

ORGANIZADORES

Guilherme Antônio Lopes de Oliveira

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

João de Deus Carvalho Filho

Wanderson Rocha de Carvalho



ENGENHARIA CIVIL

INSTRUMENTO
DE DESENVOLVIMENTO
SOCIAL, AMBIENTAL
E TECNOLÓGICO

Vol. 4



INOVAR

**ENGENHARIA CIVIL: INSTRUMENTO DE DESENVOLVIMENTO
SOCIAL, AMBIENTAL E TECNOLÓGICO**



Organizadores

Guilherme Antônio Lopes de Oliveira
Marcílio Gonçalves de Farias Pereira
João de Deus Carvalho Filho
Wanderson Rocha de Carvalho

ENGENHARIA CIVIL: INSTRUMENTO DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL, AMBIENTAL E TECNOLÓGICO

Volume 4

MATO GROSSO DO SUL
EDITORA INOVAR
2026

Copyright © dos autores.

Todos os direitos garantidos. Este é um livro publicado em acesso aberto, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado. Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons



Editora-chefe: Liliane Pereira de Souza

Diagramação: Editora Inovar

Capa: Juliana Pinheiro de Souza

Revisão de texto: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alexsande de Oliveira Franco
Profa. Dra. Aldenora Maria Ximenes Rodrigues
Prof. Dr. Arlindo Costa
Prof. Dr. Breno Eustáquio da Silva
Profa. Dra. Care Cristiane Hammes
Profa. Dra. Carla Araújo Bastos Teixeira
Prof. Dr. Carlos Eduardo Oliveira Dias
Prof. Dr. Claudio Neves Lopes
Profa. Dra. Cristiane Viana da Silva Fronza
Profa. Dra. Dayse Marinho Martins
Profa. Dra. Débora Luana Ribeiro Pessoa
Profa. Dra. Elane da Silva Barbosa
Prof. Dr. Francisco das Chagas de Loiola Sousa
Prof. Dr. Gabriel Mauriz de Moura Rocha
Profa. Dra. Geyanna Dolores Lopes Nunes
Prof. Dr. Guilherme Antônio Lopes de Oliveira

Profa. Dra. Ivonalda Brito de Almeida Morais
Profa. Dra. Janine Silva Ribeiro Godoy
Prof. Dr. João Vitor Teodoro
Prof. Dr. José Manuel Peixoto Caldas
Profa. Dra. Juliani Borchardt da Silva
Prof. Dr. Leonardo Jensen Ribeiro
Profa. Dra. Lina Raquel Santos Araujo
Prof. Dr. Márcio Mota Pereira
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Marcus Vinicius Peralva Santos
Profa. Dra. Nayára Bezerra Carvalho
Profa. Dra. Roberta Oliveira Lima
Profa. Dra. Rúbia Kátia Azevedo Montenegro
Profa. Dra. Susana Copertari
Profa. Dra. Susana Schneider Scherer
Prof. Dr. Sílvio César Lopes da Silva

Este livro passou por avaliação e aprovação às cegas de dois ou mais pareceristas ad hoc.

Catálogo na publicação Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

E57

Engenharia civil: instrumento de desenvolvimento social, ambiental e tecnológico - Volume 4 / Organização de Guilherme Antônio Lopes de Oliveira, Márcilio Gonçalves de Farias Pereira, João de Deus Carvalho Filho, et al. – Campo Grande/MS: Inovar, 2026.318p. PDF

Outro organizador: Wanderson Rocha de Carvalho

Vários autores.

ISBN 978-65-5388-392-5

DOI 10.36926/editorainovar-978-65-5388-392-5

1. Engenharia civil. 2. Desenvolvimento social. 3. Desenvolvimento tecnológico. I. Oliveira, Guilherme Antônio Lopes de (Organizador). II. Pereira, Márcilio Gonçalves de Farias (Organizador). III. Carvalho Filho, João de Deus (Organizador). IV. Título.

CDD 624

Índice para catálogo sistemático:

I. Engenharia civil

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra assumem publicamente a responsabilidade pelo seu conteúdo, garantindo que o mesmo é de autoria própria, original e livre de plágio acadêmico. Os autores declaram, ainda, que o conteúdo não infringe nenhum direito de propriedade intelectual de terceiros e que não há nenhuma irregularidade que comprometa a integridade da obra. Os autores assumem integral responsabilidade diante de terceiros, quer de natureza moral ou patrimonial, em razão do conteúdo desta obra. Esta declaração tem por objetivo garantir a transparência e a ética na produção e divulgação do livro. Cumpre esclarecer que o conteúdo é de responsabilidade exclusiva dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião da editora, organizadores da obra ou do conselho editorial.

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Civil desempenha um papel essencial na construção de soluções que promovem o desenvolvimento das cidades, a melhoria da qualidade de vida da população e o uso responsável dos recursos naturais. Em um contexto marcado por constantes transformações tecnológicas, desafios ambientais e demandas sociais cada vez mais complexas, a área amplia sua atuação ao integrar inovação, sustentabilidade, segurança e eficiência em diferentes campos do conhecimento. Nesse cenário, a produção científica torna-se um importante instrumento para compartilhar experiências, estimular novas pesquisas e fortalecer práticas capazes de responder às necessidades da sociedade.

O livro ***Engenharia Civil: Instrumento de Desenvolvimento Social, Ambiental e Tecnológico – Volume 4*** reúne estudos que refletem a diversidade e a abrangência da Engenharia Civil contemporânea. Os trabalhos apresentados evidenciam a busca por soluções inovadoras para desafios relacionados ao planejamento, à execução e à gestão de obras, contemplando aspectos como segurança, desempenho dos materiais, conforto das edificações, geotecnia, habitação de interesse social, infraestrutura, sustentabilidade e incorporação de tecnologias digitais aos processos construtivos. Essa pluralidade de abordagens demonstra o compromisso da comunidade científica com o avanço técnico e com a geração de conhecimentos aplicáveis à realidade.

Esperamos que esta obra contribua para o fortalecimento do diálogo entre pesquisadores, docentes, estudantes e profissionais, incentivando a reflexão crítica, a troca de experiências e o desenvolvimento de novas investigações. Que os estudos aqui reunidos sirvam como fonte de consulta, inspiração e apoio para a construção de soluções cada vez mais eficientes, sustentáveis e socialmente responsáveis, reafirmando o papel da Engenharia Civil como instrumento fundamental para o desenvolvimento social, ambiental e tecnológico.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

11

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESTRATÉGIAS PASSIVAS E ATIVAS PARA PROMOÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

Anastácio Vinicius Cunha Matos

Luandson de Sousa Costa

Danielle Maria Barroso de Sousa

Laerte Sousa de Brito

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Josiele Castelo Branco Fontenele Ramos

Wanderson Rocha Carvalho

Thalia Ohana Monteiro Lima

Maysa Memória Martins

Laysa Cruz Machado

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-392-5_001

CAPÍTULO 2

34

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O USO DO EVA E A BORRACHA DE PNEU COMO MODIFICADORES POLIMÉRICOS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Angel Gabriel Sotero Benevides

Fabício Oliveira de Macedo

Josiele Castelo Branco Fontenele Ramos

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Maysa Memória Martins

Thalia Ohana Monteiro Lima

Neirigelson Ferreira de Barros Leite

Mayrã do Nascimento Silva

Domingos Sávio do Nascimento

Gildene Fortes de Meneses Machado

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-392-5_002

CAPÍTULO 3

76

ANÁLISE DA SEGURANÇA FÍSICA INFANTIL NO PROJETO PROINFÂNCIA TIPO 1: UM ESTUDO DO MEMORIAL DESCRITIVO E DAS PRANCHAS ARQUITETÔNICAS

Cauã Pereira de Souza

Moisés Pontes de Brito Castelo Branco

Danielle Maria Barroso de Sousa
Marcílio Gonçalves de Farias Pereira
Thalia Ohana Monteiro Lima
Laysa Cruz Machado
Jaqueline Passos dos Santos

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-392-5_003

CAPÍTULO 4

102

ANÁLISE GEOTÉCNICA PRELIMINAR APLICADA A FUNDAÇÕES RASAS EM EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PIRIPIRI – PI

Bruno Kauã da Silva Barbosa
Gustavo Carvalho Sirqueira
Lucas Rian Sousa de Araújo
Marcílio Gonçalves de Farias Pereira
Maysa Memória Martins
Thalia Ohana Monteiro Lima
Josielle Castelo Branco Fontenele Ramos
Mayrã do Nascimento Silva
Laysa Cruz Machado
Laerte Sousa de Brito

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-392-5_004

CAPÍTULO 5

143

COMPARAÇÃO BIBLIOGRÁFICA ENTRE EMULSÃO ASFÁLTICA E ARGAMASSA POLIMÉRICA NA IMPERMEABILIZAÇÃO DE VIGAS BALDRAMES: EFICIÊNCIA, DURABILIDADE, APLICABILIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA

Anna Grazielle Costa
Flávio Costa do Nascimento
Laysa Cruz Machado
Marcílio Gonçalves de Farias Pereira
Josielle Castelo Branco Fontenele Ramos
Wanderson Rocha Carvalho
Thalia Ohana Monteiro Lima
Danielle Maria Barroso de Sousa
Kellson Barros de Oliveira
Maysa Memória Martins

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-392-5_005

CAPÍTULO 6

181

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO MERCADO PÚBLICO DE PIRACURUCA – PI

