água — intensificada por alagamentos — revelou-se um fator determinante no processo de corrosão, agravando a deterioração dos perfis. Além disso, mesmo não sendo observada diretamente, a possível presença de urina de animais, como cães, deve ser considerada como agente adicional acelerador do processo de oxidação.

As situações mais críticas observadas referem-se à perda de seção transversal nos perfis metálicos, comprometendo a resistência estrutural dos elementos, com risco de flambagem ou colapso, principalmente nos pilares de menor altura e com acúmulo de umidade ao redor de sua base.

A adoção de medidas corretivas e preventivas torna-se urgente para garantir a segurança da edificação.
Para garantir a segurança estrutural e prolongar a vida útil dos pilares metálicos, propõem-se as seguintes intervenções urgentes:

- Manutenção do Sistema de Drenagem: Inspeção e desobstrução mensal de calhas e condutores verticais;
- Limpeza, análise de perda de seção, revisão de projeto para possível reparo ou reforço da estrutura;
- Proteção Superficial: Aplicação de revestimentos à base de poliuretano ou zincagem a quente;
- Gestão Preventiva: Programa semestral de inspeções técnicas, capacitação de equipes para identificação precoce de novos focos de corrosão e sinalização de áreas vulneráveis e restrição de acesso a animais.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 13752: perícias de engenharia na construção civil**. Rio de Janeiro, 1996.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747: inspeção predial – diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento.** Rio de Janeiro, 2020.

[3] BARDAL, Einar. ***Corrosion and protection***. London: Springer-Verlag, 2004. 315 p.

[4] BRASIL. Lei nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966. **Dispõe sobre o exercício das profissões de engenheiro, arquiteto e engenheiro agrônomo.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 27 dez. 1966.

[5] CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA (CONFEA). Resolução nº 205, de 30 de setembro de 1971. **Dispõe sobre o Código de Ética Profissional.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 15 jan. 1971.

[6] CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA (CONFEA). Resolução nº 218, de 29 de junho de 1973. **Estabelece normas para a fiscalização e o registro de profissionais de engenharia, arquitetura e agronomia**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 14 fev. 1973.

[7] GOOGLE. Google Earth. [S.l.]: Google, 2024. Software de visualização de imagens geoespaciais. Disponível em: https://earth.google.com. Acesso em: 06 jul. 2024

[8] LIMA, Í.; FARIA, J. P**. Estudos de caso de manifestações patológicas em estruturas**. 2020b.

[9] NETO, JARY DE XEREZ.; CUNHA, ALEX SANDER DE. **Estruturas metálicas: manual prático para projetos, dimensionamento e laudos técnicos.** São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2020.

[10] PANNONI, F. D. **A prevenção da corrosão em estruturas metálicas**. 23 mar. 2012.

[11] PEIXOTO, D**. Patologia em elementos de ligação de estruturas metálicas**, 2012.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-38

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida Útil.

INTEGRAÇÃO DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA LOCALIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE FISSURAS EM ESTRUTURAS

SANTOS, Jessica Almeida Dos[1]; SILVA, Walisson Danilo Melo[2]; SANTOS, Waylla Andrade Dos[3]

[1] Universidade Estadual da região Tocantina do Maranhão, Açailândia - MA, Brasil, jessica.santos@uemasul.edu.br
[2] Universidade Estadual da região Tocantina do Maranhão, Açailândia - MA, Brasil, walisssonsilva.20200006941@uemasul.edu.br
[3] Universidade Estadual da região Tocantina do Maranhão, Açailândia - MA, Brasil, waylla.santos@uemasul.edu.br

10.29327/1663665.3-38

RESUMO

O setor da construção civil é vital para a economia, empregando milhões e representando uma parte significativa do PIB nacional. Nesse cenário, a detecção de fissuras é um aspecto crucial para a manutenção de edificações e a utilização de algoritmos de Deep Learning representa um avanço significativo nesse campo. Os algoritmos de Deep Learning oferecem uma abordagem mais eficiente e precisa, aproveitando a capacidade de aprendizado automático para identificar regiões danificadas com base em conjuntos de dados fornecidos. O presente trabalho apresenta um modelo de rede neural customizado para detectar fissuras em edificações, utilizando a arquitetura YOLO, reconhecida por sua alta precisão e velocidade na detecção de objetos em tempo real. A pesquisa incluiu uma revisão bibliográfica sobre redes neurais e suas aplicações, seguida pelo treinamento da rede neural para a detecção de fissuras, com base em um banco de dados open-source. Os resultados indicam que o modelo de rede neural baseado na arquitetura YOLO apresentou alta precisão na detecção e classificação de fissuras com elevada confiança, evidenciando seu potencial para aplicações em inspeções automatizadas.

Palavras-chave: detecção de fissuras; redes neurais; engenharia diagnóstica.

ABSTRACT

The construction industry is vital to the economy, employing millions of people and representing a significant portion of the national GDP. In this scenario, crack detection is a crucial aspect for building maintenance, and the use of Deep Learning algorithms represents a significant advance in this field. Deep Learning algorithms offer a more efficient and accurate approach, leveraging the capacity of machine learning to identify damaged regions based on provided datasets. This work presents a customized neural network model to detect cracks in buildings, using the YOLO architecture, recognized for its high accuracy and speed in real-time object detection. The research included a literature review on neural networks and their applications, followed by training the neural network for crack detection, based on an open-source database. The results indicate that the neural network model based on the YOLO architecture presented high accuracy in detecting and classifying cracks with high confidence, highlighting its potential for applications in automated inspections.

Keywords: crack detection; neural networks; diagnostic engineering.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos pilares da economia brasileira, não apenas por sua expressiva participação no Produto Interno Bruto (PIB), mas também por sua capacidade de gerar empregos em larga escala e promover o desenvolvimento social. Este setor impulsiona diretamente a infraestrutura urbana e rural, sendo responsável por movimentar uma extensa cadeia produtiva que envolve materiais, serviços, mão de obra e tecnologia. Além disso, sua atuação contribui significativamente para a melhoria da qualidade de vida da população, ao viabilizar moradias, obras públicas, saneamento e mobilidade. Segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção, o setor representa cerca de 7,1% do PIB nacional, responde por 44,1% dos investimentos no país e emprega mais de dois milhões de trabalhadores com carteira assinada (CBIC, 2021) [1].

O concreto é amplamente reconhecido como um dos principais insumos na construção civil, sendo composto por uma combinação de cimento, água, areia e agregados, além de substâncias químicas específicas que podem ser adicionadas para melhorar propriedades como resistência ou trabalhabilidade (Couto et al., 2013) [2].

Desde os primórdios da civilização, o ser humano tem desenvolvido conhecimentos em construção com o objetivo de atender às suas necessidades funcionais e sociais. Contudo, ao longo do tempo, surgiram diversos desafios relacionados à durabilidade, ao conforto e à segurança das edificações, exigindo soluções cada vez mais eficazes para garantir a qualidade das estrututras (Oliveira, 2025) [3].

Nas últimas décadas, houve um crescimento expressivo na atenção dedicada à durabilidade e à segurança das estruturas de concreto ao longo do tempo. Com o avanço das técnicas construtivas e a crescente sofisticação dos projetos de engenharia, tornou-se evidente a importância de preservar a integridade das edificações frente às ações do tempo e de agentes externos (Suzart; Leite, 2018) [4].

Mesmo sendo um material de alta resistência e versatilidade, o concreto está sujeito a processos de deterioração que podem comprometer sua vida útil. Essa redução pode decorrer de falhas na execução, escolha inadequada de materiais ou exposição a ambientes agressivos. Cada edificação possui particularidades de uso e localização, o que favorece o aparecimento de falhas ou danos estruturais, conhecidos como manifestações patológicas (Silva, 2019) [5].

A negligência quanto à detecção precoce de fissuras pode levar ao agravamento das manifestações patológicas, tornando as intervenções mais complexas, demoradas e custosas. Quando não tratadas a tempo, essas anomalias evoluem e passam a comprometer aspectos funcionais, estéticos e estruturais da edificação, reduzindo sua vida útil e aumentando significativamente os custos de recuperação. (Silva; Pedreiro, 2024) [6].

Dentre os diversos tipos de falhas construtivas que podem surgir em edificações, sejam elas residenciais, comerciais ou industriais, as fissuras se destacam como uma das ocorrências mais comuns. Elas são preocupantes porque podem indicar vulnerabilidades na estrutura, afetar a longevidade da edificação e gerar apreensão nos usuários devido à sua aparência visível e muitas vezes crescente (Dutra, 2016) [7].

Conforme apontado por Lopes e Nóbrega (2021) [8], fissuras podem evoluir para quadros mais sérios, como trincas e rachaduras, aumentando o grau de comprometimento estrutural. A distinção entre essas manifestações patológicas baseia-se na largura da abertura: fissuras apresentam até 0,5 mm, trincas até 1,5 mm, e rachaduras podem atingir até 5 mm.

Esses tipos de degradação podem comprometer significativamente a estabilidade da edificação, sendo, portanto, indispensável um conhecimento técnico aprofundado sobre seu comportamento. Diversas estratégias podem ser adotadas para inspecionar a integridade estrutural, e os avanços recentes em tecnologia vêm permitindo novas formas de monitoramento e detecção precoce.

Segundo Amaral (2022) [9], técnicas baseadas em inteligência artificial, especialmente aquelas centradas no aprendizado profundo, vêm se destacando como recursos promissores na identificação de mudanças estruturais. Essa abordagem,

fundamentada no uso de redes neurais, é capaz de lidar com grandes volumes de dados e com problemas complexos e não lineares de forma eficaz.

O chamado Deep Learning, ou aprendizado profundo, representa um subcampo do aprendizado de máquina (Machine Learning) voltado à criação de sistemas computacionais com capacidade de aprender padrões de forma autônoma. As chamadas redes neurais profundas (Deep Neural Networks) são compostas por múltiplas camadas e apresentam desempenho notável em tarefas como reconhecimento de padrões e análise de imagens (Trask, 2019) [10].

A YOLO (You Only Look Once) é uma arquitetura de Convolutional Neural Network (CNN) que tem revolucionado a detecção de objetos, sendo capaz de captar representações complexas de atributos visuais como contornos e padrões. Sua arquitetura inovadora transforma o desafio da detecção em uma tarefa de regressão, permitindo que a rede gere probabilidades associadas às coordenadas e limites de caixas para cada categoria de objeto na imagem, o que a torna eficaz em ambientes com múltiplos objetos e interferências visuais (Muhammad, 2023) [11].

Quando comparada a outras metodologias de detecção de objetos, a YOLO se destaca por sua velocidade e precisão, sendo capaz de realizar detecções em tempo real, o que a torna ideal para aplicações que exigem análise imediata (Farhadi, 2016) [12]. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver e aplicar um modelo de rede neural baseado na arquitetura YOLO (You Only Look Once) para a detecção automatizada de fissuras em estruturas de concreto. A proposta busca contribuir para a manutenção preventiva e o monitoramento estrutural de edificações, utilizando técnicas de Deep Learning para identificar manifestações patológicas de forma precisa.

2. JUSTIFICATIVA

Com os avanços da Inteligência Artificial, especialmente no campo das redes neurais profundas e de modelos de detecção baseados em visão computacional, como a arquitetura YOLO (You Only Look Once), tornou-se possível desenvolver sistemas altamente eficazes para a identificação automatizada de falhas em estruturas, como fissuras. A arquitetura YOLO se destaca por sua capacidade de realizar detecções em tempo real, com alta precisão e velocidade, mesmo em ambientes com múltiplos objetos e interferências visuais. Essa característica torna a tecnologia particularmente adequada para aplicações em engenharia civil, onde a rapidez na identificação de patologias pode ser decisiva para a integridade estrutural e a segurança das edificações.

Portanto, este trabalho justifica-se pela necessidade de integrar métodos inovadores de detecção, análise de vibrações e classificação de danos estruturais, promovendo maior segurança às edificações localizadas em áreas de risco. A proposta contribui tanto para o avanço técnico-científico quanto para a melhoria das condições habitacionais e da infraestrutura urbana.

3. METODOLOGIA

Para o treinamento da rede, utilizou-se técnicas de aprendizado de máquina com um banco de dados open-source criado por Özgenel (2018) [13], contendo 20 mil imagens de patologias como fissuras e trincas. As imagens foram organizadas e classificadas de forma a permitir que a rede neural aprendesse de forma eficiente. Este banco tem sido amplamente utilizado em pesquisas relacionadas à detecção de fissuras, o que atesta a qualidade dos dados empregados. A Figura 1 abaixo mostra algumas das imagens presentes no banco de dados utilizado.



Figura 1 – Amostra do banco de dados.

A rede neural selecionada foi a YOLO v8, apresentada na Figura 2, um modelo avançado de detecção de objetos, reconhecido por sua alta precisão e rapidez, sendo ideal para identificar problemas em estruturas a partir de imagens. O treinamento ocorreu no Google Colab, um ambiente de desenvolvimento baseado em nuvem que oferece suporte na forma de Unidade de Processamento Gráfico (GPU) e Unidade de Processamento Tensorial (TPU) fundamentais para processar grandes volumes de dados e realizar o treinamento de redes neurais profundas de forma eficiente. Essa estratégia permitiu a aplicação da rede no reconhecimento de patologias em estruturas.

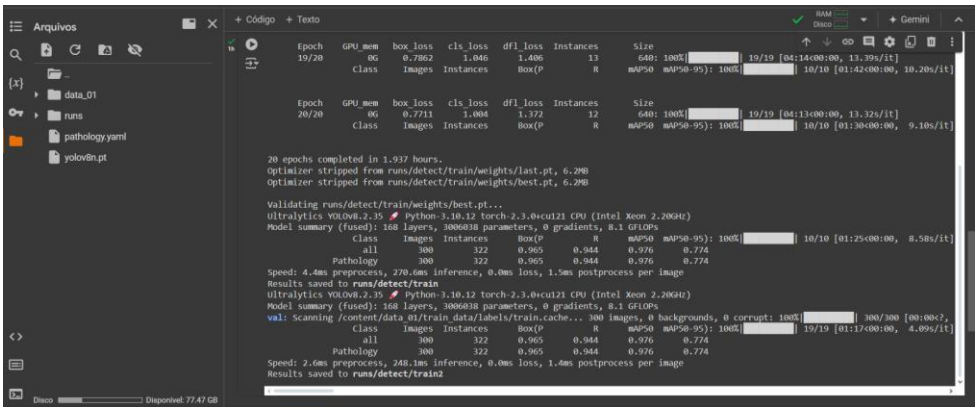


Figura 2 - Treinamento da rede YOLO v8.

O treinamento foi realizado em etapas lógicas e sequenciais:
Etapa 1: envolveu a criação de um dataset, ou seja, um conjunto dos dados necessários para o treinamento do modelo. Nesse caso, o dataset, apresentado na Figura 3, foi composto por um conjunto de imagens que representavam uma patologia estrutural, as anotações correspondentes e um arquivo de configuração no formato YAML. Em modelos de aprendizado supervisionado, como o adotado neste trabalho, as anotações são fundamentais para o treinamento da rede, pois fornecem ao modelo informações precisas sobre a localização e a classe das fissuras. Essas anotações, permitem que a rede aprenda a associar padrões visuais a manifestações patológicas reais. Sem elas, o modelo não teria referência para ajustar seus parâmetros, inviabilizando o processo de aprendizado.

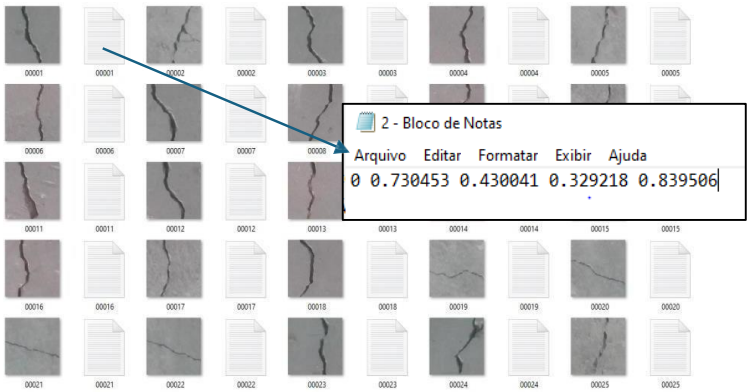


Figura 3 – Conjunto de imagens e anotações.

Etapa 2: todas as anotações foram feitas através de uma ferramenta online chamada MakeSenseai. Para o treinamento, foi utilizada a rede YOLO v8 com todos os pesos atualizados. O dataset foi subdividido da seguinte forma: 500 imagens e anotações foram usadas para treinamento, 100 imagens para a validação e 200 imagens para o teste.

Etapa 3: após a criação do dataset, foi feito a definição da configuração, um processo importante para ajustar o modelo conforme as necessidades do estudo. Nesta etapa, foi estabelecido o número de classes a serem detectadas e as especificações para o treinamento, como a taxa de aprendizado, o número de épocas, e o tamanho do batch. A taxa de aprendizado diz respeito a velocidade com que o modelo ajusta seus pesos com base nos erros cometidos durante o

treinamento. Por sua vez, as épocas representam o número de vezes que o modelo irá processar o conjunto completo de dados de treinamento.

Etapa 4: na sequência, foi iniciada a configuração do ambiente de trabalho no Google Colab. Essa etapa envolveu a instalação de bibliotecas e dependências específicas, além do carregamento do dataset e dos arquivos de configuração criados anteriormente. Concluído o treinamento, o modelo pôde ser avaliado com base em métricas de desempenho, como a precisão e a taxa de falsos positivos, para verificar sua capacidade de detectar e classificar corretamente as patologias estruturais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram conduzidos seis experimentos de treinamento da rede neural YOLOv8 com foco na detecção de fissuras em estruturas, conforme representado na Tabela 1. A metodologia adotada seguiu uma abordagem incremental: o número de imagens foi aumentado progressivamente de 200 a 500 enquanto o número de épocas foi reduzido de 50 a 25, visando encontrar o melhor equilíbrio entre desempenho e tempo de treinamento.

Tabela 1 – Treinos realizados

Treino	Imagens	Épocas	Imagens Teste
1º	200	50	80%
2º	250	45	84%
3º	300	40	89%
4º	400	35	92%
5º	500	30	94%
6º	500	25	92%

O quinto treino, com 500 imagens e 30 épocas, representou o ponto de equilíbrio ideal: houve dados suficientes para uma aprendizagem eficaz e um número de épocas razoável para ajustar os pesos da rede sem sobreajuste. Com isso, foi alcançada uma precisão de 94%, valor expressivo para um problema com alto grau de variabilidade visual, como a detecção de fissuras em diferentes tipos de superfícies. A confiança elevada e consistente nas detecções, inclusive em imagens com texturas ou ruídos de fundo distintos, sugere que a rede conseguiu internalizar os padrões visuais relevantes para a tarefa, como apresentado na figura 4.

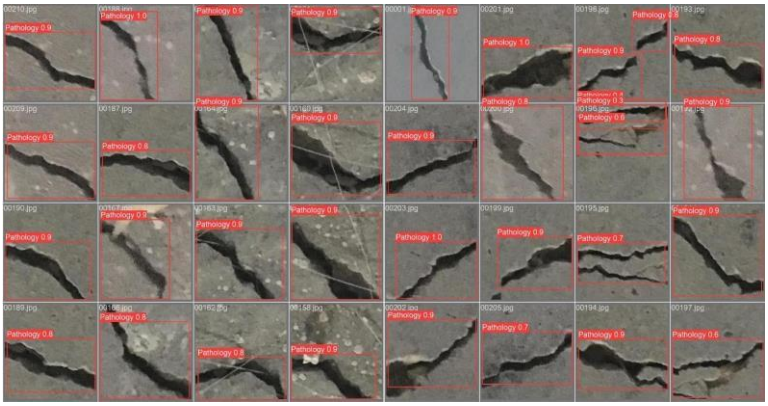


Figura 4 – Treino número 5

O sexto experimento, apesar de utilizar o mesmo volume de imagens, teve desempenho inferior devido à redução das épocas para 25. Isso evidencia que a simples adição de dados não compensa uma redução excessiva no tempo de treinamento, pois a rede precisa de iterações suficientes para consolidar padrões aprendidos.

A avaliação da performance do modelo desenvolvido foi realizada com base em métricas amplamente utilizadas em tarefas de detecção de objetos, especialmente em aplicações que exigem alta precisão. As métricas analisadas foram:

Precisão (P), Recall (R) e Média da Precisão Média (mAP), as quais fornecem uma visão abrangente da eficácia do modelo YOLOv8 na tarefa de detecção automática de fissuras.

A precisão representa a proporção de detecções corretas realizadas pelo modelo entre todas as detecções feitas. Em outras palavras, mede o quão exatas são as previsões positivas. Durante o treinamento, a precisão apresentou crescimento progressivo, atingindo valores superiores a 94%, o que indica uma baixa taxa de falsos positivos. Isso significa que, na maioria das vezes, quando o modelo identifica uma fissura, essa detecção é de fato verdadeira.

O recall, por sua vez, mensura a capacidade do modelo em identificar todas as fissuras presentes nas imagens, ou seja, a proporção de verdadeiros positivos em relação ao total de ocorrências reais. O valor de recall alcançado pelo modelo ultrapassou 92% ao final do treinamento, demonstrando que poucas fissuras reais deixaram de ser detectadas. Esse resultado é particularmente relevante em aplicações de monitoramento estrutural, nas quais a falha em detectar uma manifestação patológica pode comprometer a integridade da edificação.