Loren Carvalho Cerqueira de Sousa

Wemerson Luan Cardoso de Melo

Laysa Cruz Machado

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Josielle Castelo Branco Fontenele Ramos

Wanderson Rocha Carvalho

Thalia Ohana Monteiro Lima

Kellson Barros de Oliveira

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-392-5_006

CAPÍTULO 7

230

GESTÃO DE OBRAS: ANÁLISE DE QUAIS FERRAMENTAS E PRÁTICAS DE GESTÃO DE CUSTOS SÃO UTILIZADAS NO TERRITÓRIO DOS COCAIS

Francisco das Chagas Lopes de Assis

Luís Gustavo de Melo Silva

Maysa Memória Martins

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Guilherme de Carvalho Amaral

Palloma Alves de Assis

Thalia Ohana Monteiro Lima

Danielle Maria Barroso de Sousa

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-392-5_007

CAPÍTULO 8

254

INOVAÇÃO HABITACIONAL: O SISTEMA CONSTRUTIVO CASA EXPRESS EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL EM PIRIPIRI-PI

Eliabe Oliveira Sousa

Nicole Évan de Sousa Medeiros

Thalia Ohana Monteiro Lima

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Danielle Maria Barroso de Sousa

Maysa Memória Martins

Domingos Sávio do Nascimento

Gildene Fortes de Meneses Machado

Laysa Cruz Machado

Jaqueline Passos dos Santos

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-392-5_008

CAPÍTULO 9

276

NOÇÕES SOBRE DIMENSIONAMENTO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Sthéfany Moreira Roma

Julia Naves Teixeira

Maykmiller Carvalho Rodrigues

Ticyane Pereira Freire Sabino

Isabelle Cristine de Carvalho Terra

Renata Costa Terra

Marcos Abdo Sâmia

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-392-5_009

CAPÍTULO 10

288

O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO MONITORAMENTO E GESTÃO DE OBRAS

João Gabriel de Moraes Oliveira

Wallison Gabriel Carvalho Gomes

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Domingos Sávio do Nascimento

Gildene Fortes de Meneses Machado

Wanderson Rocha Carvalho

Thalia Ohana Monteiro Lima

Neirigelson Ferreira de Barros Leite

Laysa Cruz Machado

João de Deus Carvalho Filho

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-392-5_010

SOBRE OS ORGANIZADORES

314

Guilherme Antônio Lopes de Oliveira

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

João de Deus Carvalho Filho

Wanderson Rocha de Carvalho

ÍNDICE REMISSIVO

318

CAPÍTULO 1

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESTRATÉGIAS PASSIVAS E ATIVAS PARA PROMOÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM EDI- FICAÇÕES

**COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN PASSIVE AND ACTIVE STRATEGIES
FOR PROMOTING THERMAL COMFORT IN BUILDINGS**

Anastácio Vinicius Cunha Matos

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0007-9524-7864>

vinniciuscunha1102@gmail.com

Luandson de Sousa Costa

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0006-2555-3375>

luandsonsousa30@gmail.com

Danielle Maria Barroso de Sousa

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0002-2849-4463>

danimaia547@gmail.com

Laerte Sousa de Brito

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0004-9786-4880>

englaertebrito@gmail.com

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-4577-2173>

marcilio@chrisfapi.com.br

Josielle Castelo Branco Fontenele Ramos

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0002-4490-8216>

josiellecstelobranco@hotmail.com

Wanderson Rocha Carvalho

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0001-5278-1329>

wanderson_vitoria2010@hotmail.com

Thalia Ohana Monteiro Lima

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0001-5914-2527>

ohanamtr@outlook.com

Maysa Memória Martins

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri-PI

<https://orcid.org/0000-0003-0964-7700>

maysa_memoria@hotmail.com

Laysa Cruz Machado

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-1748-7316>

englaysacruz@gmail.com

RESUMO

O conforto térmico em edificações representa um dos principais desafios da construção civil contemporânea, especialmente diante do crescimento urbano, do aumento do consumo energético e das mudanças climáticas. Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo geral analisar comparativamente estratégias passivas e ativas para a promoção do conforto térmico em edificações, destacando sua influência na eficiência energética, no desempenho ambiental e na qualidade de vida

dos usuários. As estratégias passivas baseiam-se no aproveitamento das condições climáticas naturais, incluindo ventilação cruzada, orientação solar adequada, sombreamento e escolha de materiais com propriedades térmicas favoráveis. Enquanto as estratégias ativas envolvem a utilização de sistemas mecânicos e elétricos, como aparelhos de ar-condicionado, ventiladores e sistemas de climatização. O estudo também aborda a importância das normas técnicas brasileiras, especialmente a ABNT NBR 15220 e a ABNT NBR 15575, que orientam o desempenho térmico das edificações, conforme o zoneamento bioclimático nacional. Além disso, são analisadas as propriedades térmicas de materiais utilizados em sistemas de forro, como gesso, PVC e madeira, considerando aspectos relacionados à condutividade térmica, durabilidade, manutenção e conforto ambiental. A pesquisa evidencia que a integração entre estratégias passivas e ativas proporciona melhores resultados em eficiência energética e conforto térmico, reduzindo a dependência de sistemas artificiais e contribuindo para construções mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

Palavras-chave: Conforto térmico; Eficiência energética; Estratégias passivas; Estratégias ativas; Desempenho térmico; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Thermal comfort in buildings is one of the main challenges of contemporary civil construction, particularly in the context of urban growth, increasing energy demand, and climate change. In this scenario, this study presents a comparative analysis of passive and active strategies for promoting thermal comfort in buildings, emphasizing their impacts on energy efficiency, environmental performance, and occupants' quality of life. Passive strategies are based on the use of natural climatic conditions, including cross ventilation, proper solar orientation, shading devices, and the selection of materials with favorable thermal properties. In contrast, active strategies involve the use of mechanical and electrical systems, such as air conditioning units, fans, and HVAC systems. The study also discusses the relevance of Brazilian technical standards, particularly ABNT NBR 15220 and ABNT NBR 15575, which provide guidelines for thermal performance according to the country's bioclimatic zon-

ing. Furthermore, the thermal properties of materials commonly used in ceiling systems, such as gypsum, PVC, and wood, are analyzed considering thermal conductivity, durability, maintenance requirements, and indoor environmental comfort. The results indicate that the integration of passive and active strategies provides superior performance in terms of thermal comfort and energy efficiency, reducing dependence on artificial cooling systems and contributing to the development of more sustainable and environmentally responsible buildings.

Keywords: thermal comfort; energy efficiency; passive strategies; active strategies; thermal performance; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico em edificações, além de ser uma necessidade fundamental para o bem-estar dos usuários, tornou-se um dos principais desafios contemporâneos da construção civil diante do crescimento urbano, do aumento da demanda energética e das mudanças climáticas globais. Estudos indicam que o setor de edificações representa uma parcela significativa do consumo de energia elétrica, especialmente em razão da crescente utilização de sistemas artificiais de climatização, como aparelhos de ar-condicionado e ventilação mecânica.

No contexto brasileiro, essa problemática torna-se ainda mais complexa devido à diversidade climática presente no território nacional. Cada região apresenta características específicas de temperatura, umidade, radiação solar e regime de ventos, fatores que influenciam diretamente no desempenho térmico das edificações. Dessa forma, torna-se fundamental o desenvolvimento de soluções arquitetônicas e construtivas adequadas às condições climáticas de cada região, de modo a assegurar níveis satisfatórios de conforto térmico e maior eficiência energética nas edificações.

Nessa perspectiva, a engenharia civil contemporânea tem buscado integrar princípios de sustentabilidade e eficiência energética

ao processo de projeto, valorizando estratégias que reduzam o consumo energético e promovam ambientes internos mais confortáveis. Nesse sentido, o conforto térmico resulta da interação entre fatores climáticos, características construtivas e propriedades térmicas dos materiais utilizados nas edificações.

Nesse direcionamento, o planejamento adequado das edificações, aliado à utilização de materiais e técnicas construtivas compatíveis com as condições climáticas locais, exerce influência significativa no desempenho ambiental das construções. A adoção de soluções eficientes contribui para a redução do consumo energético, melhoria das condições de conforto térmico dos ambientes internos e diminuição dos impactos ambientais associados ao funcionamento das edificações.

Além disso, normas técnicas brasileiras estabelecem parâmetros mínimos de desempenho para garantir condições adequadas de habitabilidade. A norma ABNT NBR 15575 estabelece critérios relacionados ao desempenho térmico das edificações habitacionais, considerando aspectos como transmitância térmica, ventilação natural e adequação às zonas bioclimáticas do país. A transmitância térmica indica a capacidade de um material ou sistema construtivo de permitir a passagem de calor. Essas diretrizes contribuem para orientar profissionais da área na elaboração de projetos mais eficientes e alinhados às exigências ambientais e energéticas atuais (ABNT, 2021).

No âmbito da engenharia civil, a escolha dos materiais de construção influencia diretamente o desempenho térmico das edificações. Elementos construtivos como coberturas, paredes e sistemas de forro desempenham papel relevante na transferência de calor entre o ambiente externo e o interior das edificações. Dessa forma, materiais como gesso, PVC e madeira apresentam comportamentos térmicos distintos, podendo contribuir de diferentes maneiras para a manutenção de temperaturas internas mais estáveis (Lamberts; Ghisi *et al.*, 2021).

Desse modo, edificações que não consideram adequadamente o desempenho térmico dos materiais construtivos tendem a apresentar

maior necessidade de utilização de sistemas artificiais de climatização para manter condições internas de conforto. Como consequência, ocorre o aumento do consumo de energia elétrica e dos custos operacionais da edificação, além da redução da eficiência energética do ambiente construído. Nesse contexto, a escolha adequada dos materiais torna-se fundamental para melhorar o desempenho térmico das construções e reduzir a dependência de equipamentos mecânicos de resfriamento e ventilação. Assim, torna-se fundamental analisar comparativamente os materiais utilizados nas construções, avaliando aspectos como condutividade térmica, durabilidade, manutenção e impacto ambiental.

A busca por edificações mais sustentáveis tem incentivado a adoção de soluções integradas que reduzam o consumo energético e minimizem os impactos ambientais associados ao funcionamento das construções. Assim, o estudo do conforto térmico torna-se um componente essencial para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos e de engenharia mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

O presente estudo busca analisar comparativamente estratégias passivas e ativas para promoção do conforto térmico em edificações, destacando sua influência na eficiência energética, no desempenho ambiental e na qualidade de vida dos usuários. A análise considera critérios relacionados ao desempenho térmico, conforto acústico, durabilidade, manutenção e custos, buscando contribuir para a tomada de decisões mais fundamentadas no desenvolvimento de projetos de engenharia civil.

Dessa forma, compreender a relação entre materiais construtivos, estratégias de projeto e desempenho térmico das edificações torna-se fundamental para o desenvolvimento de construções mais eficientes, sustentáveis e alinhadas às demandas contemporâneas da construção civil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O estudo do conforto térmico em edificações tem ganhado destaque nas últimas décadas devido à crescente preocupação com a sustentabilidade e com a redução do consumo energético no setor da construção civil. O avanço da urbanização e as alterações climáticas têm aumentado a necessidade de desenvolver construções mais eficientes, capazes de oferecer condições adequadas de conforto aos usuários, por meio do aproveitamento de estratégias naturais de climatização. Nesse contexto, torna-se fundamental a adoção de soluções arquitetônicas e construtivas que reduzam a dependência de sistemas artificiais, contribuindo para a melhoria do desempenho energético das edificações e para a diminuição dos impactos ambientais.

O conforto térmico está diretamente relacionado ao equilíbrio entre as condições ambientais do espaço construído e as necessidades fisiológicas dos usuários. Esse equilíbrio é influenciado por diversos fatores, como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação térmica, além das características construtivas da edificação e do comportamento dos ocupantes. Quando esses elementos são adequadamente considerados no projeto e na utilização dos ambientes, é possível proporcionar maior bem-estar, qualidade de vida e eficiência energética nas edificações.

2.1 Estratégias Ativas e Passivas de Conforto Térmico

As estratégias ativas utilizadas para promover o conforto térmico em edificações envolvem principalmente a aplicação de sistemas mecânicos de climatização, ventiladores e recursos tecnológicos voltados ao controle da temperatura interna e da qualidade do ar. Esses sistemas são amplamente empregados em ambientes onde as condições climáticas externas dificultam a obtenção de conforto apenas por meios naturais. Entretanto, o uso isolado dessas tecnologias pode elevar significativamente o consumo de energia elétrica e os custos

operacionais da edificação. Nesse contexto, a integração entre estratégias passivas e ativas torna-se uma alternativa mais eficiente, permitindo reduzir a demanda energética ao mesmo tempo em que proporciona melhores condições de conforto ambiental aos usuários.

Estratégias ativas de conforto térmico são aquelas que utilizam sistemas e equipamentos mecânicos ou elétricos para controlar a temperatura e melhorar as condições térmicas do ambiente. Essas estratégias dependem de consumo energético para funcionar. Entre os exemplos estão aparelhos de ar-condicionado, ventiladores, sistemas de aquecimento, exaustores, aquecedores elétricos ou a gás, mecânicos e climatizadores de ar.

Por sua vez, as estratégias passivas de conforto térmico consistem em soluções arquitetônicas que aproveitam os recursos naturais e as características construtivas da edificação para reduzir os ganhos ou perdas de calor, sem depender de equipamentos mecânicos ou elevado consumo de energia. Essas estratégias consideram fatores como a orientação solar da edificação, a ventilação natural, o sombreamento, o isolamento térmico, a inércia térmica dos materiais, a iluminação natural e o uso da vegetação. Entre os principais exemplos, destacam-se a ventilação cruzada, a utilização de brises e beirais, telhados ventilados, paredes com isolamento térmico, paisagismo e arborização, além da correta orientação da edificação em relação ao percurso do sol. Quando aplicadas de forma integrada e adaptadas às condições climáticas locais, essas estratégias contribuem para a melhoria do conforto térmico, a redução do consumo de energia e o aumento da eficiência energética das edificações.

A ventilação cruzada, por exemplo, permite a circulação natural do ar entre diferentes aberturas da edificação, contribuindo para a dissipação do calor acumulado nos ambientes internos. Essa técnica é especialmente importante em regiões de clima quente e úmido, onde a movimentação do ar desempenha papel essencial na sensação de conforto térmico (Lamberts; Dutra; Pereira, 2021).

Dessa forma, enquanto as estratégias passivas buscam minimizar a necessidade de energia por meio do aproveitamento das condições climáticas naturais e do planejamento arquitetônico, as

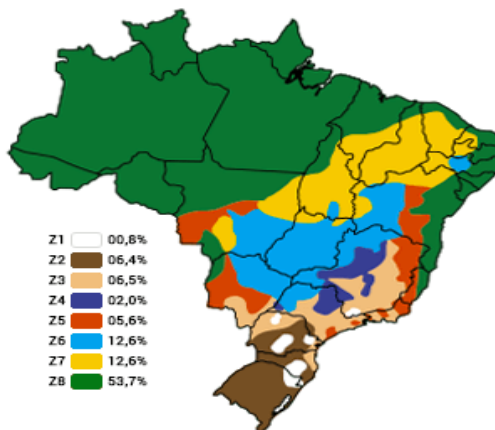
estratégias ativas atuam diretamente no controle artificial do ambiente interno para garantir o conforto térmico dos usuários.

2.2 Normas Técnicas e Zoneamento Bioclimático

No Brasil, o desempenho térmico das edificações é orientado por normas técnicas desenvolvidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Entre elas, destacam-se a NBR 15220, que trata do zoneamento bioclimático brasileiro e das diretrizes construtivas para cada região climática, e a NBR 15575, que estabelece requisitos mínimos de desempenho para edificações habitacionais (ABNT, 2005; ABNT, 2021).

O zoneamento bioclimático brasileiro divide o território nacional em oito zonas climáticas distintas, conforme a figura 01, considerando fatores como temperatura média anual, regime de chuvas e amplitude térmica. Essa classificação orienta arquitetos e engenheiros na adoção de estratégias projetuais adequadas, como ventilação natural, sombreamento e escolha apropriada de materiais construtivos (ABNT, 2005).

Figura 01: Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: Adaptado de UGREEN (2023).

2.3 Materiais e Desempenho Térmico

Os materiais de construção exercem influência direta no desempenho térmico das edificações, uma vez que suas propriedades físicas determinam a velocidade com que o calor é transmitido entre o ambiente externo e o interior das construções. Entre essas propriedades, destacam-se a condutividade térmica, a capacidade térmica e a absorvância solar (Lamberts; Ghisi *et al.*, 2021).

Materiais como madeira apresentam baixa condutividade térmica e boa capacidade de isolamento, contribuindo para reduzir a transferência de calor para o interior da edificação. Já materiais como PVC e gesso possuem características distintas que podem influenciar o comportamento térmico dos ambientes, dependendo das condições climáticas e da forma como são aplicados no sistema construtivo (Lamberts; Ghisi *et al.*, 2021).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Procedimentos Metodológicos

O presente estudo consistiu em uma revisão bibliográfica voltada à análise comparativa entre estratégias passivas e ativas para promoção do conforto térmico em edificações. O procedimento metodológico para o levantamento bibliográfico partiu da busca em bases de dados acadêmicos, garantindo a obtenção de materiais relevantes e atualizados sobre a temática, permitindo a construção de uma base teórica consistente e assegurando maior confiabilidade às informações utilizadas.

A investigação foi conduzida por meio da análise de materiais obtidos em plataformas como Google Acadêmico, SciELO, CAPES, bibliotecas digitais institucionais e repositórios universitários, incluindo artigos científicos, revistas acadêmicas, trabalhos de conclusão de

curso, dissertações, teses, normas da ABNT e livros especializados, publicados entre os anos de 2021 e 2026, possibilitando uma ampla coleta de dados e contribuindo diretamente para a consolidação de um embasamento teórico sólido e coerente com os objetivos definidos.

Inicialmente, foram definidos como descritores principais, a saber: “conforto térmico”, “estratégias ativas”, “estratégias passivas”, “meio ambiente”, “custo benefício”, estabelecendo um direcionamento claro para a busca dos estudos. Também foram considerados descritores em língua portuguesa, língua inglesa e língua espanhola, com a finalidade de ampliar o alcance das buscas e possibilitar a identificação de estudos pertinentes ao tema em diferentes contextos acadêmicos, contribuindo para uma análise mais abrangente da literatura e favorecendo a inclusão de abordagens técnicas relevantes.

A partir desse procedimento, foram selecionados 40 documentos, os quais foram analisados conforme os critérios estabelecidos pela pesquisa, considerando a aderência ao tema, a consistência técnica e a relevância das informações apresentadas. Os estudos passaram por leitura criteriosa, permitindo a compreensão dos objetivos, das abordagens metodológicas e dos principais resultados, assegurando a qualidade do material selecionado para as etapas seguintes e garantindo alinhamento com o foco proposto.