A métrica mAP (Mean Average Precision) avalia o desempenho geral do modelo ao considerar a precisão média (AP) para diferentes classes e diferentes limiares de interseção sobre união (IoU – Intersection over Union). Dois indicadores são comumente utilizados: o mAP_50 que considera detecções corretas com IoU $\geq$ 0,50. O modelo apresentou desempenho excelente nessa métrica, com valores superiores a 94%, evidenciando sua robustez em condições com tolerância padrão. Outro indicador é o mAP_50-95 que avalia a média da precisão em limiares mais rigorosos (de 0,50 a 0,95 em passos de 0,05). Os valores observados ficaram acima de 85%, o que demonstra que o modelo mantém um desempenho consistente mesmo quando submetido a critérios mais exigentes de sobreposição entre predição e verdade real.

Os resultados obtidos representam um indicador direto da eficácia na detecção e localização de fissuras em superfícies estruturais. Tais métricas não são apenas números, mas refletem a confiabilidade do sistema em ambientes reais de monitoramento, onde decisões rápidas e seguras são essenciais. Uma rede que atinge altos índices de precisão, demonstra capacidade de identificar com exatidão regiões fissuradas, minimizando erros como falsas detecções ou omissões. Esses resultados são extremamente positivos, pois validam a viabilidade do modelo para ser incorporado em sistemas automatizados de inspeção.

Comparando o presente trabalho com o trabalho desenvolvido por Cunha (2025) [14], é possível observar avanços significativos no uso de redes neurais aplicadas à detecção de fissuras. Enquanto o estudo de Cunha utiliza redes convolucionais tradicionais com classificadores binários, obtendo uma precisão média de 91%, o modelo que desenvolvemos com a arquitetura YOLOv8 apresentou desempenho superior, alcançando precisão acima de 94% e recall superior a 92%.

Além disso, incorporamos métricas como mAP_50 e mAP_50-95, que reforçam a robustez do nosso modelo mesmo sob critérios mais rigorosos. Outro diferencial é a capacidade de detecção em tempo real proporcionada pela YOLO, o que amplia as possibilidades de aplicação prática, especialmente em inspeções automatizadas e monitoramento contínuo de estruturas. Embora ambos os trabalhos comprovem a eficiência do uso de inteligência artificial na engenharia diagnóstica, nosso enfoque priorizou a integração de uma arquitetura mais avançada, com maior confiabilidade e aplicabilidade imediata no setor da construção civil.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que o modelo não apenas aprendeu a localizar as fissuras, mas também a classificá-las com alta confiança, o que é fundamental para aplicações em inspeções automatizadas, onde a detecção de pequenos defeitos pode evitar danos maiores. A performance demonstrada neste estágio do treinamento destaca o equilíbrio entre o número de imagens e o número de épocas utilizado.

Fatores como tempo de desenvolvimento, complexidade técnica e limitações computacionais influenciaram na decisão de focar em apenas algumas etapas do processo, como a detecção e localização das fissuras. A classificação e segmentação, que demandam ajustes adicionais na rede neural e uma maior quantidade de dados de treinamento, ficaram como tarefas que exigem maior desenvolvimento e uma otimização futura.

Embora o modelo apresente bons resultados, sua aplicação ainda é incipiente, uma vez que o foco deste estudo foi a validação do método em ambiente controlado. Para consolidar seu uso em cenários reais, é necessário expandir a base de dados, testar em diferentes condições de iluminação e ruído, e integrar o sistema a plataformas móveis, como drones ou robôs autônomos. Assim, este estudo representa um primeiro passo em direção à automação da detecção de fissuras, e abre caminho para trabalhos futuros que explorem sua robustez em ambientes reais, seu desempenho em tempo real, e sua integração a sistemas de alerta e manutenção preventiva.

REFERÊNCIAS

[1] CBIC – **CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Pós-obra: geração de renda e emprego na economia; Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Brasília, DF: CBIC, 2021.**

[2] COUTO J. A. S., CARMINATTI R. L., NUNES R. R. A., MOURA R. C. A.; **O Concreto Como Material De Construção.** 2013. Engenharia Civil ciências exatas e tecnológicas. Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas. Sergipe. v. 1; n.17; p. 49-58; out. 2013.

[3] OLIVEIRA, P. **Patologias na construção civil: análise das principais manifestações patológicas em agências bancárias**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, Goiânia, 2025.

[4] SUZART, R. Q.; LEITE, J. C. **O universo da Engenharia Civil: tecnologias, desafios, inovações e conquistas.** Salvador, BA: Mente Aberta, 2018.

[5] SILVA M. T. A., ROCHA J. H. A., MONTEIRO E. C. B.; **Estimação da profundidade de fissuras em concreto através da velocidade de ondas ultrassônicas.** 2019. Revista Matéria, v. 24; n. 04. Universidade de Pernambuco (UPE), Escola Politécnica de Pernambuco (POLI- UPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PEC-POLI).

[6] Silva, E. F., & Pedreiro, M. R. de M. (2024). **PATOLOGIA DO CONCRETO: FISSURAS.** Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação, 10(10), 3679–3696.

[7] DUTRA E. R.; **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: FISSURAS Causas / Diagnóstico / Recuperação.** Belo Horizonte (MG), 2016.

[8] LOPES, Diego Meireles; NÓBREGA, Marcelo de J. Rodrigues da. **Avaliação das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado de uma edificação.** Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula, Rio de Janeiro, p. 4, 2021.

[9] AMARAL. R. P. F.; **Inteligência artificial aplicada ao monitoramento de estruturas: detecção de alterações mecânico-estruturais baseada no uso de redes neurais autocodificadoras esparsas para a caracterização de respostas dinâmicas.** 2022. Universidade Federal de Juiz de Fora Instituto de Ciências Exatas/Faculdade de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional.

[10] TRASK, A. (2019). **Grokking Deep Learning.** Manning Publications, Shelter Island, NY, 301p.

[11] MUHAMMAD, H. **Yolo-v1 to yolo-v8, the rise of yolo and its complementary nature toward digital manufacturing and industrial defect detection.** Machines, mdpi.com, p. 3– 4, 2023.

[12] FARHADI, J. R. S. D. R. G. A. **You only look once: Unified, real-time object detection.** cv- foundation, cv-foundation.org, p. 780–781, 2016.

[13] ÖZGENEL, Ç. F. (2018). **Concrete Crack Images for Classification.** Mendeley Data, v1. Disponível em: https://data.mendeley.com/datasets/5y9wdsg2zt/1.

[14] CUNHA, João Paulo Sena. **Uso de redes neurais convolucionais para identificação de manifestações patológicas no concreto armado.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2025.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-29

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida útil

INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO DE AGREGADOS DA REGIÃO DE GURUPI – TO

ALVES, Kárita Christina Soares Kanaiama[1]; SILVA, Pedro Paulo Oliveira Crispim[2], PINHEIRO, Márcio Oliveira Costa[3]

[1]Instituto Federal do Tocantins, Gurupi-TO, Brasil, karita.alves@ifto.edu.br, 0000-0002-4309-3812
[2]Instituto Federal do Tocantins, Gurupi-TO, Brasil, pedro.silva18@estudante.ifto.edu.br, 0009-0001-3179-0717
[3]Concretins Concreto Usinado, Gurupi-TO, Brasil, marcioocp@hotmail.com

RESUMO

A reação álcali-agregado (RAA) ocorre quando hidróxidos alcalinos do cimento Portland reagem com certos minerais presentes em alguns agregados, formando um gel álcali-sílica que pode causar expansão anormal e fissuras no concreto, comprometendo sua durabilidade. Este estudo investigou o potencial de reatividade de agregados da região de Gurupi-TO, incluindo pó de brita e duas amostras de areia, com o objetivo de identificar o risco de ocorrência da RAA. Foram realizados ensaios de caracterização dos agregados, como análise granulométrica por peneiramento e massa unitária e densidade. Também, ensaios adaptado de expansão de barras de argamassa, conforme ABNT NBR 15577-4:2018 [1]. Os resultados demonstraram que todos os agregados apresentaram expansões abaixo do limite de 0,19% estipulado pela norma: pó de brita (0,020%), areia 1 (0,022%) e areia 2 (0,024%), classificando-os como potencialmente inócuo grau R0. Assim, esse trabalho sugere que estes agregados da região de Gurupi-TO são adequados para a produção de concreto, com baixo risco de expansão por RAA. Este estudo oferece informações importantes para a construção civil local, indicando que as estruturas de concreto armado podem ter maior durabilidade e segurança.

Palavras-chave: RAA; Agregados; Concreto.

ABSTRACT

Alkali-Aggregate Reaction (AAR) occurs when alkali hydroxides in Portland cement react with certain minerals present in some aggregates, forming an alkali-silica gel that can cause abnormal expansion and cracking in concrete, compromising its durability. This study investigated the reactivity potential of aggregates from the Gurupi-TO region, including crushed stone powder and two sand samples, aiming to identify the risk of AAR occurrence. Aggregate characterization tests were carried out, such as sieve analysis and measurements of unit mass and density. Additionally, mortar bar expansion tests adapted from ABNT NBR 15577-4:2018 [1] were performed. The results showed that all aggregates had expansions below the 0.19% limit established by the standard: crushed stone powder (0.020%), sand 1 (0.022%), and sand 2 (0.024%), classifying them as potentially innocuous, grade R0. Therefore, this study suggests that these aggregates from the Gurupi-TO region are suitable for concrete production, with a low risk of expansion due to AAR. This research provides important information for the local construction industry, indicating that reinforced concrete structures may achieve greater durability and safety.

Keywords: AAR; Aggregates; Concrete.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço crescente da construção civil no Brasil, exige-se um controle tecnológico dos materiais cada vez mais rigoroso, a fim de prevenir problemas ou manifestações patológicas que possam comprometer a durabilidade e a segurança das estruturas. Entre as manifestações patológicas que afetam o concreto, destaca-se a reação álcali-agregado (RAA) descoberta em 1940 pelo Americano Thomas Stanton, que observou fissuras e expansões em estruturas de concreto de escolas, pavimentos, pontes e paredões de beira-mar [2].

A RAA ocorre no interior da estrutura de concreto e envolve a reação entre hidróxidos alcalinos presentes no cimento com minerais reativos contidos nos agregados [2]. A presença de umidade é fator essencial para que essa reação se desenvolva[3]. A combinação entre esses componentes e o ambiente no qual a estrutura está inserida cria as condições ideais para o início da reação [4]; [5]. A RAA é considerada uma reação espontânea, ou seja, nas condições de pH e temperatura usuais do concreto, os produtos formados pela reação são mais estáveis que os reagentes. Por isso, uma vez iniciada, não há como interromper o processo [6].

A intensidade e a velocidade com que a RAA se desenvolve dependem de diversos fatores, como: a natureza e a quantidade dos materiais utilizados, o teor de álcalis no cimento, a temperatura ambiente, a disponibilidade de umidade e as restrições físicas (internas ou externas) à expansão [6]. Os sintomas mais comuns incluem fissuração, deformação e expansão, sendo os métodos de diagnóstico baseados em análises macro e microscópicas, enquanto as principais ações preventivas envolvem o uso de materiais pozolânicos e o controle dos teores de álcalis [7]. Relacionar esses sintomas observados e a ocorrência da RAA nem sempre é tão simples, pois existem outras manifestações patológicas com sintomas similares.

Há dois tipos principais de RAA, a reação álcali-sílica (RAS) e a reação álcali-carbonato (RAC). Estas reações se dão entre os hidróxidos alcalinos presentes no cimento Portland e, rochas silicosas ou minerais silicosos, e agregados calcários dolomíticos argilosos, respectivamente. Para ser considerada uma RAA deve haver expansão deletéria [8]. No estado do Tocantins há registro de ocorrência da RAA na ponte sobre o Rio Tocantins, localizada na rodovia TO-255 em Porto Nacional, construída em 1978, que apresentou sérios problemas estruturais causados principalmente pela RAA [10]. O uso desta ponte foi progressivamente restringido para veículos pesados, até sua total interdição e substituição por uma nova ponte. Este cenário impactou negativamente a região, em aspectos sociais e econômicos, sendo um alerta para a necessidade de se preocupar com o uso de agregados da região em estruturas de concreto.

Considerando a necessidade de se avaliar o potencial de reatividade de agregados utilizados nas misturas de concreto, e ainda, o histórico de ocorrência de RAA no estado do Tocantins, este trabalho se propôs a analisar três tipos de agregados miúdos da região de Gurupi-TO, e verificar a ocorrência do potencial de reatividade álcali-sílica, por meio do ensaio de determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado, conforme ABNT NBR 15577-4:2018 [1].

É importante registrar que as para os efeitos da ABNT NBR 15577:2018 (todas as partes), o termo reação álcali-agregado refere-se à reação álcali-sílica e não se aplica à reação álcali-carbonato, que deve ser avaliada por normas internacionais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de cerca de 40 kg de cada material avaliado neste trabalho, sendo o pó de brita proveniente da Pedreira Gurupi (Peixe-TO), a areia 1 proveniente do Rio Formoso (Dueré-TO) e a areia 2 do Rio Santa Tereza (Peixe-TO). Estes locais fornecem agregados para as obras da região sul do Tocantins. O pó de brita foi avaliado pois é da mesma fonte das britas utilizadas na região e apresenta granulometria adequada para realização das análises de potencial de RAA. A amostragem foi feita em pilhas e seguiu as orientações da ABNT NBR 16915:2021 [11]. Após a coleta e preparo, foram realizados os ensaios no Laboratório de Construção Civil do IFTO – *campus* Gurupi, seguindo os procedimentos estabelecidos pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A Figura 1 apresenta as imagens dos materiais avaliados neste trabalho.



(a) (b) (c)

Figura 1 - Agregados miúdos analisados: (a) Pó de brita, (b) Areia 1, e (c) Areia 2.

2.1. Ensaios e procedimentos de caracterização

A caracterização dos agregados incluiu ensaios como a análise granulométrica por peneiramento, massa unitária do agregado solto e a densidade.
A análise granulométrica seguiu a ABNT NBR 17054:2022 [12], utilizando amostras secas de aproximadamente 300 g, que foram passadas por peneiras da série normal. A massa retida em cada peneira foi pesada para a determinação da distribuição granulométrica.
Com base nesses dados, foi calculado o módulo de finura, somando-se as porcentagens retidas acumuladas e dividindo-se o resultado por 100. Este parâmetro é importante para avaliar a granulometria dos agregados e sua influência sobre a textura e a trabalhabilidade de misturas cimentícias.
O ensaio de determinação da massa unitária do agregado solto, foi feito conforme a ABNT NBR 16972:2021 [13]. Utilizou-se um recipiente cilíndrico com volume conhecido de 15 dm^3, preenchido com o agregado sem compactação. A massa unitária foi obtida pela razão entre a massa total do agregado e o volume do recipiente.
A densidade dos materiais foi determinada por adaptação da ABNT NBR 17212:2025 [14], em função da indisponibilidade de equipamentos requeridos na ABNT NBR 16916: 2021 [15]. As amostras foram secas em estufa a 105 °C por 24 horas, e o cálculo da massa específica foi realizado a partir da diferença de massa de um balão volumétrico com e sem agregados, utilizando água como fluido de preenchimento.

2.2. Ensaio e procedimentos do ensaio de expansão por barras de argamassa

Para avaliação do potencial de RAA dos agregados estudados neste trabalho, foi feito o ensaio de determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado, de acordo com a metodologia da ABNT NBR 15577-4:2018 [1]. Foram utilizados três tipos de agregados miúdos: areia 1 (Rio Formoso), areia 2 (Rio Santa Tereza) e pó de brita (Pedreira Gurupi). O cimento CP V-ARI foi utilizado por apresentar rápida hidratação e elevada alcalinidade, características que favorecem a ocorrência da RAA em ensaios acelerados. Sua composição sem adições evita a diluição da alcalinidade, criando um ambiente crítico para avaliação da reatividade dos agregados. Este cimento também é indicado para argamassas em que se pretende observar o fenômeno da RAA por dois motivos principais: o primeiro é sua rápida evolução dos processos de hidratação, característica essencial na realização de ensaios, e o segundo é a ausência de adições em sua composição, evitando a redução da alcalinidade do concreto, o que poderia interferir nos resultados da reação expansiva [4]; [16]; [17].
Os ensaios foram realizados com o auxílio de misturador mecânico para o preparo das argamassas, banho termorregulador para controle de temperatura e relógio comparador para medição das deformações.
A preparação dos corpos de prova seguiu a ABNT NBR 15577-4:2018 [1], com a mistura sendo realizada em misturador mecânico, seguida da moldagem em formas específicas. Os corpos de prova passaram por cura inicial em câmara úmida durante 24 horas e, em seguida, foram imersos em solução de hidróxido de sódio (NaOH), mantida em banho termorregulador a 80 °C para acelerar a reação de expansão. Por limitações do equipamento, os corpos de prova foram dispostos horizontalmente no interior do recipiente térmico, como mostrado na Figura 2a. O monitoramento da expansão foi realizado aos 16 e 30 dias, com medições efetuadas por meio de relógio comparador, permitindo avaliar o comportamento expansivo das amostras ao longo do tempo, conforme ilustrado na Figura 2b.



(a)



(b)

Figura 2 – Ensaio em andamento: (a) barras na solução de (NaOH), (b) leitura do comprimento das barras.

Os agregados avaliados neste trabalho são comumente utilizados na produção de concreto nas usinas instaladas em Gurupi-TO. Uma destas usinas contratou um laboratório de Palmas-TO para a realização do ensaio de mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado, pela ABNT NBR 15577-5: 2018 [22], para as areias 1 e 2, e para a brita 0 proveniente da mesma jazida do pó de brita. Os ensaios foram realizados com CP V-ARI, com o banho termorregulador vertical. Os resultados destes ensaios estão apresentados e discutidos no item 3.3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise granulométrica

Os resultados da análise granulométrica dos agregados estão apresentados na Tabela 1. Já as curvas granulométricas estão apresentadas na Figura 3, junto aos limites da distribuição granulométrica estabelecidos na ABNT NBR 7211:2022 [18]. Nota-se que, os materiais, de modo geral, apresentaram granulometria dentro dos limites utilizáveis ou ótimos.
Em relação ao módulo de finura, foram obtidos os seguintes resultados para a Areia 1: 2,21, Areia 2: 2,85 e Pó de brita: 2,13. Pela análise das curvas granulométricas (Figura 3) era esperado que a Areia 2 apresentasse o maior módulo de finura. A areia 1 tem granulometria mais fina, o que pode melhorar a coesão e trabalhabilidade da mistura. A combinação dos agregados pode otimizar a dosagem das misturas, equilibrando resistência e trabalhabilidade conforme as exigências do projeto.

Tabela 1 – Resultados da análise granulométrica e limites definidos pela ABNT NBR 7211:2022 [18].

Abertura das peneiras (mm)	Porcentagens retidas acumuladas			Limites inferiores		Limites superiores	
	Areia 1	Areia 2	Pó de brita	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
4,8	0,37	7,12	0,58	0	0	5	10
2	2,64	15,04	11,01	0	10	20	25
1,2	9,80	30,31	27,46	0	10	20	25
0,6	33,91	55,82	40,96	15	35	55	70
0,3	76,52	81,31	55,77	50	65	85	95
0,15	97,77	95,45	77,27	85	90	95	100

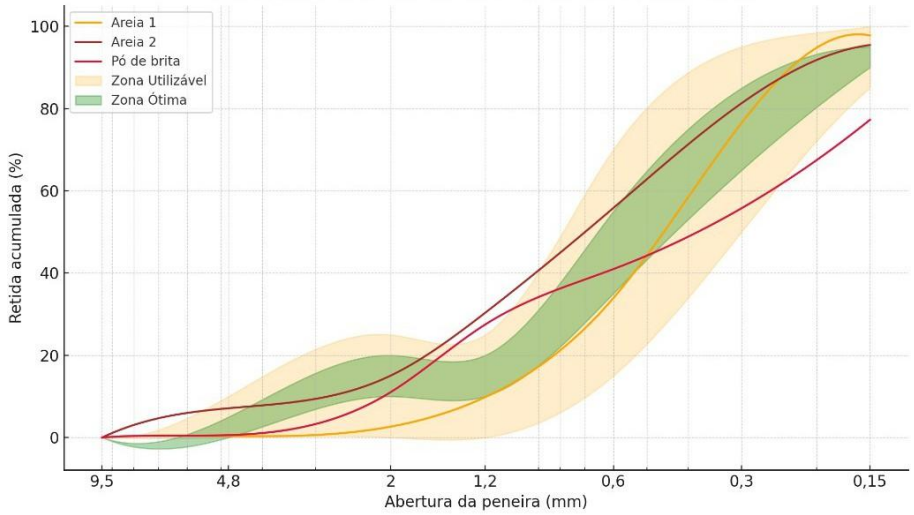


Figura 3 – Curvas das zonas ótimas e utilizáveis e curvas granulométricas dos agregados miúdos.

3.2. Massa unitária no estado solto e densidade

Os valores de massa unitária e de densidade resultantes dos ensaios estão apresentados na Tabela 2. Durante o ensaio foi medida a temperatura da água em 26ºC e sua massa específica sendo de 0,997g/cm³.

Tabela 2 – Resultados de massa unitária e da densidade dos materiais analisados.

Material	Massa unitária (kg/m³)	Faixa comum (kg/m³)	Densidade (kg/m³)	Faixa comum (kg/m³)
Areia 1	1532	1300-1700 [19]	2608	~2650 (quartzo) [21]
Areia 2	1615	1300-1700 [19]	2651	~2650 (quartzo) [21]
Pó de brita	1625	~1500 [20]	2634	2600-3000 [20]

Os valores de massa unitária e de densidade resultantes estão dentro das faixas comuns para estes materiais, como pode ser visto na Tabela 2, com variações atribuídas às características das fontes de extração. A areia 2 e o pó de brita apresentaram massa unitária superior à da areia 1, o que sugere melhor empacotamento e menor índice de vazios, o que já era sugestivo a partir da análise das curvas granulométricas.

3.3. Classificação do grau de reatividade do agregado quanto a RAS

Os resultados dos ensaios de determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado desenvolvidos no laboratório de construção civil e no laboratório de Palmas, estão apresentados na Tabela 3. Ambos resultados apresentaram valores de expansão inferiores ao limite de 0,19% estabelecido pela ABNT NBR 15577-1: 2018 [9] para os materiais potencialmente inócuos, conforme a experiência brasileira.

Tabela 3 – Valores obtidos em porcentagem de expansão e a classificação conforme a ABNT NBR 15577-1:2018 [9]

Material	**Expansão (%) - laboratório IFTO**	**Expansão (%) - laboratório de Palmas-TO**	**Classificação da reatividade potencial**
Pó de brita	0,020	0,02 (brita 0)	Potencialmente inócuo grau R0
Areia 1	0,022	0,02	Potencialmente inócuo grau R0
Areia 2	0,024	0,02	Potencialmente inócuo grau R0

Este trabalho sugere que, mesmo com diferenças naturais em sua origem geológica e propriedades granulométricas, estes agregados miúdos podem ser utilizados com segurança na composição de concretos utilizados em estruturas das Classes B a D, conforme ABNT NBR 15577-1:2018 [9]. O pó de brita, por exemplo, apresentou o menor valor de expansão, o que pode estar associado à sua composição mineralógica mais estável, oriunda de rocha britada. Já as areias, extraídas de leitos fluviais distintos, revelaram características de granulometria e finura distintas, mas, ainda assim, comportamentos praticamente equivalentes do ponto de vista expansivo.
Outra observação é que os resultados atingidos nos ensaios realizados em ambos laboratórios foram semelhantes, o que sugere que a metodologia adotada (barras dispostas horizontalmente) gera resultados próximos do ensaio realizado com as barras dispostas verticalmente no banho termorregulador.
Cabe reforçar que os ensaios foram realizados com cimento CP V-ARI, que, por suas características de rápida hidratação e alta alcalinidade, favorece o desenvolvimento da reação em ambientes acelerados. Mesmo nessas condições potencialmente críticas, todos os agregados apresentaram expansões muito inferiores ao limite de 0,19%, resultando sua classificação como inócuos, ou não reativos, e sua indicação para uso em concreto.
Portanto, os resultados demonstram baixo potencial de reatividade e comportamento estável, o que qualifica os agregados estudados como adequados para uso em concretos convencionais, inclusive em ambientes com presença de umidade.

4. CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo analisar o potencial de reatividade álcali-agregado de agregados miúdos da região de Gurupi-TO, por meio de ensaios de caracterização física e do método acelerado de barras de argamassa conforme ABNT NBR 15577-4: 2018 [1].
Os resultados evidenciaram que os materiais analisados: areia 1 (Rio Formoso), areia 2 (Rio Santa Tereza) e pó de brita (Pedreira Gurupi) são inócuos, ou seja, apresentam baixo potencial de RAA, com expansões abaixo de 0,19%, mesmo com o uso de cimento CP V-ARI, que favorece a reação. As pequenas variações de resultado entre os laboratórios sugere que ambas metodologias podem ser adotadas para realizar este tipo de análise.
Do ponto de vista prático, esses resultados reforçam a viabilidade do uso desses agregados na produção de concretos duráveis, contribuindo para a segurança estrutural e a longevidade das obras na região sul do Tocantins.

Entretanto, como limitação do estudo, destaca-se a análise restrita a três amostras de agregados e a um único tipo de cimento. Para ampliar o escopo das conclusões, recomenda-se a realização de ensaios complementares, com agregados de outras jazidas locais, outros tipos de cimento (CP II, CP IV) e condições variadas de exposição, como ciclos de umidade e secagem, visando simular o comportamento real em campo.
Futuros trabalhos também podem incorporar análises petrográficas e microscópicas dos agregados, para verificar de forma mais aprofundada a presença de fases potencialmente reativas e estabelecer correlações entre mineralogia e comportamento expansivo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPT), ao IFTO e à Concretins pelo fomento e apoio para a execução do projeto de pesquisa que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 15577-4: Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado*. Rio de Janeiro, 2018.

[2] BONATO, L. C. *Reação alcali-agregado, principais causas e estudo de reatividade potencial*. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

[3] HASPARYK, N. P. *Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado*. Curitiba, 2005.

[4] MIZUMOTO, C. *Investigação da reação álcali-agregado (RAA) em testemunhos de concreto e agregados constituintes*. Curitiba, 2009.

[5] DUTRA, A. I. F. *Reação álcali-agregado: investigação do comportamento de agregados da região sudoeste do Rio Grande do Sul frente à utilização de diferentes tipos de cimentos Portland*. Porto Alegre, 2018.

[6] KIHARA, Y. *Reação álcali-agregado: aspectos mineralógicos*. Anais [...], 1988.

[7] VALDUGA, L. *Reação álcali-agregado: mapeamento de agregados reativos do estado de São Paulo*. São Paulo: Universidade Estadual de Campinas, 2002.

[8] KIHARA, Y.; SCANDIUZZI, L. *Reação álcali-agregado: mecanismo, diagnose e casos brasileiros*. Anais [...], 1993.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 15577-1: Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto*. Rio de Janeiro, 2018.

[10] SILVA, T. R. da. *Análise das manifestações patológicas em obras de artes especiais: um estudo das ocorrências na ponte sobre o Rio Tocantins em Porto Nacional-TO*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, Palmas.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 16915: Agregados – Amostragem*. Rio de Janeiro, 2021.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2022.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 16972: Agregados – Determinação da*

massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 17212: Solos — Determinação da massa específica dos sólidos da fração passante na peneira com abertura de 2,0 mm*. Rio de Janeiro, 2025.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 16916: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água*. Rio de Janeiro, 2021.

[16] CARDOSO, A. F. A.; SOUZA, P. S. L.; BRANCO, V. H. L. Reação álcali-agregado – verificação da reatividade do agregado graúdo frente aos álcalis do cimento, das principais jazidas fornecedoras de agregados para a região metropolitana de Belém. *RETEC – Revista de Tecnologias*, v. 8, n. 2, p. 12–20, 2015.

[17] ROLIM, P. H. B. et al. *Reação álcali-agregado: avaliação do método químico de ensaio*. Belo Horizonte, 2013.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 7211: Agregados para concreto – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2022.

[19] CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M. A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassa. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 37–44, 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3354>. Acesso em: 29 jul. 2025.

[20] RIO DE JANEIRO (Município). *TABELASOFGV02*. Rio de Janeiro: Prefeitura do Rio de Janeiro, [s.d.]. Disponível em: <https://rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/7604908/4207844/TABELASOFGV02.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2025.

[21] MATERIAL PROPERTIES. *Quartzo – densidade – capacidade de calor – condutividade térmica*. [S. l.], [s.d.]. Disponível em: <https://material-properties.org/pt-br/quartzo-densidade-capacidade-de-calor-condutividade-termica/>. Acesso em: 29 jul. 2025.

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 15577-5: Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado*. Rio de Janeiro, 2018.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-24

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida útil

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÃO DA UFRB, AMARGOSA-BA

TEIXEIRA, Danilo[1]; MENESES, Gustavo[2]; ARAÚJO, Jannete[3]; DIAS, Matheus[4]

[1] Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasília, Distrito Federal, Brasil, danilomagalhaesd2@gmail.com
[2] Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasília, Distrito Federal, Brasil, gustavomeneses.eng@gmail.com, 0009-0009-4883-0488
[3] Centro Universitário Estácio, Brasília, Distrito Federal, Brasil, janneteaaraujo@gmail.com
[4] Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasília, Distrito Federal, Brasil, matheusdias.engenharia@gmail.com

RESUMO

Este estudo analisa manifestações patológicas em uma estrutura de concreto armado da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em Amargosa-BA, com base em um laudo técnico de avaliação estrutural. Foram identificadas patologias como fissuras, recalques, carbonatação, corrosão de armaduras e falhas de execução, que comprometem a segurança e durabilidade. A metodologia envolveu inspeção visual detalhada e ensaios não destrutivos, incluindo esclerometria, pacometria, ultrassonografia, resistividade elétrica e teste de carbonatação, conforme normas técnicas. Os resultados embasaram propostas de medidas corretivas e preventivas, destacando a relevância de avaliações periódicas para a longevidade estrutural.

Palavras-chave: *Manifestações patológicas, concreto armado, durabilidade da estrutura, ensaios não destrutivos, recuperação estrutural.*

ABSTRACT

This study analyzes pathological manifestations in a reinforced concrete structure at the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB) in Amargosa, Bahia, based on a technical structural assessment report. Pathologies such as cracks, settlement, carbonation, reinforcement corrosion, and construction flaws were identified, compromising safety and durability. The methodology involved detailed visual inspection and non-destructive testing, including rebound hammer, pachymetry, ultrasonography, electrical resistivity, and carbonation testing, in accordance with technical standards. The results supported proposals for corrective and preventive measures, highlighting the importance of periodic assessments for structural longevity.

Keywords: *Pathological manifestations, reinforced concrete, structural durability, non-destructive testing, structural recovery.*

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado é amplamente utilizado na construção civil devido à sua versatilidade, resistência mecânica e facilidade de moldagem, sendo empregado em diversas aplicações estruturais. Contudo, a crença histórica de que essas estruturas possuem durabilidade ilimitada foi desmistificada, uma vez que o envelhecimento do material e a exposição a agentes agressivos podem levar ao surgimento de manifestações patológicas, comprometendo a segurança e a vida útil das edificações (HELENE, 2003) [1]. Essas anomalias, que incluem fissuras, carbonatação, corrosão de armaduras e delaminações, são problemas recorrentes, especialmente em estruturas mal projetadas, executadas ou mantidas (PEREIRA, 2019 [2]; FIB, 2021 [3]).

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado podem originar-se em diferentes fases do ciclo de vida da construção. Falhas na concepção do projeto, como a escolha inadequada de materiais ou dimensionamento insuficiente, podem induzir problemas desde a etapa de planejamento. Durante a execução, erros como má compactação do concreto ou cobrimento insuficiente das armaduras contribuem para a deterioração precoce. Já na fase de uso, a ausência de manutenção preventiva agrava a exposição a agentes agressivos, como umidade e cloretos, especialmente em ambientes tropicais classificados como moderadamente agressivos (classe de agressividade ambiental II, ABNT NBR 6118:2023 [4]) (VIEIRA, 2008 [5]; ZHANG et al., 2023 [6]). A identificação precoce dessas patologias é crucial para mitigar riscos estruturais e reduzir custos de reparo, sendo essencial o uso de técnicas avançadas de inspeção e diagnóstico, como ensaios não destrutivos (END) e monitorização estrutural (COSTA, 2020 [7]; RILEM, 2022 [8]).

Nesse contexto, este estudo analisa um caso real de manifestações patológicas em uma edificação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), localizada em Amargosa-BA, exposta a um ambiente de agressividade moderada (CAA II). A estrutura apresentou problemas como fissuras, recalques, carbonatação do concreto e corrosão de armaduras, identificados por meio de um laudo técnico de avaliação estrutural. O objetivo é diagnosticar as causas dessas patologias, utilizando inspeção visual detalhada e ensaios não destrutivos (esclerometria, pacometria, ultrassonografia, resistividade elétrica e teste de carbonatação), conforme ABNT NBR 7584:2012 [9] e ABNT NBR 8802:2019 [10], e propor soluções de recuperação e reforço baseadas em normas técnicas e na literatura especializada.

Este trabalho contribui para a discussão sobre a importância da avaliação periódica de estruturas de concreto armado, enfatizando a relevância de práticas de manutenção preventiva para garantir a durabilidade e a segurança das edificações. Além disso, destaca a aplicabilidade de técnicas avançadas de diagnóstico, como sensores de fibra óptica e inteligência artificial, que têm sido exploradas em estudos internacionais recentes para monitorização e reabilitação estrutural (ANDRADE, 2018 [11]; ZHANG et al., 2023 [6]).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conceito de patologias em estruturas de Concreto Armado

As patologias em estruturas de concreto armado referem-se a anomalias que comprometem o desempenho, a segurança e a durabilidade das construções. Segundo Helene (2003) [1], essas manifestações podem ser classificadas em: fissuras e trincas, resultantes de tensões excessivas, retração térmica ou recalques diferenciais; carbonatação, um processo químico que reduz o pH do concreto, desprotegendo as armaduras; corrosão de armaduras, desencadeada por carbonatação, cloretos ou umidade; e falhas de execução, como má compactação, cobrimento insuficiente ou segregação do concreto. A fissuração, conforme destacado por Silva (2010) [12], pode acelerar a deterioração ao permitir a infiltração de agentes agressivos, enquanto a corrosão de armaduras é uma das principais causas de falhas estruturais, podendo levar ao colapso se não identificada precocemente (OLIVEIRA, 2015 [13]; FIB, 2021 [3]). Estudos internacionais recentes, como Zhang et al. (2023) [6], apontam que a interação entre fissuras e processos corrosivos é agravada em ambientes tropicais, onde a umidade e a temperatura favorecem reações químicas.

2.2. Ensaios não destrutivos (END) para Avaliação Estrutural

Os ensaios não destrutivos (END) são ferramentas essenciais para avaliar a integridade de estruturas sem causar danos, permitindo diagnósticos precisos e o planejamento de intervenções. Entre os principais END aplicados a estruturas de concreto armado, destacam-se:

- **Esclerometria**: Conforme a ABNT NBR 7584:2012 [9], avalia a dureza superficial do concreto, fornecendo uma estimativa da resistência à compressão. Silva et al. (2019) [14] destacam sua simplicidade e rapidez, embora fatores como carbonatação superficial possam superestimar os resultados, exigindo correções conforme o Anexo C da norma.
- **Pacometria**: Identifica a posição, o diâmetro e o cobrimento das armaduras, sendo crucial para avaliar o risco de corrosão e planejar reforços. Pereira (2020) [15] enfatiza sua precisão em inspeções não invasivas, minimizando interferências na estrutura.
- **Ultrassonografia**: Regulada pela ABNT NBR 8802:2019 [10], detecta falhas internas, como vazios, trincas ou heterogeneidades, por meio da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas. Costa e Almeida (2017) [16] destacam sua alta sensibilidade, especialmente em estruturas complexas.
- **Resistividade elétrica**: Avalia a probabilidade de corrosão das armaduras, correlacionando a condutividade do concreto com o risco de deterioração. Lima (2016) [17] nota que valores abaixo de 10 kΩ·cm indicam alto risco, exigindo intervenções imediatas.
- **Teste de carbonatação**: Utiliza fenolftaleína para medir a profundidade da frente carbonatada, indicando a perda de proteção das armaduras. Zhang et al. (2023) [6] reforçam que a combinação de END, como resistividade e carbonatação, melhora a confiabilidade dos diagnósticos.

Avanços recentes em monitorização estrutural, como sensores de fibra óptica e inteligência artificial para análise de dados de END, têm ampliado a precisão e a eficiência na detecção de patologias (RILEM, 2022) [8]. A integração dessas técnicas, conforme preconizado por Andrade (2018) [11], proporciona uma avaliação abrangente, essencial para a manutenção e reabilitação de estruturas.

2.3. Normas técnicas aplicáveis

As normas técnicas brasileiras estabelecem diretrizes para o projeto, execução, avaliação e recuperação de estruturas de concreto armado, garantindo segurança e durabilidade. As principais normas aplicáveis a este estudo são:

- **ABNT NBR 6118:2023 – Projeto de Estruturas de Concreto** [4]: Define parâmetros para dimensionamento, cobrimento mínimo e resistência do concreto (fck) com base nas classes de agressividade ambiental (CAA I a IV). Para ambientes CAA II, como o do estudo de caso, recomenda-se cobrimento mínimo de 30 mm para vigas e pilares e fck mínimo de 25 MPa (Tabela 7.2). A norma também orienta técnicas de recuperação, como injeção de resinas epóxi e reforço com fibras de carbono (FIB, 2021) [3].
- **ABNT NBR 15575:2021 – Desempenho de Edificações** [18]: Estabelece requisitos de desempenho, como vida útil mínima de 50 anos para sistemas estruturais, resistência a cargas e controle de fissuração. A norma enfatiza a importância de inspeções periódicas para prevenir a progressão de patologias (ANDRADE, 2018) [11].
- **ABNT NBR 7584:2012 – Ensaio de Esclerometria** [9]: Regula a avaliação da resistência superficial do concreto, com recomendações para correção de resultados influenciados por carbonatação. Silva (2010) [19] destaca a necessidade de calibração para evitar superestimações.
- **ABNT NBR 8802:2019 – Ultrassonografia em Concreto** [10]: Define procedimentos para detecção de falhas internas, com alta eficácia em identificar heterogeneidades, como observado em 20% das amostras do estudo de caso (OLIVEIRA, 2018) [20].
- **Ensaios de Resistividade**: Embora não regulamentados por uma norma específica, seguem diretrizes internacionais (ex.: RILEM TC 154-EMC) [8], sendo amplamente utilizados para avaliar o risco de corrosão. Pereira e Santos (2019) [21] reforçam sua relevância para prever a durabilidade em ambientes agressivos.

Essas normas, combinadas com avanços internacionais em técnicas de diagnóstico e reabilitação, fornecem uma base robusta para a análise de patologias e a proposição de soluções eficazes, como as aplicadas no estudo de caso da UFRB em Amargosa-BA.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo envolveu a avaliação estrutural de uma edificação da UFRB em Amargosa-BA, por meio de inspeção visual detalhada e ensaios não destrutivos (END), conforme normas técnicas brasileiras. A inspeção visual identificou manifestações patológicas, como fissuras, recalques e sinais de umidade, em elementos estruturais (vigas, pilares, lajes e fundações). Foram realizados ensaios de esclerometria (ABNT NBR 7584:2012) [9] para estimar a

resistência à compressão do concreto em 10 pontos representativos, pacometria para verificar o cobrimento e o diâmetro das armaduras, ultrassonografia (ABNT NBR 8802:2019) [10] para detectar falhas internas, resistividade elétrica para avaliar o risco de corrosão e teste de carbonatação com fenolftaleína para medir a profundidade da frente carbonatada. Os dados foram analisados comparativamente com os requisitos da ABNT NBR 6118:2023 [4] e ABNT NBR 15575:2021 [18], permitindo o diagnóstico das causas das patologias e a proposição de intervenções.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Principais patologias identificadas

A análise estrutural da edificação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em Amargosa-BA, revelou diversas manifestações patológicas que comprometem a durabilidade e a segurança da estrutura. A inspeção visual detalhada, complementada por ensaios não destrutivos (END), identificou fissuras, carbonatação do concreto, corrosão de armaduras e falhas de concretagem como as principais anomalias, cujas causas estão associadas a falhas de execução, exposição a agentes agressivos (classe de agressividade ambiental II, conforme Tabela 7.2 da ABNT NBR 6118:2023) [4] e ausência de manutenção preventiva.

As fissuras observadas em vigas e lajes, com espessuras variando de 0,5 mm a 2 mm, foram atribuídas a recalques diferenciais do solo e flexão excessiva, agravados por falhas de execução, como cobrimento insuficiente das armaduras (média inferior a 30 mm em 50% dos elementos, conforme pacometria). Essas fissuras, mapeadas na fachada frontal (Figura 3), indicam tensões excessivas e deslocamentos verticais, compatíveis com recalques diferenciais (HELENE, 2003) [1]. Além disso, trincas de retração térmica foram identificadas no reboco, resultantes de variações térmicas durante a execução da argamassa, acompanhadas de manchas de bolor e umidade ascendente (Figura 2), evidenciando a exposição prolongada a agentes agressivos, como umidade, em um ambiente tropical classificado como CAA II (ABNT NBR 6118:2023) [4].

A carbonatação do concreto apresentou profundidade média de 14,78 mm (Tabela 1), indicando a redução do pH do concreto e a consequente desproteção das armaduras. Este processo, intensificado pela exposição a umidade e pela ausência de manutenção preventiva, contribuiu para a corrosão de armaduras, observada em 50% das amostras analisadas, com resistividade elétrica inferior a 10 kΩ·cm (Tabela 3). A corrosão foi agravada pelo cobrimento insuficiente, detectado pela pacometria, que revelou valores abaixo do mínimo de 30 mm exigido para ambientes CAA II (ABNT NBR 6118:2023 [4]; FIB, 2021 [3]).

Falhas de concretagem, detectadas por ultrassonografia (ABNT NBR 8802:2019) [10] em 20% das amostras, incluíram vazios e heterogeneidades internas, sugerindo má compactação durante a execução (Figura 7). A inspeção visual também identificou flexão no muro de contenção e na viga de contenção, causada por empuxo ativo do solo, com desnível de 10 cm e fenda de 3 cm (Figura 1). Trincas de recalque em elementos de fundação, paredes e janelas, devido à ausência de vergas e contravergas, foram documentadas (Figura 4), indicando falhas no projeto e execução que permitiram a propagação de fissuras (PEREIRA, 2019) [2].

Os resultados confirmam que as patologias decorrem de uma combinação de falhas de execução (cobrimento insuficiente, má compactação, ausência de elementos de contenção), exposição a agentes agressivos (umidade e carbonatação em ambiente CAA II) e falta de manutenção preventiva, que agravou a deterioração ao longo do tempo. Embora o estudo seja limitado a uma única edificação, os métodos empregados, incluindo inspeção visual e END (esclerometria, pacometria, ultrassonografia, resistividade elétrica e teste de carbonatação), são amplamente aplicáveis a estruturas de concreto armado em ambientes tropicais, conforme destacado por Zhang et al. (2023) [6]. Esses achados reforçam a importância de avaliações periódicas e da adoção de medidas preventivas para garantir a durabilidade estrutural (ANDRADE, 2018) [11].



Figura 1 – Flexão do muro de contenção e da viga de contenção com abertura de 3 centímetros.



Figura 2 – Trincas por retração térmica e manchas de bolor.