Posteriormente, realizou-se uma nova seleção dos documentos por meio da aplicação de critérios de exclusão, com o objetivo de promover um refinamento mais criterioso dos estudos. Nessa etapa, foram considerados aspectos relacionados às estratégias passivas, estratégias ativas, conforto térmico, meio ambiente e custo-benefício, possibilitando uma análise mais aprofundada e direcionada aos objetivos propostos pela pesquisa e contribuindo para a eliminação de conteúdos que não apresentavam relevância direta ao tema.

Os documentos selecionados foram avaliados por meio de uma planilha *Excel*, obtida por intermédio de recursos *Office*. Este recurso foi utilizado para a organização e a sistematização dos dados e informações extraídas, permitindo uma visualização mais clara e estruturada dos resultados. O tratamento de dados foi realizado com a organização dos trabalhos conforme autor, ano, título, abordagem

metodológica, país, idioma, tipo de estudo e objetivo, resultando na seleção final de 24 documentos com maior rigor técnico e relevância.

Com o objetivo de favorecer a compreensão das etapas desenvolvidas nesta pesquisa, apresenta-se, na sequência, uma representação esquemática do percurso metodológico adotado, apresentado na Figura 02. Essa organização permite compreender, de forma clara, as fases do estudo, que se iniciam com a definição da questão norteadora, passando pela escolha dos sistemas analisados, pelos procedimentos de busca, seleção e classificação dos estudos, até a análise crítica e a interpretação dos dados, evidenciando a lógica estruturada que orientou a condução da investigação e a consolidação dos resultados obtidos.

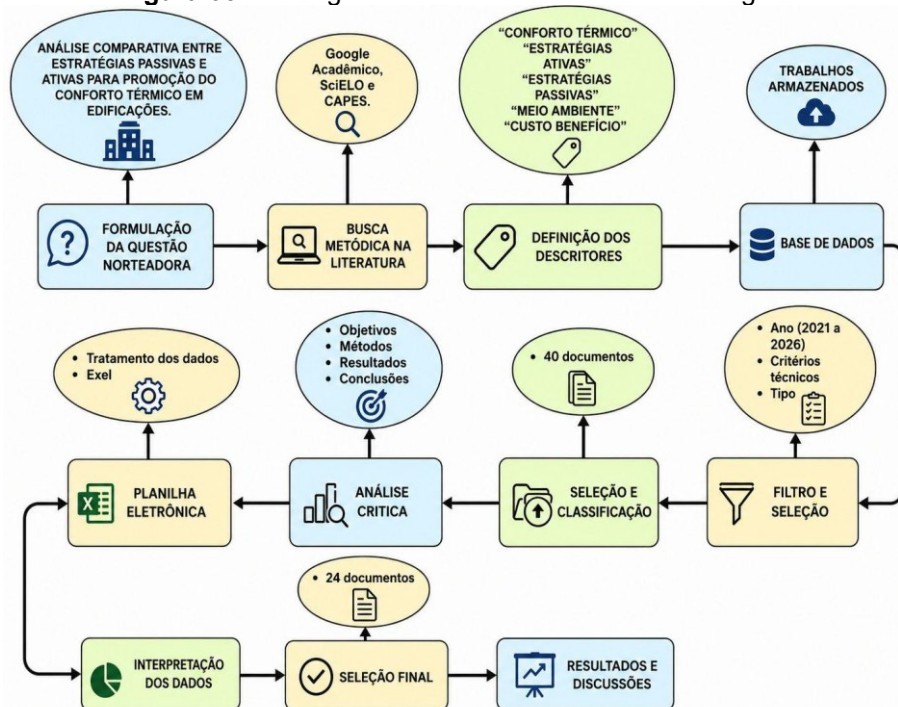
Figura 02 - Planilha de dados do Excel.

Autor(es)	Ano	Título	Tipo de Trabalho	País/Idioma	Tipo de Estudo	Objetivo Principal	Conforto Térmico
ANAND; KADIRI; PUTCHA	2023	Passive Buildings: A State-of-the-Art Review	Artigo Científico	Índia / Inglês	Revisão Sistemática	Revisar o estado da arte das edificações passivas	Melhoria do conforto dos ocupantes
ABNT NBR 15220-3	2005	Desempenho térmico de edificações - Zoneamento Bioclimático Brasileiro	Norma Técnica	Brasil / Português	Documento Normativo	Estabelecer diretrizes bioclimáticas para edificações	Critérios de conforto térmico por zona climática
ABNT NBR 15575-1	2021	Edificações Habitacionais - Desempenho	Norma Técnica	Brasil / Português	Documento Normativo	Definir requisitos mínimos de desempenho	Define parâmetros mínimos de conforto
BARBOSA; AGUILAR; SALES	2021	Conforto térmico do ambiente construído, eficiência energética e difusividade térmica	Artigo Científico	Brasil / Português	Estudo Interdisciplinar	Relacionar conforto térmico, design e eficiência energética	Avaliação do ambiente construído
CORBELLA; YANNAS	2021	Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos: Conforto Ambiental	Livro	Brasil / Português	Revisão Teórica	Apresentar conceitos de arquitetura bioclimática	Conforto ambiental em climas tropicais
LAMBERTS, R.; GHISI, E. et al.	2021	Desempenho Térmico de Edificações	Livro Técnico	Brasil / Português	Estudo Teórico	Apresentar conceitos de desempenho térmico.	Avaliação do conforto ambiental.

Fonte: Próprio autor (2026).

Para melhor compreensão das etapas deste estudo, elaborou-se um fluxograma dos procedimentos metodológicos, apresentado na Figura 03. O processo iniciou-se com a definição do tema e a revisão bibliográfica, seguido da escolha da metodologia e dos critérios de comparação entre as estratégias passivas e ativas em relação ao conforto térmico. Em seguida, foram realizadas a análise dos dados, a discussão dos resultados e a elaboração do artigo científico.

Figura 03 - Fluxograma de Procedimentos Metodológicos.



Fonte: Próprio autor (2026).

3.2 Resultados e Discussão

A análise dos estudos selecionados permitiu identificar que a promoção do conforto térmico em edificações depende diretamente da integração entre estratégias passivas, ativas e da escolha adequada dos materiais construtivos. Os resultados observados na literatura

demonstram que edificações planejadas com foco no desempenho térmico apresentam menor consumo energético, maior estabilidade das temperaturas internas e melhores condições de habitabilidade. Além disso, estudos recentes apontam que a adoção de soluções bioclimáticas contribui significativamente para a eficiência energética das construções e para a redução dos impactos ambientais, associados ao uso excessivo de sistemas mecânicos de climatização (Barbosa; Aguilar; Sales, 2021; Anand; Kadiri; Putcha, 2023).

Os estudos analisados evidenciam que as estratégias passivas se destacam por reduzir significativamente a dependência de sistemas artificiais de climatização. Elementos como ventilação cruzada, orientação solar adequada, uso de sombreamento e escolha de materiais com baixa condutividade térmica mostraram-se eficientes na redução do ganho de calor em ambientes internos, principalmente em regiões de clima quente, como grande parte do território brasileiro. De acordo com Anand, Kadiri e Putcha (2023), a incorporação dessas estratégias desde as etapas iniciais de projeto pode reduzir substancialmente a demanda energética das edificações.

A ventilação cruzada foi apontada como uma das estratégias passivas de maior eficiência, especialmente em edificações localizadas em zonas bioclimáticas de temperaturas elevadas. A circulação natural do ar promove a renovação térmica dos ambientes, reduzindo a sensação de abafamento e contribuindo para o conforto térmico, sem consumo adicional de energia elétrica. Além disso, os estudos destacam que o correto posicionamento das aberturas influencia diretamente no desempenho da ventilação natural, sendo necessário considerar a direção predominante dos ventos, as dimensões das esquadrias e a distribuição interna dos ambientes. Segundo Anand, Kadiri e Putcha (2023), a ventilação natural continua sendo uma das soluções mais eficazes para edificações localizadas em regiões tropicais e subtropicais.

Outro aspecto relevante identificado refere-se ao uso de elementos de sombreamento, como brises, marquises e beirais. Esses componentes reduzem a incidência direta da radiação solar sobre fachadas e aberturas, diminuindo o aquecimento interno das

edificações. A literatura aponta que edificações com proteção solar adequada apresentam temperaturas internas mais estáveis ao longo do dia, reduzindo a necessidade do uso contínuo de aparelhos de ar-condicionado.

Dessa forma, pesquisas recentes demonstram que a combinação entre dispositivos de sombreamento e ventilação natural pode proporcionar reduções significativas na carga térmica das edificações, contribuindo para a melhoria do conforto térmico e da eficiência energética dos ambientes construídos (Elaouzy; El Fadar, 2022).

Quadro 1 – Estratégias de conforto térmico x autores que as citam.

		Anand, Kadiri & Putcha (2023)	Barbosa, Aguilar & Sales (2021)	Elaouzy; El Fadar (2022)	ABNT NBR 15575 (2021)
Ventilação cruzada	PASSIVA	✓	–	✓	✓
Sombreamento (brises, marquises, beirais)	PASSIVA	–	–	✓	✓
Orientação solar adequada	PASSIVA	✓	–	–	✓
Materiais de baixa condutividade térmica	PASSIVA	✓	–	–	✓
Ar-condicionado / sist. mecânicos de climatização	ATIVA	✓	✓	–	–

Tipo de estratégia
■ Estratégia Passiva ■ Estratégia Ativa

Fonte: Próprio Autor (2026)

Quanto às estratégias ativas, verificou-se que os sistemas mecânicos de climatização continuam sendo amplamente utilizados para garantir níveis imediatos de conforto térmico, principalmente em regiões de clima muito quente. Entretanto, os estudos analisados indicam que o uso excessivo desses sistemas resulta em elevado

consumo energético e aumento dos custos operacionais das edificações.