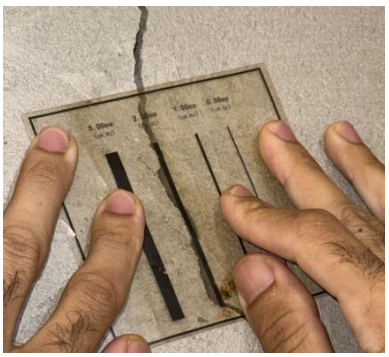


Figura 3 – Trinca causada pelo deslocamento vertical, com espessura de 2mm.



Figura 4 – Trincas causadas pelo recalque de elemento de fundação, janela sem verga e contraverga.

4.2. Resultados dos ensaios

A avaliação estrutural da edificação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em Amargosa-BA, foi realizada por meio de ensaios não destrutivos (END) e semi-destrutivos, incluindo esclerometria, ultrassonografia, pacometria, resistividade elétrica e teste de carbonatação, conforme as normas ABNT NBR 7584:2012 [9], ABNT NBR 8802:2019 [10] e diretrizes internacionais (RILEM TC 154-EMC) [8]. Os resultados, apresentados em tabelas e figuras, foram comparados aos requisitos da ABNT NBR 6118:2023 [4] (Tabela 7.2) para a classe de agressividade ambiental II (CAA II), que exige resistência mínima do concreto (fck) de 25 MPa e cobrimento mínimo de 30 mm para vigas e pilares.

A esclerometria e a ultrassonografia foram aplicadas em 10 amostras de elementos estruturais (vigas, pilares e lajes) para avaliar a resistência do concreto. A resistência superficial média, obtida por esclerometria, foi de 56,13 MPa, enquanto a resistência média por ultrassonografia foi de 38,64 MPa (Tabela 1). Ambas superam o fck mínimo de 25 MPa exigido para ambientes CAA II (ABNT NBR 6118:2023) [4], indicando que o concreto atende aos requisitos de resistência, apesar das patologias observadas. Contudo, discrepâncias entre os métodos, ilustradas no gráfico de comparação (Figura 7, com eixo y: Resistência [MPa], eixo x: Amostra), sugerem que a esclerometria pode superestimar a resistência devido à carbonatação superficial, conforme apontado por Silva et al. (2019) [14]. A ultrassonografia revelou falhas internas em 20% das amostras, como vazios e heterogeneidades, atribuídas à má compactação durante a execução (Figura 6, com eixo y: Resistência [MPa], eixo x: Amostra).

A pacometria, realizada em seções sem reboco e validada com medições por paquímetro, identificou cobrimentos médios inferiores a 30 mm em 50% dos elementos (Tabela 2), indicando não conformidade com a ABNT NBR 6118:2023 para ambientes CAA II. Além disso, a soma das áreas de armaduras de tração e compressão (As + As') excedeu o limite de 4% da área de concreto (Ac) em quatro elementos (vigas 32, 31, 47 e pilar 46), sugerindo superdimensionamento estrutural, mas sem falhas na distribuição das armaduras (PEREIRA, 2020) [15]. Esses resultados corroboram que falhas de execução, como cobrimento insuficiente, contribuíram para a deterioração observada.

O ensaio de resistividade elétrica de Wenner avaliou o risco de corrosão das armaduras, com base em intervalos estabelecidos pelo manual do equipamento (RILEM TC 154-EMC) [8]. Dos 10 elementos analisados, cinco apresentaram resistividade entre 10 e 20 kΩ·cm (probabilidade provável de corrosão), um com resistividade entre 5 e 10 kΩ·cm (alto risco), e dois com resistividade ≤ 5 kΩ·cm (muito alto risco), totalizando 80% das amostras com risco significativo de corrosão (Tabela 3). Apenas duas amostras (viga 32 e laje 11) apresentaram resistividade entre 20 e 199,9 kΩ·cm, indicando baixa probabilidade de corrosão. Esses resultados, associados ao cobrimento insuficiente e à presença de umidade (identificada na inspeção visual, Figura 2), confirmam que a corrosão foi intensificada pela exposição a agentes agressivos em ambiente CAA II e pela ausência de manutenção preventiva (ZHANG et al., 2023) [6].

O teste de carbonatação, realizado com fenolftaleína em amostras quebradas, revelou profundidade média de 14,78 mm em nove das 10 amostras, com a laje 11 sem carbonatação aparente (Tabela 4). A vida útil de projeto (VUP) foi estimada pelo método de Clear e Hay (Equação 1), considerando a profundidade de carbonatação, o cobrimento, a relação água/cimento e a concentração de cloretos. A VUP média calculada foi de 12,16 anos, indicando uma primeira queda de desempenho estrutural, agravada pela carbonatação e pela corrosão das armaduras. A equação utilizada é apresentada a seguir:

$$t = \frac{2{,}5 \times {}^{0{,}82}\sqrt{e}}{a/c \times ({}^{2{,}38}\sqrt{C_{Cl-}})} \quad (1)$$

onde:

- (t): tempo (anos);
- (e): espessura de cobrimento (mm);
- (a/c): relação água/cimento (kg/kg);
- (C_{Cl}-): concentração de cloretos no meio ambiente (%).

A combinação dos resultados dos ensaios aponta que as patologias observadas resultam de falhas de execução (má compactação, cobrimento insuficiente), exposição prolongada a agentes agressivos (umidade, cloretos) e ausência de manutenção preventiva, que permitiu a progressão da carbonatação e da corrosão. Embora o estudo seja restrito a uma edificação, os métodos aplicados (esclerometria, ultrassonografia, pacometria, resistividade elétrica e teste de carbonatação) são replicáveis em outras estruturas de concreto armado em ambientes tropicais, conforme destacado por Andrade (2018) [11].

As figuras (5, 6, 7) e tabelas (1, 2, 3, 4) foram ajustadas com legendas claras (ex.: "Figura 5 – Resistência superficial do concreto por esclerometria [MPa]") e fontes (Fonte: Elaborado pelos autores), atendendo às normas de apresentação científica.

i. Comparação dos resultados de esclerometria e ultrassonografia para 10 amostras de concreto

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de esclerometria x ultrassonografia.

Amostra	Elemento	Dureza superficial (MPa)	Resistência por ultrassonografia (MPa)	Fck mínimo (CAA-II) (MPa)
1	Viga 32	62,50	42,30	25,00
2	Pilar 50	46,00	43,80	25,00
3	Pilar 49	62,00	40,00	25,00
4	Pilar 36	53,00	42,80	25,00
5	Pilar 16	68,00	21,60	25,00
6	Viga 47	45,80	32,30	25,00
7	Pilar 46	60,00	52,00	25,00
8	Viga 31	70,00	39,00	25,00
9	Laje 11	50,00	42,20	25,00
10	Laje 8	44,00	30,40	25,00



Figura 5 – Gráfico de resultados das durezas superficiais encontradas [9].



Figura 6 – Gráfico de resultados das resistências por ultrassonografia encontradas [10].

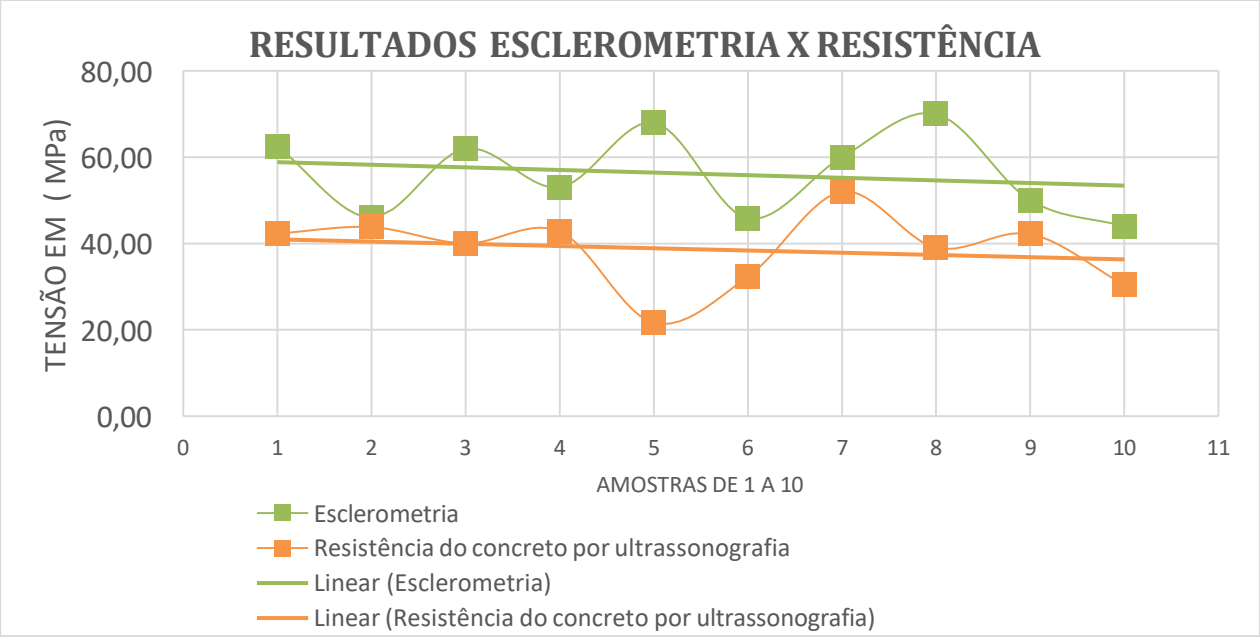


Figura 7 – Comparação dos resultados das resistências da esclerometria [9] x ultrassonografia [10].

Tabela 2 – Cobrimentos médios e área de aço em pilares e vigas. (ABNT NBR 6118:2023 [4] classe de agressividade ambiental)

Amostra	Elemento	Área da peça (cm²)	Cobrimento médio (mm)	Quantidade de barras	Diâmetro (mm)	As + As' (cm²)	As + As' %
1	Viga 32 (20x70)	1400	29,70	10	20	125,60	8,97
2	Pilar 50 (25x40)	1000	37,67	4	16	32,15	3,22
3	Pilar 49 (25x40)	1000	21,00	10	16	80,38	8,04
4	Pilar 36 (25x40)	1000	21,43	4	16	32,15	3,22
5	Pilar 16 (25x40)	1000	36,20	4	16	32,15	3,22
6	Viga 47 (18x70)	1260	35,80	10	16	80,38	6,38
7	Pilar 46 (20x40)	800	66,40	10	20	125,60	15,70
8	Viga 31 (15x60)	900	61,22	10	16	80,38	8,93

Tabela 3 – Resultados do ensaio de resistividade elétrica de Wenner.

Amostra	Elemento	Resistividade média (KΩ*cm)	Limite intervalar da resistividade (KΩ*cm)	Probabilidade de corrosão
1	Viga 32	28,2833	20~199,9	Pouco provável
2	Pilar 50	4,6250	≤ 5	Muito alto
3	Pilar 49	2,3167	≤ 5	Muito alto
4	Pilar 36	12,1167	10~20	Provável
5	Pilar 16	10,1000	10~20	Provável
6	Viga 47	15,4833	10~20	Provável
7	Pilar 46	8,5417	5~10	Alto
8	Viga 31	13,5000	10~20	Provável
9	Laje 11	22,3917	20~199,9	Pouco provável
10	Laje 8	10,4083	10~20	Provável

Tabela 4 – Resultados do ensaio de carbonatação.

Amostra	Elemento	Profundidade de carbonatação (mm)	VUP (ano)
1	Viga 32	16,0	12,65
2	Pilar 50	24,0	15,49
3	Pilar 49	13,0	11,40
4	Pilar 36	18,0	13,42
5	Pilar 16	8,0	8,94
6	Viga 47	20,0	14,14
7	Pilar 46	15,0	12,25
8	Viga 31	9,0	9,49
9	Laje 11	Sem carbonatação aparente	Apenas na amostra
10	Laje 8	10,0	10,00

4.3. Propostas de intervenção

Com base nos resultados dos ensaios não destrutivos (esclerometria, ultrassonografia, pacometria, resistividade elétrica e teste de carbonatação) e da inspeção visual realizada na edificação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) em Amargosa-BA, foram propostas intervenções para mitigar as patologias identificadas, incluindo fissuras (0,5–2 mm), carbonatação (profundidade média de 14,78 mm), corrosão de armaduras (80% das amostras com risco significativo) e falhas de concretagem (20% das amostras). As medidas, alinhadas às diretrizes da ABNT NBR 6118:2023 [4] e da literatura especializada (HELENE, 2003 [1]; FIB, 2021 [3]), visam restaurar a durabilidade e a segurança estrutural, minimizando custos e impactos ambientais.

Para as armaduras corroídas, detectadas em 80% dos elementos com resistividade elétrica inferior a 20 kΩ·cm (Tabela 3), propõe-se a limpeza mecânica das barras afetadas, remoção de óxido e aplicação de inibidores de corrosão, seguida de proteção com argamassa polimérica de alta aderência. Essa abordagem, recomendada por Helene (2003) [1], restaura a passivação das armaduras e previne a progressão da corrosão, especialmente em elementos com cobrimento insuficiente (< 30 mm, Tabela 2), que não atendem aos requisitos da ABNT NBR 6118:2023 [4] para ambientes de classe de agressividade ambiental II (CAA II).

O reforço estrutural é indicado para vigas e pilares com fissuras significativas (0,5–2 mm, Figura 3) e superdimensionamento (As + As' > 4% em quatro elementos, Tabela 2), que indicam tensões excessivas e recalques diferenciais. Propõe-se a aplicação de fibras de carbono (CFRP) em áreas críticas, como vigas e lajes, devido à sua alta resistência e facilidade de instalação, conforme preconizado por FIB (2021) [3]. Em casos de maior severidade, como no pilar 46 (As + As' = 15,7%), chapas metálicas podem ser usadas para aumentar a capacidade portante, seguindo as orientações da ABNT NBR 6118:2023 [4]. Essas técnicas visam restaurar a integridade estrutural e prevenir falhas catastróficas (PEREIRA, 2019) [2].

A impermeabilização das superfícies expostas é essencial para evitar infiltrações e nova carbonatação, considerando a presença de umidade ascendente (Figura 2) e a profundidade média de carbonatação de 14,78 mm (Tabela 4). Propõe-se a aplicação de revestimentos impermeáveis, como membranas epóxi ou poliuretano, em lajes, vigas e muros de contenção, conforme recomendado por Andrade (2018) [11]. Essa medida reduz a exposição a agentes agressivos (umidade, cloretos) em ambientes CAA II, prolongando a vida útil de projeto (VUP média estimada de 12,16 anos, Tabela 4).

As intervenções propostas abordam as causas das patologias – falhas de execução (má compactação, cobrimento insuficiente), exposição a agentes agressivos e ausência de manutenção preventiva – e são tecnicamente viáveis, conforme validado por estudos internacionais (ZHANG et al., 2023) [6]. Embora o estudo seja limitado a uma única edificação, as técnicas de recuperação e reforço são amplamente aplicáveis a estruturas de concreto armado em ambientes tropicais, reforçando a importância de avaliações periódicas e manutenção preventiva para garantir a longevidade estrutural, conforme preconizado pela ABNT NBR 15575:2021 [18].

5. CONCLUSÃO

A análise estrutural da edificação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em Amargosa-BA, revelou que as principais manifestações patológicas – fissuras (0,5–2 mm), carbonatação (profundidade média de 14,78 mm), corrosão de armaduras (80% das amostras com risco significativo) e falhas de concretagem (20% das amostras) – decorrem de falhas de execução, como cobrimento insuficiente (< 30 mm em 50% dos elementos) e má compactação, exposição a agentes agressivos (umidade, cloretos em ambiente CAA II, conforme ABNT NBR 6118:2023 [4]), e ausência de manutenção preventiva. A metodologia empregada, baseada em inspeção visual detalhada e ensaios não destrutivos (esclerometria, pacometria, ultrassonografia, resistividade elétrica e teste de carbonatação), demonstrou alta eficácia no diagnóstico dessas anomalias, com resistências médias de 56,13 MPa (esclerometria) e 38,64 MPa (ultrassonografia), superando o fck mínimo de 25 MPa exigido para ambientes CAA II.

As intervenções propostas, incluindo a limpeza e proteção de armaduras corroídas com argamassa polimérica, reforço estrutural com fibras de carbono em vigas e pilares críticos, e impermeabilização com revestimentos epóxi para mitigar infiltrações, são tecnicamente viáveis e alinhadas às diretrizes da ABNT NBR 6118:2023 [4] e da literatura especializada (HELENE, 2003 [1]; FIB, 2021 [3]). Essas medidas visam restaurar a durabilidade da estrutura, cuja vida útil de projeto foi estimada em 12,16 anos, indicando a necessidade urgente de reparos para evitar a progressão das patologias. Mais importante, a implementação de um plano de manutenção periódica.

REFERÊNCIAS

[1] HELENE, P. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2003.

[2] PEREIRA, M. **Análise das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado**. *Revista Engenharia Civil*, v. 12, n. 3, p. 67-75, 2019.

[3] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. fib Bulletin 102: **Service life design for concrete structures**. Lausanne: fib, 2021.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

[5] VIEIRA, M. A. **Patologias construtivas: conceito, origens e método de tratamento**. *Revista Especialize On-line IPOG*, Goiânia, v. 12, n. 1, 2016. Disponível em: https://www.ipog.edu.br/revista-especialize/patologias-construtivas-conceito-origens-e-metodo-de-tratamento. Acesso em: 15 abr. 2025.

[6] ZHANG, Y. et al. **Advanced monitoring techniques for corrosion assessment in reinforced concrete structures**. *Construction and Building Materials*, v. 356, p. 129-142, 2023.

[7] COSTA, A. **Diagnóstico e reparo de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

[8] RILEM TECHNICAL COMMITTEE. TC 154-EMC: **Electrochemical techniques for measuring corrosion in concrete**. Paris: RILEM, 2022.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR7584: **Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR8802: **Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro, 2019.

[11] ANDRADE, A. **Ensaios não destrutivos em estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 2018.

[12] SILVA, M. R. **Durabilidade de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: ABC Editora, 2010.

[13] OLIVEIRA, L. C. **Corrosão em estruturas de concreto armado**. Belo Horizonte: Editora Engenharia, 2015.

[14] SILVA, M. et al. **Aplicação da esclerometria na avaliação de resistência do concreto**. *Revista de Engenharia Civil*, v. 25, n. 3, p. 45-52, 2019.

[15] PEREIRA, L. **Técnicas de pacometria para inspeção estrutural**. *Jornal de Engenharia Estrutural*, v. 12, n. 1, p. 10-15, 2020.

[16] COSTA, R.; ALMEIDA, P. Ultrassonografia em ensaios não destrutivos de concreto. *Revista Brasileira de Engenharia Estrutural*, v. 23, n. 2, p. 78-85, 2017.

[17] LIMA, S. Resistividade elétrica do concreto e sua relação com a corrosão das armaduras. *Revista de Materiais de Construção*, v. 16, n. 4, p. 123-130, 2016.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

[19] SILVA, J. R. Avaliação da resistência do concreto por esclerometria. *Revista Engenharia Civil*, v. 15, n. 2, p. 45-52, 2010.

[20] OLIVEIRA, M. A. Ultrassonografia em estruturas de concreto: métodos e aplicações. *Revista Estruturas*, v. 22, n. 4, p. 123-130, 2018.

[21] PEREIRA, L. S.; SANTOS, R. A. Durabilidade do concreto armado: avaliação por resistividade elétrica. *Revista Materiais de Construção*, v. 9, n. 3, p. 67-75, 2019.

[22] LIBÓRIO, J. B. L. Patologia e recuperação das estruturas de concreto. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

[23] SANTOS, C. F. Patologia de estruturas de concreto armado. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

[24] TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. Inspección, diagnóstico y prognóstico en la construcción civil. *Boletín Técnico ALCONPAT Internacional*, Mérida, México, 2013.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-33

ÁREA TEMÁTICA: PATOLOGIA E VIDA ÚTIL

MAPA DE DANOS EM EDIFICAÇÕES EM ZONAS DE TOMBAMENTO: ESTUDO DE CASO DE UM IMÓVEL EM ÁREA DE PRESERVAÇÃO NO MUNICÍPIO DO RECIFE PERNAMBUCO

SANTOS, Lia[1]; BRITO, Isaac[2]

[1] Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, edra.liasantos@gmail.com,0009-0006-6049-3523
[2] Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, isab@poli.br,0000-0002-9149-870X

RESUMO

Este artigo apresenta um mapeamento de danos e o diagnóstico das principais patologias construtivas em um imóvel localizado em área de preservação histórica no Recife (PE). Justifica-se pela necessidade de conciliar a proteção do patrimônio com a segurança estrutural e o uso comercial. O objetivo é identificar e classificar as anomalias, avaliando seus riscos e propondo intervenções adequadas, segundo a NBR 13752 e as diretrizes do IPHAN. Metodologicamente, foram realizados levantamentos documentais, vistorias de campo e a elaboração de um Mapa de Danos, o qual mapeou fissuras, infiltrações e marquises comprometidas. Os resultados apontaram predominância de situações enquadradas como "Risco à Vida", sugerindo urgência de ações corretivas e a importância de um plano de manutenção preventiva. Conclui-se que a preservação do valor cultural do imóvel está intrinsecamente ligada a um diagnóstico criterioso, bem como à adoção de práticas de restauro que integrem segurança e conservação arquitetônica.

Palavras-chave: Patrimônio histórico; Vistoria predial; Preservação arquitetônica; Mapa de danos.

ABSTRACT

This article presents a damage mapping and diagnosis of the main building pathologies in a property located in a historical preservation area in Recife (PE). The study is justified by the need to reconcile heritage protection with structural safety and commercial use. The objective is to identify and classify anomalies, assess their risks, and propose suitable interventions according to NBR 13752 and IPHAN guidelines. Methodologically, documentary research, on-site inspections, and the development of a Damage Map were carried out to register fissures, infiltrations, and compromised canopies. The results indicate a predominance of situations classified as "Life Risk," highlighting the urgency of corrective actions and the importance of a preventive maintenance plan. It is concluded that the preservation of the cultural value of the property is intrinsically linked to a thorough diagnosis and the adoption of restoration practices that integrate safety and architectural conservation.