Vale ressaltar que, em muitos casos, a dependência exclusiva de aparelhos de ar-condicionado está associada à ausência de planejamento bioclimático e ao uso inadequado de materiais construtivos. Nesse contexto, Barbosa, Aguilar e Sales (2021) ressaltam que o equilíbrio entre estratégias passivas e ativas representa uma alternativa mais eficiente para a obtenção do conforto térmico.

Os resultados também demonstram que a combinação entre estratégias passivas e ativas proporciona melhores índices de eficiência energética. Edificações que utilizam ventilação natural, sombreamento e materiais termicamente eficientes reduzem significativamente a carga térmica interna, permitindo menor utilização dos sistemas artificiais de climatização. Dessa forma, os equipamentos mecânicos passam a atuar apenas como complemento, reduzindo o consumo de energia e aumentando a sustentabilidade da edificação. Essa integração é amplamente recomendada pela literatura recente como uma das principais diretrizes para construções sustentáveis (Anand; Kadiri; Putcha, 2023).

Quadro 2 - Posicionamento dos autores - Estratégias de conforto térmico em edificações.

	Estratégias Passivas	Estratégias Ativas	Integração Passiva + Ativa
ABNT NBR 15220 / 15575 (2021/2022)	✓	–	–
Anand, Kadiri & Putcha (2023)	✓	–	✓
Barbosa, Aguilar & Sales (2021)	–	–	✓
Elaouzy; El Fadar (2022)	✓	–	✓

Posicionamento dos autores

Defende Estratégias Passivas Defende Estratégias Ativas Defende a Integração Passiva + Ativa

Fonte: Proprio Autor (2026)

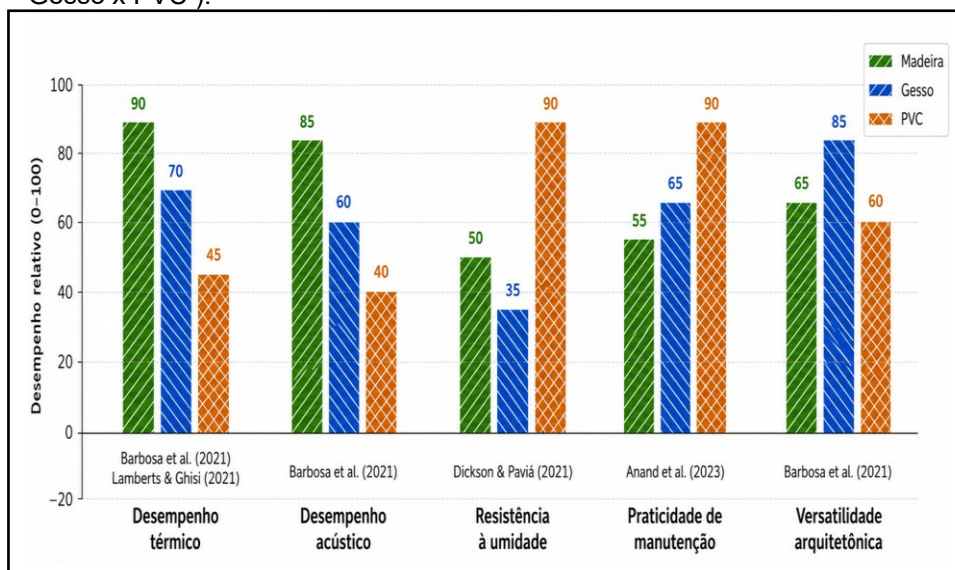
Em relação aos materiais de forro analisados, observou-se que a madeira apresentou melhor desempenho térmico entre os sistemas estudados. Sua baixa condutividade térmica contribui para reduzir a transferência de calor entre a cobertura e o ambiente interno, proporcionando temperaturas mais amenas e maior conforto térmico. Além disso, a madeira apresenta bom desempenho acústico e contribui para a sensação de conforto ambiental nos espaços internos. Estudos contemporâneos sobre desempenho térmico de materiais construtivos reforçam que materiais naturais tendem a apresentar comportamento térmico mais favorável quando comparados a materiais sintéticos expostos às mesmas condições climáticas (Barbosa; Aguilar; Sales, 2021).

O forro de gesso também apresentou resultados satisfatórios, principalmente devido à sua capacidade de contribuir para o isolamento térmico quando associado a sistemas complementares, como mantas térmicas e lajes ventiladas. Outro aspecto observado refere-se ao bom acabamento estético e à versatilidade de aplicação do gesso em projetos arquitetônicos contemporâneos. Entretanto, os estudos destacam que esse material possui menor resistência à umidade, exigindo manutenção adequada em ambientes sujeitos à infiltração. Pesquisas recentes indicam que o desempenho térmico do gesso pode ser ampliado quando utilizado em conjunto com materiais isolantes, contribuindo para a redução das trocas de calor e para a melhoria da eficiência energética das edificações (Dickson; Pavía, 2021).

Já o PVC apresentou vantagens relacionadas à praticidade de instalação, baixa manutenção e resistência à umidade. Contudo, em termos de desempenho térmico, os estudos indicam que o material possui menor eficiência quando exposto diretamente à radiação solar e a elevadas temperaturas, podendo contribuir para maior aquecimento interno, dependendo das condições climáticas e da ausência de isolamento complementar. Dessa forma, seu uso deve ser analisado considerando as características climáticas locais e a adoção de soluções complementares de isolamento térmico.

A análise comparativa entre os materiais demonstra que a escolha do sistema de forro deve considerar não apenas o custo inicial, mas também fatores relacionados ao desempenho térmico, durabilidade, manutenção e adequação climática da região onde a edificação será implantada. Os estudos reforçam que materiais inadequados podem aumentar a necessidade de climatização artificial, elevando o consumo energético e comprometendo o conforto dos usuários. Essa constatação evidencia a importância da seleção criteriosa dos materiais ainda na fase de projeto.

Gráfico 1 – Desempenho comparativo dos materiais de forro (Madeira x Gesso x PVC).



Fonte: Próprio Autor (2026)

Outro ponto relevante identificado durante a pesquisa relaciona-se à importância das normas técnicas brasileiras no direcionamento de projetos mais eficientes. A ABNT NBR 15220 e a ABNT NBR 15575 são constantemente citadas como instrumentos fundamentais para orientar arquitetos e engenheiros quanto às exigências de desempenho térmico das edificações. O zoneamento bioclimático brasileiro permite adaptar

soluções construtivas às características climáticas de cada região, favorecendo maior eficiência energética e melhores condições de habitabilidade. As atualizações recentes dessas normas reforçam a necessidade de adequação dos projetos às condições climáticas locais e aos critérios de desempenho exigidos pela construção civil contemporânea (ABNT, 2021; ABNT, 2022).

Os resultados obtidos também evidenciam que o conforto térmico está diretamente relacionado à sustentabilidade das edificações. A redução do consumo energético por meio de estratégias passivas contribui para minimizar impactos ambientais associados à geração de energia elétrica e à emissão de gases de efeito estufa. Assim, projetos que priorizam soluções bioclimáticas apresentam benefícios tanto econômicos quanto ambientais. Segundo Anand, Kadiri e Putcha (2023), a eficiência energética tornou-se um dos principais indicadores de sustentabilidade no setor da construção civil.

Dessa forma, a pesquisa demonstra que a adoção integrada de estratégias passivas e ativas, aliada à escolha adequada dos materiais construtivos, constitui uma alternativa eficiente para promover conforto térmico, eficiência energética e sustentabilidade nas edificações. Os resultados reforçam a necessidade de que profissionais da construção civil considerem fatores climáticos, propriedades térmicas dos materiais e diretrizes normativas desde as etapas iniciais de projeto, garantindo construções mais eficientes e alinhadas às demandas contemporâneas da engenharia civil.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta pesquisa, foi possível compreender que o conforto térmico nas edificações ultrapassa a ideia de simples bem-estar, assumindo papel essencial na promoção da qualidade de vida, da eficiência energética e da sustentabilidade no setor da construção civil. Em um cenário marcado pelo crescimento urbano acelerado, pelas mudanças climáticas e pelo aumento do consumo energético, torna-se

cada vez mais necessário repensar a forma como os espaços são projetados e executados.

A análise comparativa entre estratégias passivas e ativas evidenciou que ambas possuem relevância significativa para a promoção do conforto térmico, porém apresentam características e impactos distintos. Enquanto as estratégias ativas oferecem respostas imediatas às necessidades ambientais por meio de sistemas mecânicos de climatização, as estratégias passivas demonstram maior potencial de eficiência a longo prazo, especialmente por reduzirem a dependência de energia elétrica e aproveitarem, de maneira inteligente, os recursos naturais disponíveis.

Nesse contexto, observou-se que soluções como ventilação cruzada, sombreamento adequado, correta orientação solar e seleção apropriada dos materiais construtivos contribuem de forma expressiva para a redução das cargas térmicas internas das edificações. Além disso, verificou-se que a integração entre estratégias passivas e ativas representa a alternativa mais eficiente, permitindo alcançar melhores níveis de conforto térmico sem comprometer excessivamente os custos operacionais e o desempenho ambiental da edificação.

Quanto aos materiais de forro analisados, conclui-se que não existe uma solução universalmente ideal, mas sim alternativas mais adequadas conforme as condições climáticas, necessidades do projeto e objetivos do usuário. A madeira destacou-se pelo melhor desempenho térmico e acústico; o gesso apresentou boa versatilidade e potencial de isolamento quando associado a sistemas complementares; enquanto o PVC demonstrou vantagens relacionadas à praticidade e manutenção, apesar de limitações em determinadas condições térmicas.

Outro aspecto relevante identificado durante o desenvolvimento deste estudo refere-se à importância do planejamento técnico fundamentado nas normas brasileiras, especialmente no zoneamento bioclimático e nos critérios de desempenho térmico estabelecidos pela ABNT. Tais diretrizes são indispensáveis para orientar decisões mais assertivas e contribuir para edificações mais eficientes, confortáveis e compatíveis com as demandas contemporâneas da engenharia civil.

Por fim, esta pesquisa reforça a necessidade de que profissionais da área considerem, desde as etapas iniciais do projeto, aspectos relacionados ao clima, aos materiais empregados e às estratégias de conforto térmico, buscando soluções integradas que conciliem desempenho, economia e sustentabilidade. Mais do que uma tendência, projetar edificações termicamente eficientes representa um compromisso com a qualidade dos ambientes construídos e com um futuro mais responsável do ponto de vista ambiental e social.

REFERÊNCIAS

ANAND, Vishwajit; KADIRI, Vishnu Lakshmi; PUTCHA, Chandrasekhar. **Passive buildings: a state-of-the-art review**. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, v. 4, n. 1, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: **Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: **Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BARBOSA, Paula Glória; AGUILAR, Maria Teresa Paulino; SALES, Rosmary do Bom Conselho. **Conforto térmico do ambiente construído, eficiência energética e difusividade térmica: um estudo interdisciplinar que envolve o Design**. *Pensamentos em Design*, v. 1, n. 1, p. 95-102, 2021.

BORGES, Pérola Carolina Moreira de Assis. **Avaliação do conforto térmico em salas de aula da Universidade Federal de Lavras**. 2023. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

BORGES, Taynnara Gonçalves de Oliveira. **Arquitetura bioclimática: integração de conforto térmico e eficiência energética no contexto da sustentabilidade ambiental**. *Scientific Journal ANAP*, v. 1, n. 5, 2023.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. 3. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2021.

DICKSON, T.; PAVÍA, S. ***Energy performance, environmental impact and cost of a range of insulation materials. Renewable and Sustainable Energy Reviews***, v. 140, p. 110752, 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2021.110752.

ELAOUZY, Y.; EL FADAR, A. ***Energy, economic and environmental benefits of integrating passive design strategies into buildings: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews***, v. 167, 2022. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112828.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Buildings: tracking clean energy progress**. Paris: IEA, 2023.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir. **Desempenho térmico e eficiência energética em edificações**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE/UFSC, 2021.

MERABET, Ghezlane Halhoul et al. **Intelligent Building Control Systems for Thermal Comfort and Energy-Efficiency: A Systematic Review of Artificial Intelligence-Assisted Techniques**. *Energies*, v. 14, n. 14, 2021.

MUTA, Luís Filipe; MACIEL, Thalita dos Santos; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. **O impacto do setpoint de uso da ventilação natural no conforto térmico de uma edificação NZEB**. Anais do ENCAC 2023. Porto Alegre: ANTAC, 2023.

PEREIRA DE SOUZA, Larissa; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. **Parameters that influence the thermal performance of commercial buildings: an exploratory analysis**. Anais do ENCAC 2023. Porto Alegre: ANTAC, 2023.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; REIS, Lineu Belico dos. **Eficiência energética em edifícios**. Barueri: Manole, 2017.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Status Report for Buildings and Construction 2023**. Nairobi: UNEP, 2023.

XIANG, Yujing; ZHOU, Pengzhi; ZHU, Li; WU, Shihai. **Thermal Comfort Meets ESG Principle: A Systematic Review of Sustainable Strategies in Educational Buildings**. Buildings, v. 15, n. 15, p. 2692, 2025. DOI: 10.3390/buildings15152692.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O USO DO EVA E A BORRACHA DE PNEU COMO MODIFICADORES POLIMÉRICOS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE OF EVA AND TIRE RUBBER AS POLYMER MODIFIERS IN ASPHALT PAVING

Angel Gabriel Sotero Benevides

Centro Universitário Chrisfapi - UNICRHISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0009-0005-6422-3443>
gabriel.sotero611@gmail.com

Fabrício Oliveira de Macedo

Centro Universitário Chrisfapi - UNICRHISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0009-0002-9320-7862>
fabriciooliveirademacedo22@gmail.com

Josielle Castelo Branco Fontenele Ramos

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0009-0002-4490-8216>
josiellecastelobranco@hotmail.com

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0000-0002-4577-2173>
marcilio@chrisfapi.com.br

Maysa Memória Martins

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0000-0003-0964-7700>
maysa_memoria@hotmail.com

Thalia Ohana Monteiro Lima

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0001-5914-2527>

ohanamtr@outlook.com

Neirigelson Ferreira de Barros Leite

Centro Universitário Chrisfapi –UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0001-6505-1368>

neirigelson@chrisfapi.com.br

Mayrã do Nascimento Silva

Centro Universitário Chrisfapi –UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-3439-5421>

mayransilva123@gmail.com

Domingos Sávio do Nascimento

Centro Universitário Chrisfapi –UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-8580-8783>

saviomatem@yahoo.com.br

Gildene Fortes de Meneses Machado

Centro Universitário Chrisfapi –UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-0319-183x>

gildenemeneses@yahoo.com.br

RESUMO

O presente artigo realiza uma análise comparativa entre o uso do Etileno Acetato de Vinila (EVA) e da borracha proveniente de pneus inseríveis como modificadores poliméricos aplicados em ligantes asfálticos para pavimentação rodoviária. A pesquisa surge da necessidade de desenvolver pavimentos mais duráveis e resistentes às crescentes solicitações do tráfego e às variações climáticas, além de promover alterna-

tivas sustentáveis para o reaproveitamento de resíduos industriais. O estudo contextualiza a importância da infraestrutura rodoviária brasileira para o desenvolvimento econômico e logístico do país, destacando os desafios relacionados à deterioração dos pavimentos e à necessidade de adoção de materiais inovadores que ampliem a vida útil das rodovias. Nesse cenário, os modificadores poliméricos ganham relevância por proporcionarem melhorias significativas ao comportamento dos ligantes asfálticos convencionais. Entre esses materiais, destacam-se o EVA, um copolímero amplamente utilizado pela indústria calçadista, e a borracha reciclada de pneus descartados, ambos considerados alternativas ambientalmente adequadas devido ao reaproveitamento de resíduos de difícil degradação. A comparação entre os dois materiais busca contribuir para o desenvolvimento de pavimentos mais duráveis, possuindo uma vida útil maior, o que contribui para vias mais duráveis e trazendo mais segurança aos usuários.

Palavras-chave: Comparação, Borracha de Pneus, Etileno Acetato de Vinila (EVA).

ABSTRACT

This article presents a comparative analysis of the use of Ethylene Vinyl Acetate (EVA) and rubber derived from end-of-life tires as polymer modifiers applied to asphalt binders for road paving. The research arises from the need to develop more durable and resistant pavements capable of withstanding increasing traffic demands and climate variations, while also promoting sustainable alternatives for the reuse of industrial waste. The study contextualizes the importance of Brazil's road infrastructure for the country's economic and logistical development, highlighting the challenges related to pavement deterioration and the need to adopt innovative materials that extend the service life of highways. In this context, polymer modifiers become relevant because they provide significant improvements to the performance of conventional asphalt binders. Among these materials, EVA, a copolymer widely used in the footwear industry, and recycled rubber from discarded tires stand out, both being considered environmentally appropriate alternatives due to the reuse of waste materials that are difficult to degrade. The comparison between these two materials seeks to contribute to the development

of more durable pavements with a longer service life, resulting in longer-lasting roadways and greater safety for users.

Keywords: Comparison, Tire Rubber, Ethylene Vinyl Acetate (EVA).

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional em diversas regiões do Brasil, o meio rodoviário se tornou o principal meio de mobilidade de pessoas e escoamento de produção, contribuindo com um papel crucial para desenvolvimento socioeconômico e integração de todo território nacional. Com o aumento da frota veículos, intensifica o uso da infraestrutura viária, nessa perspectiva o setor de estradas na engenharia civil é marcado pela busca constante por novas tecnologias e eficiência, onde a inovação em materiais deixa de ser uma exceção para se tornar uma necessidade estratégica. Implantar novas rodovias e realizar manutenção a rede rodoviária é de suma importância, não apenas para garantir um fluxo de tráfego satisfatório, mas devido a importância das rodovias para o meio logístico e para a economia (Ferreira, 2021).

Com o crescimento da frota de veículos automotores utilizando as vias e as variações climáticas que vem se intensificando cada vez mais, surge a necessidade de melhorar a qualidade mecânica e térmica das misturas asfálticas na pavimentação, a fim de evitar defeitos estruturais (Cunha et al. 2024). Os problemas que assolam as estradas e vias brasileiras não são apenas meras inconveniências, mas um conjunto multifatorial que inclui questões estruturais, onde grande parte dos pavimentos rodoviários foram dimensionados e executados há anos, utilizando-se de métodos empíricos e com materiais defasados (CNT, 2024).