Keywords: Historic heritage; Building inspection; Architectural preservation; Damage mapping.

1. INTRODUÇÃO

As áreas centrais das cidades brasileiras, em especial aquelas com valor histórico e cultural, demandam um cuidado contínuo no que se refere à preservação e à conservação de suas edificações. Em Recife (PE), o Bairro de Santo Antônio apresenta um significativo conjunto arquitetônico que remonta aos períodos colonial e republicano, compondo parte de uma Zona Especial de Preservação Histórica (ZEPH) [1]. Essas Zonas são fundamentais para garantir que áreas históricas sejam protegidas contra a destruição e degradação, promovendo a conservação e o uso sustentável dos patrimônios [2]. A gestão eficaz das ZEPH envolve a identificação de danos e a implementação de políticas públicas que incentivem a conservação, como incentivos fiscais para manutenção e restauração [3]. Diversos estudos apontam que, no Brasil, imóveis tombados ou inseridos em zonas de preservação sofrem processos de degradação acelerada, sobretudo quando passam a abrigar usos comerciais sem prévia adaptação técnica [5] [6]. No caso específico do objeto desse estudo verificou-se esse mesmo cenário: intervenções realizadas sem respaldo em projeto de restauro, aliadas à inexistência de rotinas formais de manutenção, desencadearam patologias recorrentes em bens históricos brasileiros, tais como fissuras em elementos estruturais, infiltrações crônicas, marquises comprometidas, instalações elétricas irregulares e sobrecarga em pisos de madeira. Conforme observado por [7] Ao analisar o patrimônio recifense, tais anomalias não apenas reduzem a vida útil dos sistemas construtivos, mas também representam ameaça concreta à segurança dos ocupantes e à salvaguarda do valor cultural do edifício.
Adicionalmente, o fato de o imóvel em estudo encontrar-se no entorno de bens tombados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) exige que quaisquer propostas de intervenção sigam o conjunto de normas e leis que amparam a preservação do patrimônio. Entre elas, destacam-se as diretrizes do Decreto-Lei 25/1937 e a Portaria nº 420/2010 do IPHAN, bem como normas técnicas de inspeção predial, como a NBR 13752. Portanto, compreender e registrar adequadamente os danos não é apenas uma questão de segurança estrutural, mas também de salvaguarda do valor cultural e arquitetônico, contribuindo para a elaboração de projetos de restauro que conciliem a preservação histórica com a demanda de uso contemporâneo. Diante disso, este trabalho tem como objetivo principal apresentar o mapeamento de danos e diagnosticar as principais patologias construtivas de um imóvel situado em área protegida de Recife, oferecendo subsídios técnicos para intervenções futuras. Ao longo deste artigo, serão discutidos os métodos de vistoria empregados, as principais anomalias detectadas e as recomendações de reparo, tendo em vista garantir a segurança dos usuários e a manutenção das características originais que conferem valor histórico à edificação.

2. METODOLOGIA

A abordagem metodológica para o mapeamento e análise dos danos no imóvel localizado em Zona Especial de Preservação Histórica (ZEPH) envolveu essencialmente quatro etapas principais: (1) pesquisa documental e histórica; (2) levantamentos em campo; (3) registro e classificação das patologias construtivas; e (4) sistematização dos dados para elaboração do Mapa de Danos. Em todas as fases, foram observadas as recomendações da NBR 13752 (Perícias de Engenharia na Construção Civil), bem como as normas e diretrizes de preservação patrimonial do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e DPPC Diretoria de Preservação do Patrimônio Cultural da Prefeitura do Recife.

2.1 Pesquisa Documental e Histórica

Levantamento de Notificações e Documentos Oficiais: Inicialmente, foram analisadas as notificações emitidas por órgãos municipais (DIRCON, CODECIR) relativas às condições de conservação e ameaça à segurança do imóvel. Além disso, foram consultados documentos de propriedade do imóvel e do DPPC (Departamento de Preservação do Patrimônio Cultural), incluindo plantas datadas de 1921 e 1927, as quais forneceram dados sobre a configuração original das edificações. Foram identificadas e estudadas as legislações pertinentes, como o Decreto-Lei n.º 25/1937 (proteção de bens de valor histórico e artístico) e a Portaria IPHAN n.º 420/2010, para embasar o entendimento das exigências de intervenção em áreas de entorno de bens tombados bem como a legislação municipal.

2.2 Levantamentos em Campo

As inspeções presenciais ocorreram em datas distintas (09, 11, 14 e 16 de outubro de 2019) de modo a garantir a observação das condições físicas do imóvel sob diferentes cenários de uso. Participaram dessas visitas engenheiros civis e arquitetos, assegurando uma avaliação multidisciplinar. Em cada vistoria, realizaram-se registros fotográficos sistemáticos das fachadas, ambientes internos, cobertura e elementos estruturais, além de anotações quanto a fissuras,

trincas, infiltrações, sobrecargas e outros indícios de deterioração. Esses registros foram organizados em quadros fotográficos, de modo a documentar a evolução do estado de conservação. Para subsidiar a futura elaboração de projetos, foram realizadas medições de vãos, alturas, espessuras de paredes, bem como a verificação dos materiais construtivos aparentes. A partir desses dados, produziram-se plantas atualizadas e cortes esquemáticos, confrontando-se com as plantas históricas do imóvel.

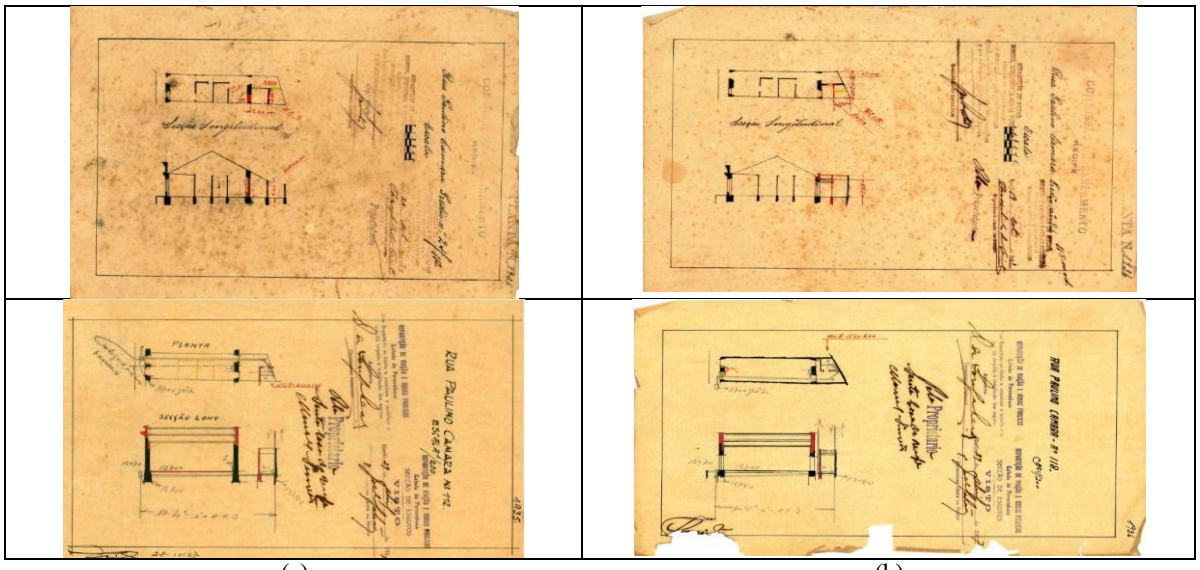
2.3 Sistematização dos Dados e Elaboração do Mapa de Danos

Os registros fotográficos e as marcações feitas em campo foram compilados em um documento único, o "Mapa de Danos", que apresenta a localização precisa de cada anomalia nas fachadas. Paralelamente, foi realizada uma verificação cruzada das informações com as exigências legais e normativas para imóveis em ZEPH, verificando se as intervenções passadas e futuras atenderiam às diretrizes de preservação. As conclusões parciais foram apresentadas aos proprietários e aos inquilinos do imóvel para confirmação da coerência dos achados e levantamento de informações adicionais não acessíveis na fase inicial.

3. RESULTADOS E DISSCUSSÃO

3.1 Levantamento documental do imóvel

Foram obtidas informações sobre a origem da edificação, constando em registros que remontam ao início do século XX (Figura 1). Os arquivos analisados incluem plantas antigas das edificações geminadas e correspondências internas elaboradas durante a vigência da Comissão de Saneamento chefiada pelo engenheiro Francisco Saturnino de Brito, que tratam das adequações projetadas para a ligação dos imóveis do Recife ao sistema de saneamento a ser instalado. As plantas de 1921 e 1927 (figura 1), fornecidas pelo DPPC (Departamento de Preservação do Patrimônio Cultural), indicam a configuração mais próxima ao original das casas térreas, permitindo ver as alterações sucessivas de uso e estrutura ao longo do tempo. Destacam-se as modificações de telhado, originalmente em duas águas apoiado nas alvenarias laterais, caimento para a frente e fundos da edificação, a cumeeira elevada em relação aos beirais e telhado em telhas cerâmicas, capa e canal. Esse conjunto de coberta foi substituído por um outro telhado, extemporâneo, onde foi alterado o caimento para as laterais da edificação e de telhas cerâmicas por fibrocimento



(a) (b)

Figura 1 – Planta Projeto 1921 (a) e (b) Planta Projeto 1927. Fonte: Elaborado pelos autores

Comparando as plantas originais (1921 e 1927) com as elevações atuais, observou-se a transição do uso residencial para comercial, bem como o alargamento de vãos na fachada (incluindo vitrines e portas metálicas de enrolar), conforme ilustrado na Figura 2. A principal alteração estrutural detectada foi a substituição do telhado original em duas águas por coberturas em fibrocimento, além do fechamento de áreas externas para criação de depósitos e oficinas. Essas

intervenções resultaram em mudanças significativas na ventilação, iluminação e estabilidade da edificação, evidenciadas posteriormente no Mapa de Danos.

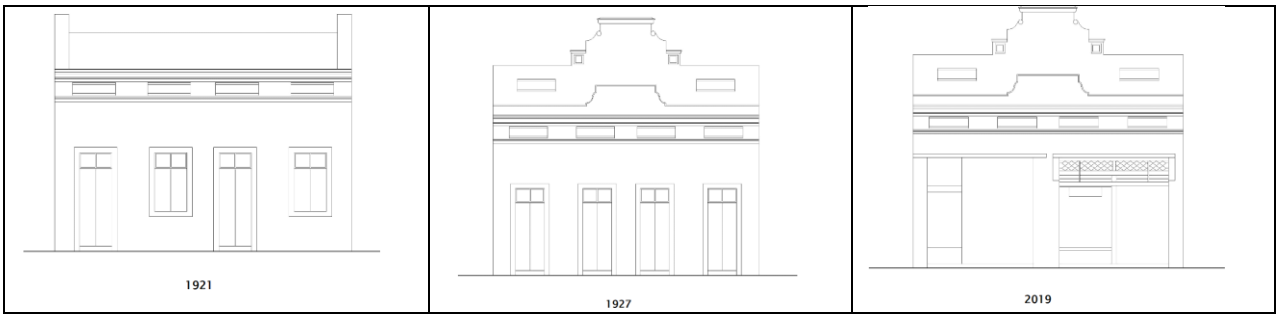


Figura 2 – Alteração da fachada ao longo do tempo. Fonte: Elaborado pelos autores

Ao analisar esses documentos em conjunto, obteve-se uma visão sistêmica do histórico de ocupação e das múltiplas intervenções já realizadas no imóvel, ressaltando a complexidade de conciliar a preservação de um bem em área protegida com a necessidade de adaptá-lo a novos usos. Esse levantamento documental, portanto, serviu como base essencial para o planejamento das vistorias de campo e para a elaboração do Mapa de Danos, permitindo situar cada patologia identificada em um contexto mais amplo de transformações arquitetônicas e de exigências legais.

3.1 Vistoria no Imóvel

A vistoria presencial constituiu a segunda etapa da metodologia, sucedendo o levantamento documental e histórico. Ao longo de quatro dias de inspeção (09, 11, 14 e 16 de outubro de 2019), foram verificadas as condições estruturais, de revestimento e de instalação elétrica/hidrossanitária, entre outros aspectos relevantes para a avaliação técnica. A equipe, composta por um engenheiro civil, uma arquiteta e profissionais de apoio, adotou procedimentos de observação detalhada em todos os ambientes, o que permitiu registrar variações de temperatura, intensidade de uso e eventuais infiltrações resultantes de chuvas pontuais. Durante as visitas, cada ponto problemático foi fotografado em ângulos diferentes e anotado em um caderno de campo, assegurando a correspondência posterior com o Mapa de Danos. Foram coletados dados dimensionais, especialmente a largura dos vãos, a espessura das paredes e a altura de pé-direito, além de informações sobre as fissuras verificadas, sua abertura e inclinação. Na figura 3, observa-se a variação de altura da platibanda, elemento introduzido no início do século XX com as novas posturas municipais e proibição do lançamento das águas de chuva diretamente nos passeios, conforme observado nas elevações na figura 2. Na figura 3 é possível, também, visualizar algumas das manifestações patológicas encontradas.



Figura 3 – Altura das Platinbandas conforme as obras de ampliação. Fonte: Elaborado pelos autores

Cada anomalia identificada recebeu uma classificação de risco compatível com a gravidade do problema, o que torna possível priorizar as intervenções estruturais ou de reparo. Esse cruzamento entre as fotografias, as medições tomadas in

loco e as plantas atualizadas oferece uma visão coerente e objetiva do estado atual da edificação, viabilizando a adoção de medidas corretivas de forma tecnicamente fundamentada e de acordo com as exigências de preservação patrimonial.

3.2.1 Classificação do risco das condições físicas de utilização

Em consonância com as normas técnicas e visando garantir uma avaliação sistemática, adotou-se, neste estudo, uma classificação tripartida dos danos observados, de modo a priorizar a segurança e a integridade física dos usuários, bem como a preservação do imóvel. Para cada anomalia ou patologia constatada, atribuiu-se um dos seguintes níveis de risco, apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Classificação do risco por tipo de manifestação patológica

Tipo do Risco	Descrição
I	Indica anomalias que, embora não ofereçam ameaça imediata de colapso, podem evoluir para situações mais graves caso não sejam corrigidas. O acompanhamento periódico por profissional habilitado e a execução de reparos preventivos são recomendados para evitar deterioração progressiva.
II	Corresponde a manifestações construtivas com potencial significativo de comprometimento estrutural ou funcional. Nesses casos, há necessidade de acompanhamento especializado em curto prazo, visto que o agravamento da anomalia pode conduzir a perdas materiais e, em última instância, a riscos aos ocupantes.
III	categoria atribuída aos danos que, pela sua gravidade e iminência, colocam em perigo direto as pessoas que utilizam o imóvel. Nessa situação, ações emergenciais são imperativas, incluindo escoramentos, interdições temporárias ou reforço estrutural imediato.

Fonte: Elaborado pelos autores

Por motivos de confidencialidade, optou-se por não apresentar neste artigo as ocorrências exatas que se enquadram em cada nível de risco. Ainda assim, a adoção de um sistema de classificação reforça a importância de hierarquizar as anomalias conforme sua severidade, orientando o planejamento das intervenções. Dessa forma, as ocorrências enquadradas em “RISCO III” demandam atenção prioritária, enquanto aquelas classificadas como “RISCO I e II” podem ser sanadas mediante um plano de manutenção programada, mantendo-se a coerência técnica e metodológica. A mesma hierarquização viabilizou a elaboração de um cronograma estruturado para a recuperação e o restauro do imóvel, em que se contemplam inicialmente os danos mais críticos (RISCO III), seguidos das anomalias de menor gravidade. Além de tornar o processo de reparo mais racional e economicamente viável, a priorização das intervenções evidencia a necessidade de acompanhamento contínuo dos elementos construtivos, a fim de monitorar possíveis evoluções no quadro patológico e preservar tanto a integridade estrutural quanto o valor histórico da edificação.

3.1 Mapa de danos

Teve como finalidade representar, de maneira objetiva e sistemática, os problemas construtivos detectados nas fachadas dos imóveis. Esse material foi preparado em consonância com o Projeto de Legalização e Reforma, indicando não apenas os locais das anomalias, mas também a natureza de cada patologia, conforme legenda específica. Para orientar a análise visual, o mapa traz símbolos e marcações distribuídos sobre as fachadas, com legendas que classificam os tipos de danos mais recorrentes, como fissuras, trincas, manchas de umidade, erosão, lascamento e esfoliação. Assim, cada ocorrência recebe uma identificação padronizada, ao mesmo tempo em que se destacam pontos críticos da edificação com risco de desagregação ou desprendimento de material. Além disso, indica-se a presença de elementos considerados “espúrios”, que não fazem parte da configuração arquitetônica original e podem acelerar o processo de degradação das superfícies. A fim de facilitar a compreensão, a Tabela 2 apresenta a legenda utilizada no Mapa de Danos, diferenciando graficamente cada tipo de patologia por meio de cores e hachuras. Essa padronização permite ao leitor reconhecer de imediato a natureza dos problemas registrados e suas localizações exatas na fachada, auxiliando na definição de prioridades de reparo e na adoção de estratégias coerentes de restauração. Por exemplo, enquanto fissuras (indicadas por linhas avermelhadas) alertam para possíveis deslocamentos estruturais, manchas de umidade (evidenciadas em tons azuis ou violeta) apontam

a necessidade de revisões na cobertura ou nos sistemas de drenagem. Da mesma forma, a indicação de "elementos espúrios" sugere a remoção de acréscimos não originais que possam comprometer a integridade da edificação.

Tabela 2 – Hachuras utilizadas no mapa de danos

LEGENDA	HACHURA
Elemento espúrio	
Lixiviação	
Esfoliação	
Erosão	
Desagregação	
Lascamento	
Lacuna	
Mancha de umidade	
Sujidade	
Película	
Fissuras	

Fonte: Elaborado pelos autores

Logo após a adoção dessas hachuras e símbolos padronizados, torna-se viável não apenas a identificação pontual de cada dano, mas também a correlação entre diferentes patologias, possibilitando uma interpretação mais ampla das causas e consequências de cada ocorrência. Com isso, o responsável técnico pode facilmente mapear áreas mais suscetíveis a infiltrações, processos de desgaste ou fissurações estruturais, bem como definir prioridades de intervenção. Em última instância, essa representação visual objetiva e unificada do estado de conservação das fachadas reforça a importância de um planejamento integrado, que una medidas corretivas pontuais a ações de manutenção preventiva e de preservação do conjunto arquitetônico, garantindo maior eficiência na execução das obras e maior longevidade ao patrimônio edificado. A Figura 4 sintetiza a aplicação das hachuras e símbolos padronizados diretamente sobre a fachada, evidenciando o mapeamento das diferentes patologias e a localização exata de cada ponto crítico. A apresentação

sistemática desses danos visa facilitar o planejamento de intervenções, pois o arquivo inclui observações técnicas acerca de cada patologia, relacionando-as a potenciais causas (falta de manutenção, infiltrações, ação do tempo, sobrecarga mecânica, intervenções irregulares etc.). Dessa forma, os responsáveis técnicos podem, a partir da leitura do mapa, estabelecer prioridades e definir um cronograma de ações corretivas que envolva desde a remoção de elementos estranhos à fachada até o reparo de fissuras em marquises, as quais colocam em risco a integridade estrutural e a segurança dos pedestres.

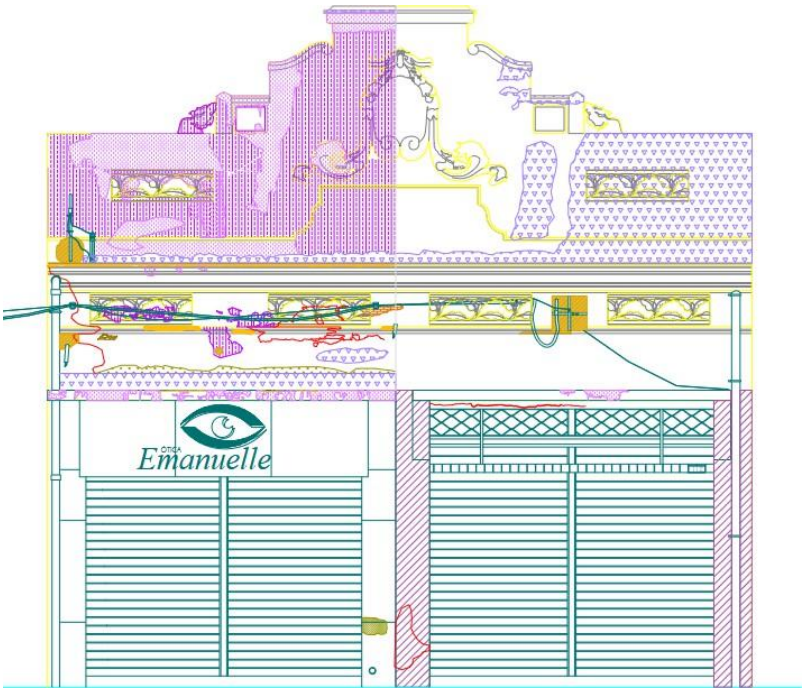


Figura 4 – Mapa de danos da fachada do imóvel motivo. Fonte: Elaborado pelos autores

Outro aspecto relevante é a compatibilização dessas informações com os requisitos de Zoneamento Especial de Preservação Histórica (ZEPH) e as diretrizes do IPHAN para bens localizados em entorno de patrimônio tombado. Ao evidenciar as condições visuais das fachadas, o Mapa de Danos reforça a necessidade de intervenções que respeitem a leitura histórica do conjunto, preservando ornamentos e acabamento originais. Uma simples mancha de umidade ou trinca, em áreas sensíveis como marquises e platibandas, não se configura meramente como problema estético, mas também como risco potencial de desprendimento de reboco ou outras partículas. Dessa maneira, a correção imediata dessas patologias é imprescindível para evitar agravos à estrutura, danos ao patrimônio e acidentes envolvendo pedestres.
Desse modo, o Mapa de Danos cumpre uma dupla função. Primeiramente, fornece um diagnóstico técnico detalhado, norteando as intervenções de curto, médio e longo prazo. Em segundo lugar, ao relacionar cada patologia com o contexto histórico e normativo, auxilia a harmonizar as medidas de reparo com as exigências de preservação. Tal abordagem fundamenta a elaboração de um projeto integrado, em que aspectos de estabilidade e segurança sejam cuidadosamente ponderados em conjunto com a salvaguarda dos elementos arquitetônicos originais. Por fim, esse documento orienta não apenas os agentes envolvidos na restauração, mas também gestores públicos e proprietários, salientando a importância de um plano de manutenção preventiva contínuo, garantindo a longevidade e o valor cultural dos imóveis em questão.