O ligante asfáltico é um material derivado do refino do petróleo, amplamente utilizado na pavimentação de rodovias. Os asfaltos que são aplicados na pavimentação asfáltica são denominados de Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP), também chamados de ligantes

asfálticos (Bernucci et al., 2022). O ligante asfáltico possui características viscoelásticas que o tornam adequado para unir os agregados e melhorar o desempenho dos pavimentos flexíveis, por ser uma das principais matérias que compõem a construção do pavimento, sua aplicação correta e o controle tecnológico são fundamentais para um pavimento mais efetivo.

O uso do polímero sempre foi importante na sociedade contemporânea, constituindo materiais presentes em utensílios domésticos e em aplicações tecnológicas nas áreas industriais, podendo ser classificados como naturais ou sintéticos. Segundo Canevarolo (2006), “Os polímeros são materiais constituídos por macromoléculas formadas pela repetição de pequenas unidades estruturais denominadas monômeros”. O desenvolvimento científico gerou, até o momento, um grande número de polímeros para atender às mais diversas áreas de aplicação. A versatilidade dos polímeros permite que suas características sejam adaptadas conforme a necessidade da aplicação, tornando-os importantes componentes no desenvolvimento de materiais mais resistentes.

As propriedades presentes nos polímeros vêm sendo estudadas de forma cada vez mais ampla, devido às suas características de elevar a resistência do pavimento, o que pode ser um aliado como uma alternativa mais durável e sustentável na construção de rodovias. “A modificação do CAP é recomendada particularmente nos casos em que o tráfego de veículos pesados é intenso ou na existência de grandes variações térmicas durante o ano” (Thiel, 2023, p. 41).

Os modificadores asfálticos se configuram como resíduo sólido urbano, tendo a borracha de pneus e o Etileno Acetato de Vinila (EVA), sendo aplicados como modificadores poliméricos para reduzir o descarte de resíduos em áreas ambientais. A incorporação desses materiais ao ligante asfáltico e ao betume possui uma série de desafios, no entanto, eles se consolidam como um dos principais agentes modificadores para atender à maior demanda de tráfego intenso e contribuir de forma efetiva para a resistência do pavimento. De acordo com o pesquisador Luciano Specht (2020), ainda falta no Brasil

incentivo, inclusive fiscal, para a utilização desse material nas pavimentações asfálticas.

O presente artigo está estruturado de forma lógica e clara, tendo como objetivo uma revisão bibliográfica, buscando informações consistentes e analisar parâmetros e propriedades entre os dois materiais poliméricos, a fim de realizar comparações entre ambos. Para isso, o artigo teve sua estrutura organizada com uma introdução sobre o tema, referencial teórico fundamentando cientificamente a pesquisa, procedimentos metodológicos detalhando as técnicas e os passos utilizados para validar os resultados, e por fim, a conclusão. Em síntese, a busca de dados se deu a partir de uma revisão bibliográfica de caráter exploratório, servindo como base para correlacionar as variáveis entre os dois materiais, como as características e as propriedades de ambos. Com isso, a partir da comparação entre ambos os polímeros, é possível investigar como o reaproveitamento desses resíduos pode contribuir de forma positiva para a durabilidade do pavimento asfáltico, além de demonstrar quais diretrizes podem ser tomadas e promover uma compreensão mais clara sobre o tema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

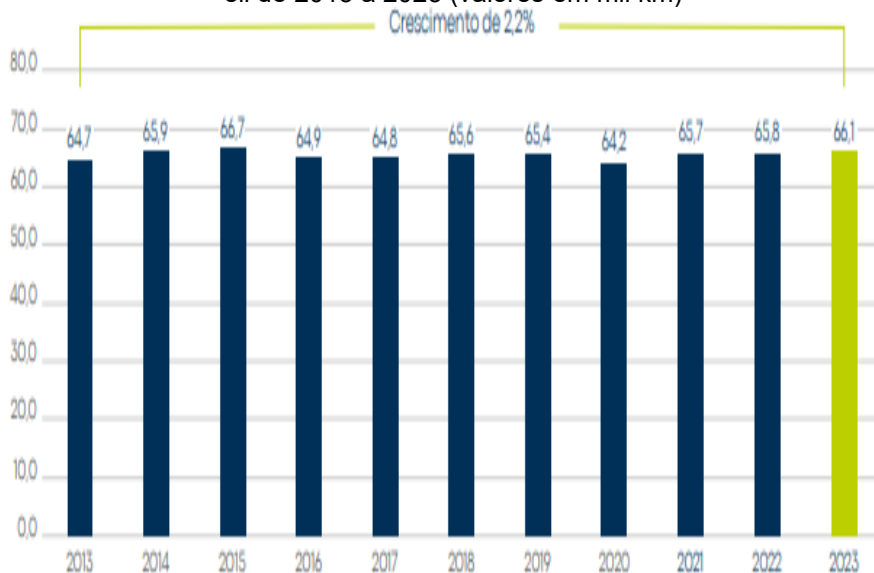
2.1 Infraestrutura Viária Brasileira

O meio rodoviário é o principal sistema de circulação de veículos e mobilidade de pessoas no Brasil. Com dimensões continentais, as estradas assumem um papel crucial no escoamento industrial e agrícola. Nesse cenário, o transporte rodoviário é o principal responsável pelo fluxo de bens, de forma eficaz e eficiente, desde um ponto fornecedor até os destinos pretendidos (Naves, 2022).

Entre as décadas de 1970 e 1990, com a interiorização do país, a malha rodoviária expandiu-se de maneira expressiva, exigindo a construção de eixos estratégicos de ligação. No entanto, de acordo com dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT), nas últimas décadas a pavimentação de estradas não tem sido suficiente para

alcançar a demanda da produção nacional do país, obtendo entre os anos de 2013 e 2023, um crescimento de apenas 2,2% com estradas pavimentadas, como é mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Evolução da Extensão das Rodovias Federais Pavimentadas no Brasil de 2013 a 2023 (valores em mil km)

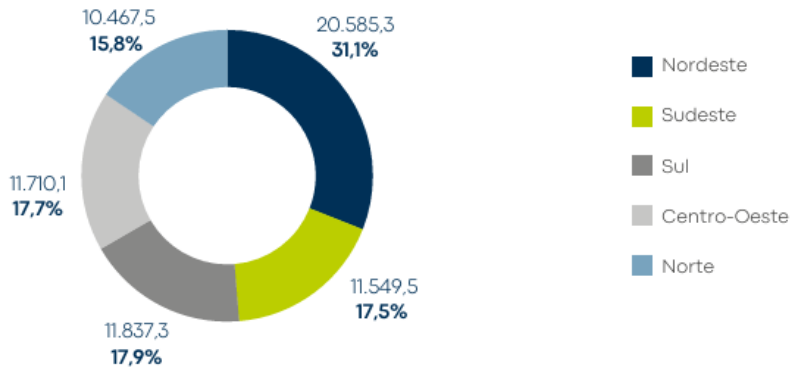


Fonte: Confederação Nacional do Transporte (CNT), 2024.

Atualmente, o sistema rodoviário abrange uma vasta rede de rodovias federais, estaduais e municipais, sendo responsável pelas interconexões entre cidades, polos industriais e áreas rurais, possibilitando sua integração e o desenvolvimento regional.

O grau de importância desse serviço pode ser avaliado quando se observa que o transporte rodoviário é realizado por ônibus, caminhões, carretas e até mesmo veículos de pequeno porte (Naves, 2022). Embora a malha rodoviária brasileira seja extensa, apenas uma pequena parcela é pavimentada, tendo uma diferença de distribuição que abrange especialmente entre as regiões Norte e Centro-Oeste, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Percentual da Extensão de Rodovias Federais Pavimentada por Região



Fonte: Confederação Nacional do Transporte (CNT), 2024.

Diferentemente de outros países que priorizam hidrovias e ferrovias, o Brasil optou pelo modal rodoviário, contudo, ainda há necessidade de mais investimentos na infraestrutura de pavimentação em regiões do nosso país. Nessa perspectiva, o Brasil ainda apresenta defasagem no modal rodoviário, resultado de décadas de investimentos insuficientes em expansão, modernização e manutenção. Como consequência, é comum, em alguns territórios, a presença de pavimentos deteriorados, com capacidade insuficiente para o grande tráfego de veículos.

Em relação a isso, uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) em 2025 mostrou um cenário preocupante: quase dois terços (63,9% ou 72.926 km) da malha rodoviária presente no Brasil apresenta algum nível de desgaste; e cerca de um terço (31,8%, somando trincas em malha/remendo, afundamentos/ondulações/ buracos e trechos destruídos) apresenta defeitos graves que comprometem a fluidez do tráfego. Apenas 4,3% (4.929 km) estão em condição perfeita, como é mostrado pela Tabela 1, elaborada com base nos estudos feitos sobre o estado das rodovias brasileiras.

Tabela 1 - Percentual da Condição da Superfície do Pavimento em Rodovias no Brasil

Condição da superfície do Pavimento	Extensão total	
	km	%
Perfeito	4.929	4,3
Desgastado	72.926	63,9
Trincas em malha/remendos	31.639	27,7
Afundamentos/ondulações/buracos	4.144	3,6
Destruído	559	0,5
Total	114.197	100

Fonte: Confederação Nacional do Transporte (CNT), 2025.