3.4 Análise crítica dos resultados

O predomínio de ocorrências classificadas como RISCO III (53 %) revela um quadro mais crítico que o relatado em estudos semelhantes realizados em centros históricos brasileiros, onde a média de danos de risco elevado varia entre 25 % e 40 % [6] [7] Tal diferença pode ser atribuída à conjugação de dois fatores: (i) a conversão do uso residencial para comercial sem um plano de adaptação prévio e (ii) a inexistência de rotinas formais de manutenção preventiva, situação já mencionada por [10] como recorrente em imóveis privados de valor cultural. Observa-se ainda que 35 % dos danos críticos concentram-se em marquises e platibandas, corroborando as conclusões de [8] sobre a vulnerabilidade desses elementos a impactos climáticos e infiltrações frequentes em fachadas históricas. Essas patologias indicam falhas sistêmicas no escoamento de águas pluviais, confirmadas pelas manchas de umidade mapeadas em 28 pontos distintos.

A literatura indica que a umidade persistente acelera a lixiviação de argamassas à base de cal, reduzindo a resistência mecânica em até 30 % [9]. Do ponto de vista da gestão do risco, a hierarquização proposta permite comparar a severidade dos danos locais com parâmetros recomendados por [11] para edificações de alvenaria histórica. Aplicando-se o fator de ponderação sugerido pelo autor (k = 0,4 para danos superficiais e k = 0,8 para danos estruturais), o índice de criticidade global do imóvel alcança 0,67, valor que se encontra na faixa "intervenção urgente" (≥ 0,60). Comparativamente a outros estudos de mapeamento de danos [12] [13], nota-se que a fase de inspeção do presente trabalho contemplou quatro visitas em dias diferentes, o que reduziu o risco de falsa interpretação de manifestações sazonais. Essa prática é recomendada pelas diretrizes do [14] e, segundo [15] aumenta em 15 % a confiabilidade do diagnóstico. Por fim, cabe salientar que a omissão deliberada de dados pontuais – exigência do proprietário – não prejudicou a robustez da análise, pois a discussão foi embasada em indicadores agregados, seguindo o modelo de apresentação de resultados sigilosos sugerido por [6].

4. CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que a simples elaboração de um Mapa de Danos, embora fundamental, é insuficiente quando desacompanhada de análise crítica. Ao aplicar uma hierarquização de riscos e compará-la com dados obtidos na literatura, comprovou-se que o imóvel apresenta um índice de criticidade (0,67) compatível com a categoria "intervenção urgente". A maior incidência de patologias em marquises e platibandas reforça a necessidade de medidas de impermeabilização e revisão do sistema de drenagem, alinhadas às recomendações de [8] [9].

A análise comparativa mostrou que o percentual de danos de RISCO III (53 %) supera a média relatada para edificações similares em centros históricos brasileiros (25–40 %), indicando que a ausência de manutenção preventiva e adaptações inadequadas ao uso comercial agravam o quadro patológico. Propõe-se um plano de gerenciamento do ciclo de vida composto por: (i) intervenções emergenciais nos pontos de RISCO III; (ii) inspeções semestrais dos elementos críticos; (iii) monitoramento de fissuras; e (iv) obras graduais de impermeabilização e melhoria do escoamento pluvial, em consonância com as diretrizes do IPHAN e do DPPC.

Do ponto de vista acadêmico, o trabalho contribui ao integrar mapeamento gráfico, hierarquização de risco e indicadores de criticidade, oferecendo metodologia replicável para outros bens tombados. Além disso, a compatibilização dos resultados com estudos recentes [3] [5] [6] reforça a pertinência de planos de manutenção preventiva baseados em risco. Pesquisas futuras poderão explorar técnicas não destrutivas para validar e complementar o diagnóstico visual, bem como desenvolver modelagens numéricas de confiabilidade residual para alvenarias históricas. Em síntese, a preservação do valor cultural do imóvel depende de intervenções fundamentadas, contínuas e integradas, capazes de conciliar segurança estrutural, funcionalidade contemporânea e salvaguarda patrimonial.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos familiares, amigos e colegas de trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] MOREIRA, F. (2016). **The Transformation of the Santo Antonio District, in Recife, Brazil**, (1938-1949). , 17, 173-184. https://doi.org/10.7480/IPHS.2016.1.1202.

[2] OERS, R. (2001). **The Dutch Urban Heritage of Recife, Pernambuco, in Brazil**. Journal of Architectural Conservation, 7, 56-71. https://doi.org/10.1080/13556207.2001.10785286.

[3] AMORIM, E., LORDSLEEM, A., DE MENEZES, T., DE MORAIS SAMPAIO, G., & MONTEIRO, E. **Proposta de intervenção para a conservação e restauro da Capela do Brum (Recife/PE)**. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades. 2024 DOI: doi.org/10.17271/23188472128620245309.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13752:2024 – Perícias de engenharia na construção civil**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

[5] DIAS, Rodrigo; GENTILINI, Cristina. Preventive maintenance in Brazilian heritage buildings. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 35-49, 2019. DOI: 10.1590/S1678-86212019000400336.

[6] GENTILINI, Cristina. **Risk-based maintenance planning for heritage buildings.** ***International*** *Journal of Architectural Heritage*, Abingdon, v. 12, n. 4, p. 623-640, 2018. DOI: 10.1080/15583058.2017.1339384.

[7] OERS, R. **The Dutch urban heritage of Recife, Pernambuco, in Brazil**. Journal of Architectural Conservation, Abingdon, v. 7, n. 2, p. 56-71, 2001. DOI: 10.1080/13556207.2001.10785286.

[7] BINDA, Luigi; MAIER, Giampiero. **Damage and repair of historic masonry structures**. *Construction and Building Materials*, Oxford, v. 13, n. 2, p. 65-75, 1999. DOI: 10.1016/S0950-0618(99)00003-6.

[8] THOMAZ, Eduardo de Moraes. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 2. ed. São Paulo: PINI; Escola Politécnica da USP; IPT, 1989.

[9] FEIO, A.; LOURENÇO, P. Moisture effects on lime mortars. *Journal of Cultural Heritage*, Paris, v. 15, n. 3, p. 345-351, 2014. DOI: 10.1016/j.culher.2013.07.002.

[10] AMORIM, E.; LORDSLEEM, A.; MENEZES, T. de; SAMPAIO, G. de M.; MONTEIRO, E. Proposta de intervenção para a conservação e restauro da Capela do Brum (Recife/PE). *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, São Paulo, 2024. DOI: 10.17271/23188472128620245309.

[11] LOURENÇO, Paulo B. *Principles of conservation engineering in masonry*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2022.

[12] McNAMARA, Andrew; HARVEY, Brendan. Statistical damage mapping in historic façades. *Building Research & Information*, London, v. 48, n. 1, p. 50-66, 2020. DOI: 10.1080/09613218.2019.1606451.

[13] SILVA, João; VARELA, Nuno; PEREIRA, Marta. Structural pathology in colonial-era buildings. *Materials and Structures*, Cham, v. 54, n. 2, p. 121-134, 2021. DOI: 10.1617/s11527-021-01647-9.

[14] INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES – ICOMOS. *Guidelines on heritage impact assessment*. Paris, 2019.

[15] VARELA, Nuno; PEREIRA, Marta. Reliability index for masonry heritage. *Engineering Structures*, Oxford, v. 268, art. 114791, 2023. DOI: 10.1016/j.engstruct.2022.114791.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-37

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida útil

Metodologia para diagnóstico e reabilitação de patologias em sistemas de revestimento cerâmico em fachadas

WINGERTER, Eduardo Laterza[1]; ABOELKHEIR, Mostafa Galal[2]

[1] Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil – Universidade São Judas Tadeu (USJT), São Paulo – SP, Brasil, edu.wingerter@gmail.com, n° do ORCID: 0009-0000-3856-3544
[2] Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil – Universidade São Judas Tadeu (USJT), São Paulo – SP, Brasil, prof.mostafamohamed@ulife.com.br, n° do ORCID: 0000-0002-5084-7379

RESUMO

Este artigo propõe uma metodologia integrada de diagnóstico e reabilitação de falhas de aderência em revestimentos cerâmicos de fachadas, fundamentada em normas brasileiras (ABNT NBR 16747:2020, 13755:2017 e 13528:2020 e em princípios da engenharia diagnóstica. O procedimento incluiu planejamento da inspeção (levantamento de documentos e amostragem), vistoria visual e percussão "*in loco"*, ensaios normativos de pull-off e resistência superficial, revisão crítica da literatura e análise normativa. No estudo de caso, identificaram-se erros de execução, falta de juntas de movimentação e manutenção deficiente como causas do desplacamento. A sequência de remoção seletiva, preparo rigoroso do substrato (lixamento, limpeza e ponte polimérica), recomposição do emboço e assentamento com argamassa AC-III, seguido de rejuntamento e selagem de juntas, restabeleceu a integridade e a segurança da fachada. Os resultados ressaltam a eficácia de programas sistemáticos de inspeção e manutenção, apoiados em critérios normativos, para prolongar a vida útil do sistema e reduzir riscos técnicos, econômicos e legais.

Palavras-chave: desplacamento de revestimento cerâmico; fachadas; patologias construtivas; inspeção predial; ensaios de aderência; reabilitação.

ABSTRACT

This paper presents an integrated methodology for diagnosing and rehabilitating adhesion failures in ceramic façade claddings, grounded in Brazilian standards (ABNT NBR 16747, 13755 and 13528) and diagnostic-engineering principles. The approach comprised inspection planning (document review and representative sampling), on-site visual and percussion surveys, pull-off and surface-strength tests, a critical literature review and normative analysis. In the case study, execution errors, absence of movement joints and poor preventive maintenance were identified as key factors in the observed tile detachment. The rehabilitation protocol, selective removal of failed areas, rigorous substrate preparation (grinding, cleaning and application of a polymeric bonding bridge), render replacement, tile setting with AC-III adhesive and comprehensive joint sealing, successfully restored façade integrity and safety. The findings underscore the value of systematic inspection and maintenance programs, aligned with normative criteria, in extending service life and reducing technical, economic and legal risks.

Keywords: ceramic cladding detachment; facades; construction pathologies; building inspection; adhesion tests; rehabilitation..

1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos cerâmicos de fachada constituem a primeira linha de defesa de uma edificação. Protegem contra chuva, variações térmicas, agentes químicos e ações mecânicas, enquanto também colaboram com o conforto termoacústico e a expressão arquitetônica do edifício. A vida útil desse sistema vincula-se diretamente à seleção apropriada dos materiais, à execução controlada e à manutenção programada.

Quando qualquer uma dessas etapas falha, tornam-se frequentes manifestações como desplacamentos, infiltrações e fissuras. Tais problemas elevam despesas de reparo, colocam usuários em risco e geram disputas contratuais, além de afetar a imagem de construtoras e incorporadoras.

O desplacamento, em especial, resulta de fatores combinados: projeto deficiente, juntas de movimentação ausentes ou mal dimensionadas, argamassas inadequadas e exposição a ambientes agressivos, casos típicos de regiões litorâneas ou centros urbanos poluídos. Estudos de referência mostram que inspeções técnicas regulares e manutenções preventivas poderiam evitar grande parte dessas ocorrências [1,2]. Ainda assim, a literatura carece de revisões que reúnam, em um único corpo, causas predominantes, métodos diagnósticos aplicáveis e estratégias de reabilitação validadas em diferentes contextos normativos.

Este artigo propõe uma metodologia integrada de diagnóstico e reabilitação para fachadas cerâmicas. O procedimento combina análise normativa, inspeção em campo e ensaios de desempenho, sendo apresentado por um estudo de caso. O objetivo é oferecer subsídios técnicos que permitam intervenção oportuna, prolonguem a durabilidade do sistema e reduzam riscos associados ao uso da edificação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de levantar os principais conceitos, mecanismos de falha, critérios normativos e soluções de reabilitação para revestimentos cerâmicos em fachadas. As fontes utilizadas incluíram normas técnicas da ABNT NBR 13528:2019, NBR 13749:2013, NBR 13753:1996 e NBR 13755:2017, além de artigos científicos nacionais e internacionais, dissertações acadêmicas, relatórios de engenharia diagnóstica e publicações técnicas da área de patologia das construções [3,4,5,6].

2.1 Composição do sistema de revestimento cerâmico para fachadas

Um revestimento cerâmico de fachada é montado em camadas sucessivas, cada qual com função específica e dependente da anterior. A satisfatória performance do conjunto requer, desde o início, compatibilidade entre materiais, execução cuidadosa e respeito às recomendações normativas. A sequência de camadas do revestimento é descrita a seguir:

i. Substrato estrutural: Pode ser de alvenaria (blocos cerâmicos ou de concreto) ou de concreto armado. Precisa apresentar resistência mecânica adequada, base limpa e isenta de óleos ou desmoldantes, rugosidade suficiente para ancoragem e teor de umidade controlado.
ii. Camada de preparo: Responsável por criar ligação entre substrato e emboço. Chapisco convencional é indicado para bases mais porosas, formando superfície áspera por meio de argamassa cimento-areia fluida.
iii. Ponte de aderência: é preferível em concreto liso; usa argamassa modificada com polímeros ou acrílicos para garantir fixação química.
iv. Emboço (regularização): Corrige imperfeições do substrato, entrega planicidade e verticalidade e deve ter espessura entre 15 mm e 25 mm [4], com cura mínima de 14 a 28 dias. Pode receber aditivos que reduzam retração e fissuração.
v. Argamassa colante: Une a placa cerâmica ao emboço. Em fachadas, adotam-se argamassas AC-II ou AC-III [7] aplicadas com desempenadeira dentada (dentes ≥ 8 mm em peças grandes) em camada de 3 a 5 mm, observando tempo em aberto e, se necessário, dupla colagem.
vi. Placas cerâmicas: São o acabamento e a proteção final. Devem atender à NBR 13818[8]: absorção de água ≤ 6 % (grupos BIIa ou BIa), alta resistência a choque térmico, abrasão e impacto, além de estabilidade dimensional e controle visual rigoroso .
vii. Juntas: Essenciais para dissipar tensões. Juntas de assentamento entre placas; largura mínima de 3 mm, rejunte flexível. Juntas de movimentação definidas em projeto; junto a vigas, pilares, bordas de painéis e mudanças de

geometria; painel máximo entre 12 m² e 20 m² conforme orientação solar. Largura de 5 a 10 mm, selantes elásticos de poliuretano, silicone ou híbridos.

viii. Rejunte: Fecha as juntas de assentamento, protege contra infiltrações e compõe o aspecto visual. Rejuntes flexíveis, à base de cimento polimérico ou epóxi, acompanham movimentações sem fissurar. Inspeções periódicas devem verificar trincas ou perda de material, pois a integridade do rejunte impacta diretamente a durabilidade do sistema.

2.2 Causas do descolamento de revestimento cerâmico

Os estudos revisados convergem no reconhecimento de que a perda de aderência das placas cerâmicas decorre, principalmente, de falhas de execução.) Um estudo publicado em 2023 relatou resistências abaixo de 0,30 MPa quando o substrato não recebeu preparo adequado, as placas foram assentadas de forma deficiente e o rejunte apresentou falhas; o problema atingiu a totalidade dos pontos do Edifício A e 79 % do Edifício B [9]. De forma semelhante, Autores constataram descolamento em cerca de 25 % das fachadas avaliadas, sobretudo nas faces mais expostas, onde as tensões térmicas agravam a perda de aderência [10]. Ensaios realizados em um estudo recente reforçam a importância da compatibilidade entre materiais: fissuras de 30 mm reduziram a aderência em até 70 %, fixando a energia de fratura da interface em 0,053 ± 0,031 J [11].

A ausência de juntas de movimentação agrava o quadro. Um estudo relacionou a delaminação à inexistência dessas juntas [9]; outros autores concordam, apontando deformações térmicas acumuladas como gatilho para o desplacamento [10]. Outras pesquisas destacam ainda a carência de dispositivos que absorvam variações de temperatura [12,13], enquanto outros pesquisadores propõem o Sistema de Avaliação de Fachadas para mensurar o risco de desprendimento e chamam atenção para a falta de padronização internacional [14]. O ambiente externo modula esses mecanismos, o fator de dano de 58 % em fachadas a apenas 2 km do litoral de Salvador, combinando maresia e ausência de manutenção [15].

Fatores climáticos específicos intensificam as falhas. As fachadas voltadas ao Norte e Nordeste são mais vulneráveis à chuva dirigida em cidades do Sul do Brasil [16]. A maior área desplacada em painéis leste que utilizavam placas escuras de grande formato sobre argamassa não classificada como AC III [13]. Uma avaliação estatística confirma que cor e dimensão das peças influenciam o índice de descolamento [17]. A umidade persistente favorece manifestações secundárias: pesquisadores relacionam eflorescências, fungos e bolor a falhas de impermeabilização somadas à ausência de manutenção. Mesmo multifatorial, o desplacamento pode, portanto, ser prevenido mediante projeto criterioso, execução controlada, manutenção periódica e uso de normas claras que incluam testes de compatibilidade entre materiais [18,19].

2.3 Patologias em sistemas de revestimento cerâmico para fachadas

Falhas em projeto, execução, manutenção ou ambiente agressivo levam a patologias em revestimentos cerâmicos de fachada. O descolamento das placas, decorrente de má aderência, argamassa inadequada (AC I), aplicação fora do tempo em aberto, ausência de dupla colagem e falta de juntas de movimentação, compromete estanqueidade e segurança.

Fissuras em rejuntes e emboço surgem por juntas insuficientes ou incompatibilidade de deformações; trincas favorecem infiltração e aceleram a deterioração. Falhas de aderência ao substrato decorrem de preparo superficial deficiente; problemas nas juntas de dilatação ou no chapisco causam fissuras localizadas e destacamentos em cadeia. Infiltrações não tratadas aparecem como manchas, eflorescências ou bolor; a eflorescência, ainda que estética, denuncia migração de sais e passagem de água.

Estudos de campo relatam 18 % da superfície comprometida por desplacamento, redução de 70 % na aderência por fissuras de 30 mm [11] e acelerada degradação biológica em fachadas históricas [20]. Outro estudo relaciona maior dano à proximidade do mar [15]; estudos apontam chuva dirigida, variações térmicas e escolha inadequada de cor ou formato das placas como fatores que intensificam tensões, fissuras e descolamentos [17,16].

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada combina inspeção de campo, ensaios normativos e análise crítica dos resultados, em consonância com as diretrizes da engenharia diagnóstica. Todas as atividades foram conduzidas por profissional habilitado, respeitando as exigências da ABNT NBR 16747 (2020) [21] e dos manuais do IBAPE [22].

3.1 Inspeção de revestimentos cerâmicos em fachadas

3.1.1 Fundamentação normativa

A sequência de inspeção foi estruturada a partir de três referências principais:

i. ABNT NBR 16747 (2020) – inspeções prediais [21];
ii. ABNT NBR 13755 (2017) – revestimentos cerâmicos externos [6];
iii. Manual de Inspeção Predial – IBAPE/SP (2012) [22].

3.1.2 Etapas da inspeção

Planejamento

i. Levantamento de projetos, memoriais, fichas técnicas, histórico de manutenção e registros de anomalias.
ii. Definição da amostragem, priorizando painéis mais expostos ou representativos e adotando critérios estatísticos.
iii. Elaboração do plano de inspeção com métodos, equipamentos e cronograma.

Inspeção visual

i. Verificação "*in loco*" de fissuras, descolamentos, eflorescências, falhas de rejunte e irregularidades de planicidade.
ii. Documentação fotográfica e mapeamento das anomalias em plantas e elevações.
iii. Classificação das falhas quanto à gravidade (leve, moderada ou grave) e extensão (pontual ou generalizada).

Ensaios complementares

i. Percussão manual para detecção de som cavo;
ii. Ensaios de aderência à tração [3];
iii. Medição da resistência superficial do emboço [6];
iv. Endoscopia ou termografia, quando necessário, para localizar descolamentos ocultos ou gradientes térmicos anômalos.

Diagnóstico técnico

i. Identificação dos mecanismos causadores das patologias (execução deficiente, ausência de juntas, incompatibilidade de materiais, ações térmicas ou higroscópicas, entre outros).
ii. Avaliação de riscos à segurança, à estanqueidade e à durabilidade.
iii. Priorização das intervenções segundo urgência e impacto funcional.

Emissão do laudo

O relatório final descreve a metodologia, apresenta registros fotográficos, resultados dos ensaios, mapeamento das falhas, análise das causas prováveis, fundamentação normativa e recomendações de reabilitação. A aceitação ou rejeição do sistema baseou-se, entre outros critérios, na resistência mínima de aderência de 0,30 MPa definida pela NBR 13755 (2017) [6].

3.2 Ensaios normativos de desempenho

Três ensaios foram destacados para quantificar a integridade das camadas:

i. resistência superficial do emboço (NBR 13755:2017) [6];
ii. aderência do emboço ao substrato (NBR 13749:2013) [4];
iii. aderência da placa cerâmica à argamassa colante (NBR 13755:2017) [6].

Os ensaios seguiram procedimentos padronizados, com equipamentos calibrados e equipe especializada.

3.3 Síntese diagnóstica e proposta de reabilitação

A integração dos dados de inspeção e dos resultados laboratoriais permitiu:

i. identificar as causas predominantes das patologias;
ii. quantificar a extensão do comprometimento;
iii. hierarquizar áreas críticas para intervenção;
iv. propor medidas corretivas específicas, ponderando desempenho, custo-benefício e viabilidade técnica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resistência de Aderência à Tração do Emboço

A Tabela 1 apresenta os dados dos testes de aderência realizados em diferentes blocos e painéis de fachadas com revestimento cerâmico, levando em conta a quantidade de corpos de prova com desempenho igual ou superior a 0,30 MPa. Nota-se que os painéis com substrato de concreto, de modo geral, demonstraram um desempenho superior, com

médias variando entre 0,36 e 0,92 MPa e uma maior taxa de aprovação. Por outro lado, os painéis feitos de alvenaria mostraram maior variabilidade, apresentando diversos casos de reprovação, mesmo com médias que superaram 0,30 MPa, o que revela falhas específicas e uma possível influência de execução ou manutenção inadequadas.

Os critérios de aceitação foram fundamentados tanto na média quanto na proporção mínima de corpos de prova que superaram o limite estabelecido. O painel B05, em alvenaria, destacou-se positivamente com uma média de 1,19 MPa, apresentando todos os corpos aprovados, ao passo que os painéis A08 e B02 foram reprovados, mesmo com valores que estavam próximos do limite. Os resultados indicam a necessidade de ações corretivas específicas e sublinham a relevância de inspeções minuciosas em cada painel.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de aderência à tração do emboço.

Bloco	Painel	Substrato	Localização	CPs ≥ 0,30 MPa	Média (MPa)	Critério
A	3	Concreto	4º pavimento, fachada frontal	6 de 12	0,36	Reprovado
A	7	Concreto	6º pavimento, fachada posterior	10 de 12	0,52	Aprovado
A	4	Alvenaria	3º pavimento, fachada frontal	4 de 12	0,41	Reprovado
A	8	Alvenaria	7º pavimento, fachada posterior	4 de 12	0,35	Reprovado
B	1	Concreto	11º pavimento, fachada frontal	11 de 12	0,92	Aprovado
B	8	Concreto	5º pavimento, fachada frontal	6 de 12	0,29	Reprovado
B	2	Alvenaria	10º pavimento, fachada frontal	5 de 12	0,41	Reprovado
B	5	Alvenaria	12º pavimento, fachada frontal	12 de 12	1,19	Aprovado
C	3	Concreto	5º pavimento, fachada frontal	8 de 12	0,69	Aprovado
C	7	Concreto	9º pavimento, fachada posterior	8 de 12	0,47	Aprovado
C	2	Alvenaria	8º pavimento, fachada frontal	8 de 12	0,61	Aprovado
C	6	Alvenaria	9º pavimento, fachada posterior	12 de 12	1,3	Aprovado

4.2 Resistência Superficial do Emboço

Já a Tabela 2 sintetiza dados complementares de outros seis painéis, reforçando a tendência de reprovação em situações em que a média se aproxima do limite mínimo, como nos painéis A06 (0,30 MPa) e C08 (0,44 MPa). Ainda que alguns painéis, como A02 e B03, apresentem médias similares (0,48 MPa), apenas um deles foi aprovado, o que indica diferenças no comportamento local dos corpos de prova e destaca a limitação da média como único critério de aceitação. O painel B06, com 0,91 MPa, foi claramente aprovado, confirmando o bom desempenho da fachada naquele ponto específico. No geral, os dados mostram que a simples adoção de médias pode mascarar áreas críticas, exigindo avaliações criteriosas caso a caso, com foco na distribuição dos resultados para orientar medidas corretivas ou reforços localizados.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de resistência superficial do emboço.

Bloco	Painel	Localização	Média (MPa)	Critério
A	2	7º pavimento, fachada frontal	0,48	Aprovado
A	6	6º pavimento, fachada posterior	0,3	Reprovado
B	3	7º pavimento, fachada frontal	0,48	Reprovado
B	6	12º pavimento, fachada frontal	0,91	Aprovado
C	4	5º pavimento, fachada frontal	0,76	Reprovado
C	8	9º pavimento, fachada posterior	0,44	Reprovado

4.3 Registro fotográfico da vistoria *"in loco"*

Durante a inspeção visual e a execução dos ensaios complementares, foram capturadas imagens que documentam a posição, a extensão e os aspectos qualitativos das anomalias observadas na fachada. A Figura 1 reúne os registros mais representativos, organizados em mosaico:

(a) aplicação do teste de percussão com martelo de borracha, etapa empregada para delimitar áreas com som cavo associadas à perda de aderência;

(b) visão lateral do painel cerâmico destacando-se integralmente do emboço, sinal de delaminação generalizada;
(c) placa removida sem qualquer resíduo significativo de argamassa colante, confirmando falha de colagem primária;
(d) detalhe da interface placa–emboço, onde os cordões de argamassa permanecem praticamente intactos, evidenciando a ausência de esmagamento exigido pela técnica de dupla colagem;
(e) encontro de dois panos distintos com espessura excessiva e sem junta de movimentação, condição que concentra tensões térmicas e favorece fissuras;
(f) detalhe do canto vertical fissurado, com trinca transversal nos rejuntes e nas placas, reforçando a deficiência de acomodação das movimentações.

Esses registros fotográficos serviram de base para o mapeamento das patologias, a classificação da gravidade de cada ocorrência e a definição das medidas de reabilitação propostas no diagnóstico técnico.

Figura 1 – Inspeção em fachada com revestimento cerâmico.
(a) Teste de percussão; (b) painel com delaminação; (c) placa sem vestígios de argamassa colante; (d) verso com cordões sem esmagamento; (e) junção sem junta de movimentação; (f) fissura vertical em canto de painel.



Os ensaios realizados indicaram que o emboço apresenta resistência inferior aos valores exigidos pelas normas técnicas para a adequada execução do assentamento do revestimento cerâmico, tornando necessária a realização de intervenção corretiva. Durante o teste de percussão, foi possível identificar som cavo, característico de falha de aderência, nos pontos onde a cerâmica já havia sido removida. Também foram constatadas deficiências no projeto de juntas, além de falhas de aderência entre o revestimento cerâmico e a argamassa de assentamento.

4.4 Procedimentos de Reabilitação

A recuperação do revestimento cerâmico foi conduzida em fases bem definidas. Primeiro, removeram-se manualmente as placas com aderência comprometida; toda a superfície restante foi percutida com martelo de borda plástica para localizar som cavo, e as áreas críticas ficaram demarcadas. Em seguida, o emboço deteriorado foi retirado por corte duplo com serra diamantada, evitando fissurar bordas sãs. O substrato exposto recebeu lixamento de alta rotação, escovação de aço e lavagem sob jato d'água para eliminar poeira e agentes contaminantes.

Sobre a base limpa aplicou-se chapisco polimérico uniforme; após três dias de cura lançou-se o novo emboço com argamassa industrializada. Onde a espessura superou 5 cm instalou-se tela metálica galvanizada ancorada por pinos, conforme norma. Com o emboço curado, aplicou-se cristalizante de silicatos ativos para reduzir absorção capilar e favorecer a colagem. O assentamento das placas foi feito com argamassa AC-III misturada mecanicamente, respeitando tempo em aberto e pot-life; usou-se colagem simples ou dupla, garantindo total preenchimento do tardoz.

Por fim, as juntas de assentamento foram preenchidas com argamassa AR-II e as de movimentação seladas com híbrido poliuretano–silano, assegurando estanqueidade e acomodação às variações térmicas e estruturais. O protocolo, alinhado

às exigências da ABNT NBR 13755 (2017) [6] e da NBR 16747 (2020) [21], restabeleceu a integridade funcional e estética da fachada e prolonga a vida útil do sistema.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência descrita neste estudo reforça o valor de metodologias bem estruturadas para diagnosticar e reabilitar revestimentos cerâmicos de fachada. Inspeções técnicas in loco, combinadas com ensaios de desempenho normatizados e leitura crítica da literatura, mostraram-se essenciais para identificar com precisão as patologias e escolher intervenções adequadas.

No caso analisado, três fatores se destacaram como motores da degradação: falhas de execução, projeto de juntas mal dimensionado e ausência de manutenção preventiva. A estratégia de reabilitação, que incluiu remoção criteriosa das áreas danificadas, preparo correto do substrato, emprego de materiais compatíveis e controle rigoroso na aplicação do novo revestimento, foi decisiva para devolver à fachada sua funcionalidade, durabilidade e segurança.

O estudo também chama atenção para a necessidade de programas sistemáticos de inspeção e manutenção. Além de prolongarem a vida útil dos revestimentos, esses programas reduzem riscos técnicos, financeiros e legais para proprietários e usuários. Em outras palavras, prevenir, detectar cedo e corrigir com base em protocolos tecnológicos sólidos deve ser prática corrente ao longo de todo o ciclo de vida das edificações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade São Judas Tadeu e ao Instituto Ânima SOSIESC de Inovação pelo apoio institucional prestado durante a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] LORDSLEEM JR., A. C.; FARO, H. F. **Descolamento de revestimento de fachada: Estudo de caso**. Revista ALCONPAT. **Anais**...31 maio 2017. Disponível em: <https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/126>. Acesso em: 10 abr. 2025

[2] SOUSA, L. C. D. et al. Influência das escolhas projetuais sobre o processo de degradação em fachadas. **Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação das Construções**, p. 617–624, 2021.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528:2019: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Inspeção, avaliação e requisitos para aceitação.** Rio de JaneiroABNT, , 2019.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749:2013: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Projeto, execução e inspeção.** Rio de JaneiroABNT, , 2013.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13753:1996: Revestimento de piso internas e externas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento.** Rio de JaneiroABNT, 1996. (ESTA NORMA É DE **PISO**, NÃO DE PAREDE)

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755:2017: Revestimento de fachadas com placas cerâmicas e utilização de argamassa colante – Procedimento.** Rio de JaneiroABNT, , 2017.

[7] NBR 14081-2, A. Argamassa Colante industrilizada para assentamento de placas cerêmicas. Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios. Sponsors: _:n833Sponsors: _:n125Sponsors: _:n127. 2015.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818:1997 – Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios.** Rio de JaneiroABNT, , 1997.

[9] DE OLIVEIRA, A. L. R. et al. Recuperação de fachadas de edifícios no município de Campo Mourão- PR. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 21, n. 5, p. 2360–2372, 22 maio 2023.

[10] SILVA, A. F. P. D. et al. PATOLOGIA OBSERVADA NO SISTEMA DE REVESTIMENTO EXTERNO CERÂMICO: UM ESTUDO DE CASO EM FACHADA DE UM HOTEL EM TERESINA-PI / PATHOLOGY OBSERVED IN THE CERAMIC EXTERNAL COATING SYSTEM: A CASE STUDY ON THE FACADE OF A HOTEL IN TERESINA-PI. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 99359–99370, 2020.

[11] SILVA, J. S. D. et al. Adhesion Analysis of Adhesive Mortar Joints in Ceramic Tiles under Static Loading. **Buildings**, v. 14, n. 3, p. 670, 2 mar. 2024.

[12] MAIERHOFER, C. et al. **Detection and Characterisation of Safety Relevant Detachments of Façade Elements Using a Combination of Active Thermography and Optical Scanning Methods**. 2015. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Detection-and-Characterisation-of-Safety-Relevant-a-Maierhofer-R%C3%B6llig/24d46ab4cfec87ec0da85e47fb9eab8e7adeae99>. Acesso em: 10 abr. 2025

[13] BATISTA, K. M.; SILVA, E. P. D.; ARAUJO, A. D. O. Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas: Um estudo de caso na central da biblioteca do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar. **Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação das Construções**, p. 447–454, 2021.

[14] RUIZ, F. et al. Condition assessment of building façades based on hazard to people. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 15, n. 10, p. 1346–1365, 3 out. 2019.

[15] WEYLL, K. P. et al. **AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS: ESTUDO DE CASO EM SALVADOR/BA**. >Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. **Anais**... Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. Associação Brasileira de Patologia das Construções, 2020. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/CBPAT.2020.137>. Acesso em: 10 abr. 2025

[16] BATISTA, G. D. M. et al. **Análise do índice de chuva dirigida em cidades do Paraná e sua importância no projeto de fachadas de edifícios**. . Em: 2º SIMPÓSIO PARANAENSE DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. 2017. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/2SPPC.2017.017>. Acesso em: 10 abr. 2025

[17] SANTOS, A. R. et al. Análise da relevância das características dos revestimentos cerâmicos de fachada na sua degradação. **Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação das Construções**, p. 607–616, 2021.

[18] RANGEL, P. A. et al. Método para a avaliação técnica da qualidade pós-ocupação de áreas de uso comum de habitações de interesse social. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 1, p. 171–194, mar. 2020.

[19] NUNES, P. C. et al. Avaliação da degradação de fachadas: Estudo de caso em duas edificações no Bairro do DORON - Salvador/BA. **CONGRESO LATINO-AMERICANO DE PATOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN**, p. 1731–1741, 2021.

[20] BAPTISTA NETO, J. A. et al. **Degradação de gnaisse e granito em fachadas de edifícios históricos no centro do Rio de Janeiro**. Sistemas & Gestão. **Anais**...13 abr. 2020. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/1621>. Acesso em: 10 abr. 2025

[21] ASSOSCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747 - Inspeção predial — Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento.** Rio de JaneiroABNT, , 2020.

[22] IBAPE, I. NORMA DE INSPEÇÃO PREDIAL NACIONAL. . 2012.

CICC 2025
Congresso Internacional de Construção Civil
Universidade de Brasília

DOI: 10.29327/1663665.3-31

ÁREA TEMÁTICA: Patologia e Vida Útil

TRANSFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS, PASSAGEM DO TEMPO E NÃO CONFORMIDADES CONSTRUTIVAS: ESTUDO DE CASO

NEVES, Pablo do Nascimento[1]; MATOS, Vitor Vinicius Rodrigues de[2]; PEREIRA, Cláudio Henrique de Almeida Feitosa[3]

[1] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, pablonascimento44@gmail.com, 0000-0002-5392-0367
[2] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, perito.engvitor@gmail.com, 0000-0002-7340-8993
[3] Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, claudiopereira@unb.br, 0000-0003-2170-0068

RESUMO

Este artigo investiga as transformações tecnológicas, a passagem do tempo e as não conformidades construtivas no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC) da Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade de Brasília (UnB). Inaugurado em 1976, o edifício, projetado dentro dos princípios da arquitetura moderna, enfrenta desafios relativos à preservação, manutenção e adaptação a novas exigências acadêmicas e tecnológicas. A pesquisa adota abordagem mista, combinando revisão bibliográfica em bases como o Repositório Institucional da UnB e a revista DOCOMOMO Brasil, além de inspeções **in loco** realizadas com drone e ferramentas de captura de imagens. Os resultados evidenciam patologias construtivas, como fissuras, infiltrações e sistemas elétricos expostos, bem como soluções paliativas adotadas sem planejamento técnico, resultando em desgaste estético e funcional. Ao refletir sobre a importância do legado modernista, o estudo ressalta a urgência de estabelecer estratégias de conservação mais efetivas, que contemplem não apenas intervenções emergenciais, mas ações sistemáticas de manutenção e reabilitação. Nesse sentido, conclui-se pela necessidade de um planejamento integrado, envolvendo gestores e usuários, para preservar a identidade arquitetônica ao mesmo tempo em que se atendam às demandas contemporâneas de uso e ensino.

Palavras-chave: conservação; patologia; tempo; UnB.

ABSTRACT

This article investigates the technological transformations, the passage of time, and the construction nonconformities in the Department of Civil and Environmental Engineering (ENC) at the School of Technology (FT) of the University of Brasília (UnB). Inaugurated in 1976, the building, designed according to the principles of modern architecture, faces challenges related to preservation, maintenance, and adaptation to new academic and technological demands. The research employs a mixed-methods approach, combining a literature review in databases such as the Institutional Repository of UnB and the DOCOMOMO Brasil journal, as well as on-site inspections conducted with drones and imaging tools. Findings reveal construction pathologies, including cracks, leaks, and exposed electrical systems, along with makeshift solutions implemented without technical planning, resulting in both aesthetic and functional deterioration. Reflecting on the importance of the modernist legacy, the study highlights the urgency of establishing more effective conservation strategies that address not only emergency interventions, but also systematic maintenance and rehabilitation. In this regard, the conclusion points to the need for integrated planning, involving both administrators and users, in order to preserve the architectural identity while meeting contemporary needs for usage and education.

Keywords: conservation; pathology; time; UnB.

1. INTRODUÇÃO

A arquitetura moderna, emergente no início do século XX, revolucionou os paradigmas construtivos ao introduzir novos materiais e técnicas, como o concreto armado, o aço e o vidro, além de enfatizar a funcionalidade e a ausência de ornamentos. Caracterizada por linhas simples, planta livre e integração com o entorno, essa vertente buscou refletir os avanços tecnológicos e sociais da época, promovendo uma ruptura com estilos arquitetônicos anteriores [1].

Com o passar do tempo, contudo, essas edificações enfrentam desafios significativos quanto à preservação e manutenção. A natureza inovadora dos materiais e métodos construtivos utilizados na arquitetura moderna nem sempre considerou a durabilidade a longo prazo ou a facilidade de reparo. Além disso, a rápida evolução tecnológica e as mudanças nas necessidades dos usuários dificultam a adaptação dessas estruturas sem comprometer sua integridade original, resultando em intervenções que destoam dos princípios modernos [2].

Nesse contexto, a Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade de Brasília (UnB), inaugurada em 1976 e projetada pelos arquitetos Adilson Costa Macedo e Érico Paulo Siegma Weidle, representa um exemplar significativo da arquitetura moderna brasileira. Com fachadas de blocos cerâmicos e concreto aparente, a edificação incorpora os ideais estéticos e funcionais da época. Entretanto, ao longo das décadas, o edifício vem enfrentando degradações construtivas que causam danos às fachadas e aos demais ambientes, além de tentativas de adaptação frente às novas tecnologias que geram não conformidades construtivas [3].

Portanto, o presente estudo tem como objetivo investigar as transformações tecnológicas, os efeitos do tempo e as não conformidades construtivas observadas no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC) pertencente a Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade de Brasília (UnB). Para tanto, serão analisadas as tentativas de adaptações emergenciais e paliativas, frequentemente realizadas em desconformidade com os princípios construtivos originais e recomendações normativas. O estudo visa, assim, contribuir para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manutenção, conservação e intervenção que preservem a essência da arquitetura moderna e assegurem a durabilidade da edificação.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa adota uma abordagem metodológica mista, que integra uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e um estudo de caso com inspeções **in loco**. O objetivo é realizar uma análise abrangente das transformações tecnológicas, da passagem do tempo e das não conformidades construtivas no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC) da Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade de Brasília (UnB). A RSL foi conduzida seguindo as diretrizes do PRISMA, para garantir transparência ao processo de levantamento bibliográfico.

2.1 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

A RSL foi estruturada para contemplar os desafios, patologias e não conformidades associadas à conservação e adaptação de edifícios universitários de arquitetura moderna no Brasil, considerando suas transformações ao longo do tempo.

Para a seleção dos estudos, foram definidos critérios de inclusão e exclusão. Para inclusão as temáticas deveriam abordar pelo menos um dos seguintes tópicos: conservação, preservação, manutenção, patologias construtivas ou intervenção em edificações. Estes estudos deveriam se encaixar nos seguintes contextos: trabalhos focados em arquitetura moderna brasileira, patrimônio arquitetônico universitário no Brasil, o edifício da FT/UnB ou edifícios com características contextuais e arquitetônicas semelhantes como outros edifícios pertencentes ao campus Darcy Ribeiro. Aqui, foram selecionados artigos de periódicos científicos, teses e dissertações nos idiomas inglês e português.

Para exclusão dos trabalhos ao longo do período de seleção, foram eliminados estudos focados em edificações de outros períodos arquitetônicos que não o moderno, trabalhos de caráter puramente teórico sobre engenharia de materiais ou cálculo estrutural, sem aplicação direta à análise de patologias ou conservação de edifícios existentes, editoriais, resenhas de livros, cartas ao editor e artigos de opinião.

2.2 Fontes de Informação e Estratégia de Busca

A busca foi realizada em duas bases de dados estratégicas, selecionadas para cobrir tanto o contexto específico do objeto de estudo quanto o debate nacional sobre o tema, sendo, as bases de dados, o Repositório Institucional da UnB e a Revista DOCOMOMO Brasil.

O Repositório Institucional da UnB foi utilizado para identificar estudos com especificidade sobre o campus da UnB e seus edifícios. A busca não teve filtro de data para capturar estudos históricos e fundamentais. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave, combinadas com o operador "OR": "Faculdade de Tecnologia UnB", "Preservação da UnB", "Conservação da UnB", "Conservação da Faculdade de Tecnologia UnB", "Construção da Faculdade de Tecnologia UnB".

Progredindo, a Revista DOCOMOMO Brasil foi escolhida por sua relevância na documentação, conservação e valorização do patrimônio arquitetônico moderno e contemporâneo no Brasil, integrando disciplinas como arquitetura, engenharia, história, conservação e sustentabilidade. Nesse aspecto, de acordo com Carvalho [4], o DOCOMOMO firmou-se como o principal fórum internacional de discussão sobre a arquitetura moderna e sua conservação. A busca foi focada em discussões atuais, com filtro de data entre 2023 e 2024. Utilizaram-se as palavras-chave, combinadas com o operador "OR": "Manutenção", "Conservação", "Preservação", "Intervenção", "Tempo".

2.3 Seleção dos Estudos e Extração de Dados

Dentro do Repositório, apenas 3 estudos atenderam as demandas especificadas. Primeiramente, priorizou-se a inclusão de um estudo de caso focado especificamente nas patologias da edificação analisada neste artigo, sendo fundamental para a anamnese do objeto, fornecendo um diagnóstico histórico e uma linha de base indispensável para a avaliação das condições atuais.

Conforme a ABNT NBT 16747 [5], a anamnese se trata de uma etapa da inspeção predial que consiste em obtenção de informações sobre o histórico da edificação. Assim, contribui para identificação da época em que o edifício foi erguido, compreensão do uso da edificação e histórico de intervenções, bem como informações sobre eventos passados, como inundações, incêndios ou abalos estruturais, o que permite prever e mitigar riscos futuros.

Em seguida, para prover o arcabouço conceitual da pesquisa, foi selecionado um estudo que aborda a valorização e os princípios de conservação do patrimônio arquitetônico moderno brasileiro. Essa escolha permitiu contextualizar a relevância do edifício e fundamentar a análise das intervenções sob a ótica da teoria da preservação.

Por fim, a análise foi fortalecida com a seleção de uma pesquisa sobre um edifício análogo, de mesmo período construtivo e localizado no mesmo campus. Este estudo comparativo permitiu contextualizar os desafios de uso e manutenção, demonstrando que as manifestações patológicas observadas fazem parte de um fenômeno mais amplo dentro do patrimônio edificado da universidade.

Dentro do DOCOMOMO Brasil, a seleção de artigos foi estruturada para capturar o debate nacional contemporâneo sobre a conservação da arquitetura moderna, aprofundando a análise do estudo de caso com diferentes perspectivas. A estratégia buscou, inicialmente, trabalhos que estabelecessem o arcabouço conceitual e filosófico da preservação, abordando o legado do Movimento Moderno e a importância da autenticidade nas intervenções contemporâneas.

Em seguida, a análise foi enriquecida com estudos de caso e metodológicos que oferecem exemplos práticos de conservação, incluindo um caso de intervenção em outro edifício universitário moderno. Esses artigos forneceram um referencial prático e comparativo para as soluções e os problemas encontrados no objeto de estudo.

Finalmente, para contextualizar os desafios práticos e de gestão, foram selecionados trabalhos que discutem o dilema entre intervir e preservar em edifícios que necessitam de adaptação, além de artigos que exploram o papel das políticas públicas e do tombamento na manutenção de edifícios de interesse público. Em conjunto, essa seleção ofereceu uma visão necessária que transita da teoria à prática, fundamentando a discussão sobre os aspectos técnicos, conceituais e gerenciais da conservação. Dessa forma, dentro dessas demandas, 6 estudos foram selecionados.

A seleção final dos 9 estudos (3 do Repositório UnB e 6 da Revista DOCOMOMO Brasil) foi validada pela sua complementaridade e relevância direta para a questão de pesquisa. Os trabalhos do Repositório UnB forneceram a base

contextual, teórica e histórica específica ao objeto de estudo e seu entorno. Em paralelo, os artigos da DOCOMOMO Brasil trouxeram o debate contemporâneo sobre os desafios práticos e conceituais da intervenção no patrimônio moderno, abordando temas como autenticidade, políticas públicas e estudos de caso análogos, que foram essenciais para a análise e discussão dos resultados encontrados **in loco**.

2.4 Estudo de Caso: Inspeção in loco

Complementarmente à revisão bibliográfica, foram realizadas inspeções **in loco** no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC) da Faculdade de Tecnologia (FT) da UnB. As vistorias ocorreram nos meses de setembro, outubro e novembro de 2024, utilizando-se ferramentas tecnológicas para a coleta de dados visuais. Foram empregadas capturas de imagens detalhadas das anomalias construtivas identificadas, além do uso de um drone Mavic Enterprise 3T para inspeções mais abrangentes dos sistemas de cobertura e das fachadas externas. O drone é equipado com recursos como zoom e câmera térmica, sendo esta última, útil para detectar acúmulo de umidade nas estruturas, embora não tenha se mostrado uma ferramenta efetiva para todas as finalidades da pesquisa. A seguir, a Figura 1 apresenta o drone utilizado.



Figura 1 – Drone Mavic Enterprise 3T.

Os dados coletados durante as inspeções **in loco** foram registrados de forma sistemática, permitindo uma análise qualitativa das patologias construtivas presentes na arquitetura moderna do edifício. As imagens capturadas serviram como evidências para identificar e documentar os danos nas fachadas, além de avaliar as tentativas de adaptação às novas tecnologias que resultaram em não conformidades construtivas. Portanto, a combinação das revisões bibliográficas com as inspeções práticas proporcionou uma visão integrada das questões de manutenção, conservação e preservação, fundamentais para a compreensão das transformações enfrentadas pelo objeto de estudo ao longo do tempo.

3. O DEPARTAMENTO

A Universidade de Brasília (UnB) surge como um símbolo de modernização do ensino superior, ligado a isso, têm-se a enfática contextualização da transferência da capital brasileira, sendo, Brasília, o centro administrativo e governamental responsável por distribuir cultura ao país [6]. Hoje, após sua consolidação, de acordo com a Secretaria de Comunicação da instituição [7], a UnB atende cerca de 55 mil pessoas que, diariamente, circulam sobre seus espaços e usufruem de seus benefícios. Nesse segmento, a universidade é maior que 89% das cidades brasileiras com mais de 500 mil m² construídos.

Dentro dessa variação de ensino ofertada pela UnB, encontra-se a Faculdade de Tecnologia (FT). Projetada por Adilson Costa Macedo e Érico Paulo Siegma Weidle, o prédio da Faculdade de Tecnologia (FT) foi inaugurado em 1976, contabilizando quase 50 anos de existência e funcionamento. Em sua arquitetura, possui blocos cerâmicos e concreto aparentes, sendo um espaço distribuído entre corredores, pátios, secretarias, salas de aula, auditórios, banheiros, laboratórios e demais ambientes. Ademais, sua finalidade é formar engenheiros em diversos departamentos [3, 6].

No primeiro semestre de 2023, a Faculdade de Tecnologia (FT) possuía 4.081 alunos regulares, 206 professores e 79 colaboradores divididos entre técnicos e administrativos, totalizando uma capacidade de suportar 4.366 pessoas em diferentes períodos do dia [8]. Dessa forma, evidencia-se a importância do bloco. A seguir, a Figura 2 aponta a imagem aérea do local destacando o Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC), o objeto de estudo.



Figura 2 – Vista aérea da Faculdade de Tecnologia (FT) – UnB.

Em 2010, Xavier [3] destacou a necessidade da realização de manutenções periódicas no prédio da Faculdade de Tecnologia (FT). Naquele momento, elementos estruturais apresentavam manchas, fissuras e deteriorações devido às exposições constantes à intemperes. As fachadas não apresentavam proteções adequadas, deixando o sistema vulnerável e atingindo as esquadrias. Ainda, concluiu que o sistema de drenagem possuía ineficiência.

Segundo Tostões [1], a preservação patrimonial exige reabilitações periódicas e refuncionalizações para acompanhar as mudanças urbanas; porém, no ENC, edifício projetado nos anos 1970, não suporta as novas metodologias de ensino e tecnologias, comprometendo seu uso e causando transformações.

Progredindo esse sentido, a Faculdade de Tecnologia (FT), e, consequentemente, o Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC), baseia-se em manutenções paliativas e emergenciais sem respaldo técnico, acumulando reparos inadequados que comprometem a identidade e o desempenho do edifício, perpetuando um ciclo de funcionamento insatisfatório motivado por burocracia e restrições econômicas.

4. TRANSFORMAÇÕES, NÃO CONFORMIDADES E O TEMPO

4.1 Desafios da Conservação do Patrimônio Moderno: Evidências da Literatura

A literatura especializada consolidada na Revisão Sistemática da Literatura (RSL) evidencia que a passagem do tempo é um fator crítico para os edifícios de Arquitetura Moderna, cuja conservação impõe desafios complexos. Segundo Jubé e Lira [2], o envelhecimento natural, somado à exposição a intempéries, acelera a degradação desses edifícios.

Um dos principais conflitos surge da incompatibilidade entre as configurações espaciais originais e as demandas contemporâneas. Braga et al. [8] e Sampaio [9], discutem que ambientes projetados para um contexto pedagógico e tecnológico anterior frequentemente se tornam disfuncionais. Essa defasagem exige intervenções para restabelecer a funcionalidade, mas que, se não forem bem planejadas, comprometem o legado arquitetônico. A busca por soluções emergenciais para novas tecnologias, conforme aponta Lira et al. [10], gera não conformidades construtivas que ferem a autenticidade e a identidade do projeto modernista.

No contexto de edificações públicas, essa problemática é agravada por fatores de gestão e uso. Ramos et al. [11] destacam a tendência de negligenciar a manutenção predial em favor de reparos temporários e não técnicos, muitas vezes motivados pela burocracia do setor público. Esse ciclo de improviso intensifica os danos e pode levar a um cenário de degradação generalizada, com redes elétricas e hidrossanitárias obsoletas, vandalismo e falta de suporte profissional para intervenções adequadas. A superação desses desafios, segundo os autores, depende do reconhecimento do valor do bem pela comunidade e por seus gestores.

4.2 Diagnóstico do Objeto de Estudo: Patologias e Adaptações no ENC-UnB

A inspeção **in loco** no ENC revelou um cenário que materializa os desafios apontados pela literatura. As evidências foram sistematizadas em categorias de danos e não conformidades, conforme ilustrado nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

A seguir, a Figura 3 aponta danos construtivos enfrentados pelo Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC) na Faculdade de Tecnologia (FT). Nota-se um excesso de marcas relacionadas ao tempo, falta de cuidado por parte dos usuários e falta de gestão em relação às manutenções e planos de preservação da edificação. Esse conjunto corrobora para a deterioração contínua do bem.



(a) Sistema elétrico



(b) Sistema hidrossanitário



(c) Sistema de vedação



(d) Sistema estrutural

Figura 3 – Danos construtivos enfrentados pelo ENC.

Ampliando a análise dentro da Figura 3, foi observado a presença de um sistema elétrico antigo, exposto e com reparos temporários. Posteriormente, interdição de sanitário indicando obstrução na de rede esgoto e ineficiência do sistema. Além disso, essa interdição do box ocorreu por meio de fita adesiva durex, uma ação desesperada e não ideal. Em seguida, notou-se esquadria com sujidade e marcas de pichações, e, por fim, manchas generalizadas nos sistemas estruturais feitos em concreto aparente devido o constante contato com intemperes, influenciando no prejuízo estético do bloco.

A seguir a Figura 4, apresenta tentativas de adaptação do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC) frente às novas tecnologias e demais melhorias. Nota-se, claramente, ausência de projeto, prática de boas maneiras de construção e perdas de funcionalidade. Inicialmente, a troca de interruptores elétricos, expões seus circuitos. Isso pode apresentar riscos aos usuários ocasionando choques elétricos e aumenta a fragilidade do sistema quanto a curtos-circuitos. Logo

após, observa-se fiações de equipamentos soltas no meio da sala de aula. Conclui-se com isso, falta de planejamento quanto à inserção de novas tecnologias.

Posteriormente, ao longo das salas de aula, é notado a presença de tubulações de despejo de ar condicionado sem nenhuma utilização. Ainda, as tubulações de ar condicionado e esgoto, passam pelas esquadrias de vidro das salas de aula. Tal passagem, gera quebra indevida do elemento, causando prejuízos à edificação. Por fim, a troca dos ares condicionados de alguns ambientes, provocaram determinada perda de fachada por meio das quebras sem os sequentes reparos.



(a) Exposição de circuitos



(b) Fiações soltas



(c) Tubulação pela esquadria



(d) Danos sem reparos

Figura 4 – Tentativas de adaptação do bloco.

A seguir, a Figura 5 demonstra problemáticas construtivas enfrentadas na parte superior da edificação, isto é, no sistema de coberturas. Inicialmente, nota-se presença de entulhos. Esse acúmulo pode ocorrer em função de obras mal finalizadas ou intervenções de manutenção conduzidas sem o devido descarte de materiais. Além de dificultar a drenagem adequada, o que contribui para infiltrações e patologias construtivas, os detritos podem obstruir dispositivos de escoamento e, em casos extremos, sobrecarregar elementos estruturais. Posteriormente, é perceptível o acúmulo de água.

Quando a drenagem é ineficiente ou obstruída, a água se concentra na superfície e pode provocar infiltrações, degradação de impermeabilizações, além de danificar componentes estruturais e acabamentos internos. Nesse sentido, nota-se que esse acúmulo já é capaz de provocar danos internos na edificação, na circulação geral do Bloco C. Por fim, as presenças de fissuras generalizadas indicam instabilidades estruturais.



(a) Acúmulo de entulho



(b) Acúmulo de água



(c) Consequência do acúmulo de água em cobertura



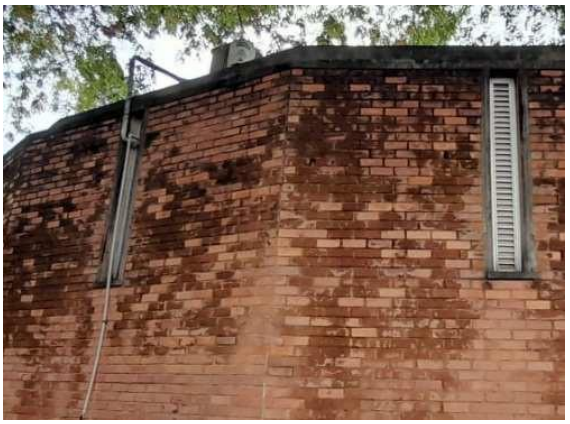
(d) Fissuras generalizadas

Figura 5 – Danos enfrentados pela cobertura.

Por fim, a Figura 6 aponta danos à fachada da edificação. Essas deformações descaracterizam a concepção original do projeto, comprometendo sua identidade arquitetônica dificultando a compatibilidade de futuras intervenções. Nota-se desgastes excessivos, proliferação biológica, presença de elementos inadequados sem reparo e acúmulo de umidade devido a pingadeiras ineficientes, sendo, esse acúmulo, evidenciado pela ferramenta termográfica pertencente ao drone utilizado na inspeção através de uma coloração escura.



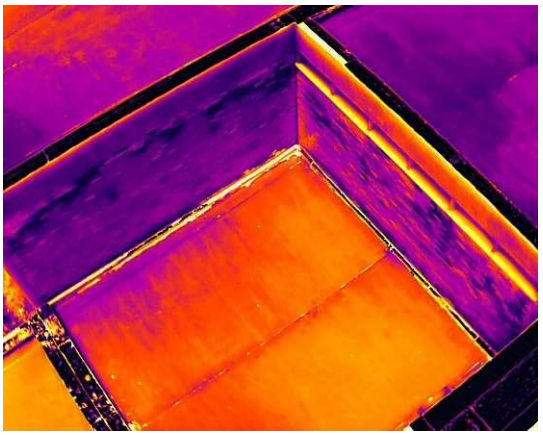
(a) Desgaste excessivo



(b) Manchas e proliferação biológica



(c) Elementos inadequados



(d) Acúmulo de umidade

Figura 6 – Danos enfrentados pela fachada.

4.3 Análise Crítica: Correlacionando Evidências de Campo e Literatura

Ao correlacionar os problemas diagnosticados no ENC com as discussões teóricas, a análise dos autores permite interpretar os achados de campo como manifestações concretas de um fenômeno mais amplo. As soluções paliativas observadas, como a interdição do sanitário com fita adesiva (Figura 3b) e os circuitos elétricos expostos (Figura 4a), exemplificam a tendência, apontada por Ramos et al. [11], de se aplicar "reparos temporários, não técnicos" em edifícios públicos, onde a burocracia e a falta de planejamento levam ao improviso em detrimento de soluções técnicas duradouras.

A dificuldade de adaptar o edifício às novas tecnologias, visível na passagem de tubulações pelas esquadrias (Figura 4c), reflete diretamente o conflito, discutido por Braga et al. [8], entre as configurações originais e as demandas pedagógicas atuais. O edifício, em sua concepção, não previu tais necessidades, e as adaptações realizadas sem um projeto de intervenção que respeitasse o existente, resultaram na perda de integridade dos componentes originais e na descaracterização arquitetônica, um risco à "autenticidade" do legado modernista, conforme alerta Lira et al. [9].

Dessa forma, fica claro que o estado de conservação do ENC não é resultado apenas do envelhecimento natural, mas de um ciclo de negligência na manutenção e de intervenções não planejadas. As patologias observadas não são eventos isolados, mas sintomas de um problema sistêmico na gestão do patrimônio edificado, que se alinha ao diagnóstico da literatura sobre os desafios enfrentados por edifícios modernos, especialmente aqueles de uso público e institucional.

5. CONCLUSÃO

Diante do exposto, evidencia-se que a Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade de Brasília (UnB), inaugurada em 1976 e projetada dentro dos princípios da arquitetura moderna, enfrenta um conjunto de desafios que perpassam as esferas de manutenção, conservação, preservação e intervenção.

As patologias construtivas identificadas nas fachadas de blocos cerâmicos e concreto aparente, somadas às adaptações pontuais para novas tecnologias, demonstram o desgaste natural do edifício ao longo das décadas, bem como a ausência de um planejamento sistemático capaz de nortear reformas e prevenir não conformidades. Assim, o Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC) torna-se um caso emblemático, ilustrando a tensão entre a preservação dos ideais modernistas e a necessidade de atender às demandas contemporâneas de ensino e pesquisa.

Nesse sentido, o estudo reforça a relevância de se estabelecer um ciclo contínuo de manutenção predial, pautado em avaliações técnicas e diagnósticos precoces que evitem intervenções paliativas ou emergenciais mal planejadas. A adoção de inspeções no local, como as realizadas com o drone Mavic Enterprise 3T, demonstrou ser uma estratégia eficiente para identificar danos estruturais, infiltrações e anomalias construtivas, permitindo a elaboração de projetos de recuperação mais completos e alinhados às características originais do edifício. As informações coletadas, aliadas à revisão bibliográfica, fornecem subsídios técnicos para aperfeiçoar ações de reabilitação, conservação e modernização, sem que se perca de vista a identidade arquitetônica que qualifica o patrimônio edificado.

Além disso, a pesquisa destaca a importância de envolver diversos agentes nesse processo, desde gestores públicos responsáveis pela alocação de recursos até usuários diretos, como professores, estudantes e servidores técnico-administrativos que vivenciam diariamente os problemas de infraestrutura. A conscientização coletiva sobre a necessidade de preservação e a busca de soluções integradas podem minimizar os riscos de descaracterização e o comprometimento funcional do edifício. Somado a isso, a viabilização de reformas planejadas e financeiramente sustentáveis tende a criar um ambiente acadêmico mais seguro, adequado às exigências curriculares atuais e melhor adaptado às rápidas transformações tecnológicas.

Por fim, conclui-se que a relevância do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC) se estende além de seu valor histórico, pois sua arquitetura e trajetória espelham a evolução das necessidades institucionais e educacionais ao longo do tempo. Manter a essência modernista, garantindo a permanência de suas qualidades estéticas e funcionais, ao mesmo tempo em que se promovem ajustes técnicos e tecnológicos, constitui o principal desafio deste estudo de caso.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil pelos valiosos conhecimentos ofertados.

REFERÊNCIAS

[1] Tostões, Ana. Resiliência e transformação: **Um compromisso social com o legado do Movimento Moderno**. Docomomo Brasil, São Paulo, 2023.

[2] Jubé, Mariana Ferreira Ramos; Lira, Flaviana Barreto. **Conservação da Arquitetura Moderna: Declaração de Significância Cultural da Casa Niemeyer**. Docomomo Brasil, São Paulo, 2023.

[3] Xavier, João Paulo Matos. **Influência de Projetos e Detalhes Arquitetônicos em Patologias de Estruturas:** Estudo de Caso. 2010. Dissertação (Mestre em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2010.

[4] Carvalho, Juliano Loureiro de. **Valor de antiguidade em edifícios brasileiros do século XX**. 2023. Tese (Doutor em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2023.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16474**: Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro, 2020.

[6] Martins, Paola Caliari Ferrari. **Espaço Universitário, Impermanências e Megaestrutura:** Análise do Instituto Central de Ciências (ICC/UnB). 2023. Tese (Doutora em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2023.

[7] Secretaria de Comunicação, UnB. **Uma cidade chamada UnB**. Brasília, 2022. Disponível em: https://noticias.unb.br/76-institucional/6231-uma-cidade-chamada-unb. Acesso em: 23 nov. 2024.

[8] Braga, Bruno Melo et al. **Intervir e preservar**: Ampliação de edifícios modernos como experiência no ensino de projeto. Docomomo Brasil, São Paulo, 2023.

[9] Sampaio, Antônio Heliodório Lima. **Intervenção num projeto moderno**: O mezanino da FAUFBA. Docomomo Brasil, São Paulo, 2023.

[10] Lira, Marina et al. **Intervenção contemporânea em uma edificação moderna:** O caso da residência José da Silva Netto à luz do conceito de autenticidade. Docomomo Brasil, São Paulo, 2024.

[11] Ramos, Fernando G. Vázquez et al. **Tombamento, paisagem urbana e políticas públicas:** o caso do Bairro paulistano de Higienópolis, 1992-2014. Docomomo Brasil, São Paulo, 2024.