Um sistema rodoviário bem estruturado atrai novas indústrias e amplia mercados fortalecendo polos regionais. Em contrapartida, uma rodovia que apresenta péssimas condições de pavimentação notoriamente aumenta o custo das operações relacionadas aos transportes e reduz a segurança, o conforto e tranquilidade dos motoristas, passageiros e das cargas, além de causar acidentes (CNT, 2017).

Nesse panorama, mesmo apresentando melhorias, o sistema rodoviário brasileiro apresenta limitações significativas, a dependência quase exclusiva do modal rodoviário e a distribuição desigual de investimento comprometem a eficiência da rede. Na visão de Garcia (2023), apesar dos avanços recentes obtidos pelo Brasil nos investimentos em infraestrutura de transportes, o setor permanece como um dos mais relevantes entraves para o desenvolvimento e a competitividade do país, carecendo de mais investimentos.

2.2 O Uso de Modificadores Poliméricos no Ligante Asfáltico

O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), um dos principais materiais asfálticos modificados e utilizados na pavimentação, é proveniente da destilação do petróleo e tem como propriedade ser um adesivo termoviscoelástico, ou seja, possui propriedades viscoelásticas alteradas pela variação da temperatura. Segundo Bernucci et al. (2022),

o ligante asfáltico é a matéria-prima de asfaltos diluídos, emulsões asfálticas, asfaltos modificados, asfalto espuma e asfaltos soprados (industriais), sendo que este conjunto representa cerca de 40% do consumo, com os demais 60% usados nas aplicações a quente nas misturas denominadas de concreto asfáltico.

A crescente demanda por pavimentos mais duráveis e resistentes, tem impulsionado a adoção de novas tecnologias e materiais inovadores. A utilização de asfaltos modificados e a reciclagem de pavimentos despontam como alternativas para prolongar a vida útil das estradas e, com isso, reduzir os custos ao longo do ciclo de vida das rodovias. Segundo Felicetti, Guimarães e Nascimento (2022), com a necessidade de pavimentos que atendam às condições de volume e carga de tráfego cada vez maiores, novos materiais têm sido pesquisados em busca de melhorias no seu desempenho mecânico.

Tais avanços, como o uso de resíduos no ligante asfáltico são essenciais para que a infraestrutura das estradas seja mais segura e durável. O uso de asfaltos modificados por polímeros pode reduzir a frequência das manutenções e aumentar a vida de serviço de pavimentos de locais de difícil acesso ou de custo muito elevado de interrupção do tráfego para reparos (Bernucci et al, 2022).

A ampliação do uso de asfaltos modificados, técnicas de reciclagem de pavimentos aliada ao fortalecimento institucional e à inovação tecnológica, mostra-se uma alternativa promissora. Para tal propósito, políticas públicas e atualizações normativas além da utilização desses materiais inovadores, têm contribuído significativamente para elevar a qualidade da via. Conforme Santana (2021), há necessidade de obter melhorias ao desempenho do ligante asfáltico para que possa ser utilizado em situações adversas condições de ambientais ou tráfego intenso.

Os polímeros, quando incorporados ao ligante asfáltico, conseguem melhorar sua performance em condições de temperatura elevada ou baixa, além de aumentar a resistência a solicitações repetitivas do tráfego. Entre esses, citam-se vários polímeros que melhoram o desempenho do ligante. A tecnologia de modificação

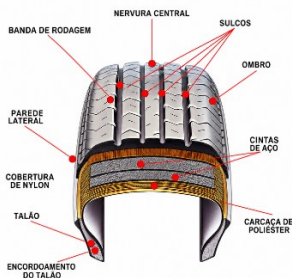
depende das aplicações e técnicas específicas (tratamento superficial, asfalto poroso, revestimentos para estradas com tráfego intenso, bases para estradas com tráfego pesado, camada antirreflexão de trincas, membranas impermeabilizantes etc.). (Bernucci et al, 2022).

2.3 Asfalto Modificado por Borracha de Pneus Inservíveis

A crescente geração de pneus inservíveis representa um dos principais desafios da gestão de resíduos sólidos, devido à elevada durabilidade e resistência desse material, que dificultam sua degradação natural. O descarte inadequado desses resíduos em aterros e terrenos baldios causa impactos ambientais e à saúde pública, favorecendo a proliferação de vetores de doenças e a contaminação do solo e da água. Nesse contexto, o reaproveitamento da borracha de pneus na pavimentação asfáltica surge como uma alternativa sustentável, pois proporciona uma destinação ambientalmente adequada ao resíduo e melhora as propriedades mecânicas e reológicas dos ligantes asfálticos.

O pneu de borracha é um produto de engenharia composto por uma combinação de materiais como a banda de rodagem, as lonas, cintas de aço, camada de tecido, entre outros, que atuam de forma integrada para proporcionar resistência mecânica, flexibilidade, durabilidade e segurança durante a circulação dos veículos. Logo abaixo, na Figura 3, é demonstrado os componentes que estão presentes na composição do pneu de borracha.

Figura 3 - Componentes do Pneu de Borracha



Fonte: Adaptado de Silva, 2015.

Sua composição é formada principalmente por borracha natural e borrachas sintéticas, como o estireno-butadieno (SBR) e o polibutadieno (BR), que conferem elasticidade, resistência ao desgaste e capacidade de suportar deformações repetidas. Também são incorporados negro de fumo e sílica, materiais que aumentam a resistência mecânica, melhoram a aderência ao pavimento e reduzem o desgaste da banda de rodagem.

Além disso, ingredientes como enxofre e caulim são essenciais. O enxofre é aquecido com a borracha em um processo chamado vulcanização, que transforma a borracha de um estado plástico (mole e maleável) em um estado elástico (mais resistente às deformações) (ABIN, 2024).

O pneu tornou-se um material indispensável no dia a dia da sociedade moderna, garantindo conforto, segurança e estabilidade aos veículos. Embora o pneumático seja um produto biodegradável, é de difícil decomposição, sendo aproximadamente 600 anos. (SANTOS, 2018). Além disso, o seu descarte inadequado aumenta o risco de incêndios, cuja queima libera gases tóxicos e substâncias potencialmente poluentes para o solo, a água e a atmosfera.

Segundo Santos (2018), uma das maiores dificuldades na reciclagem de resíduos de borracha está na irreversibilidade do processo de vulcanização, que é uma reação química por meio da qual os átomos de enxofre se ligam às cadeias principais dos polímeros, formando ligações cruzadas.

Para enfrentar esse problema, foram adotadas políticas públicas que estabelecem a responsabilidade pelo ciclo de vida desse resíduo, como a resolução CONAMA nº 416/2009, obrigando as fabricantes e importadoras a realizar a logística reversa. A atuação de entidades e fabricantes, têm sido fundamentais, ampliando pontos de coleta e cumprimento de metas para reciclagem do mesmo. Na tabela a seguir, é apresentada a quantidade, em toneladas, e a distribuição percentual do total de pneus inservíveis destinados para o cumprimento da meta, por região do país, segundo o IBAMA (2023):

Tabela 2 - Quantidade de Pneus Inservíveis Destinados por Região Brasileira (2023)

Região	Destinação (t)	Percentual
Sudeste	293.322,72	39,39%
Sul	193.707,530	26,01%
Centro-Oeste	172.623,73	23,18%
Nordeste	79.200,58	10,64%
Norte	5.784,81	0,78%
Total	744.639,37	100%

Fonte: Ibama/Consolidação de dados fornecidos pelas empresas em cumprimento à Res. CONAMA nº 416/2009, (2023).

As aplicações do pneu de borracha tiveram início na década de 1960, pelo americano Charles H. Macdonald, que conseguiu reparar alguns buracos utilizando o pó de borracha misturado ao asfalto convencional. Já no Brasil, os primeiros estudos com foco na inserção de borracha como modificador polimérico passaram a ser desenvolvendo na década de 1990, mas a aprovação e incentivo do uso da borracha em obras rodoviárias ocorreram apenas no ano de 1999, pela Res. nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (SOUZA, 2019).

O reaproveitamento da borracha do pneu na pavimentação asfáltica se consolida como solução tecnológica e ambientalmente sustentável, dessa forma, a borracha de pneus que antes iriam ser descartados no meio ambiente então passa a ser utilizada como material ligante ou até mesmo na obtenção de revestimento de camada seladora do asfalto (Ferreira, 2021).

Para esse propósito, a incorporação da borracha de pneus inservíveis ao ligante asfáltico requer processos e técnicas que favoreçam sua adequada interação com a matriz asfáltica, garantindo uma dispersão homogênea do material e o desenvolvimento das propriedades desejadas. Nesse contexto, a borracha atua como um

modificador elastomérico, sendo incorporada ao ligante por meio de processos específicos de mistura, nos quais suas características físicas e químicas contribuem para alterar o comportamento do CAP. Como resultado, o ligante modificado apresenta maior elasticidade, melhor recuperação após deformações, maior resistência à deformação permanente e ao envelhecimento, além de proporcionar um melhor desempenho estrutural. A Figura 3 que se encontra logo abaixo demonstra como ocorre o processo de reaproveitamento do pneu, que pode ser utilizado em áreas distintas.

Figura 4 - Processo de Reaproveitamento de Pneus Inservíveis



Fonte: Adaptado pelos autores (CANVA) 2026.

De acordo com Thiel (2023), o processo de adição do pneu de borracha ao ligante ocorre por meio de duas técnicas principais, sendo elas: o processo úmido e o processo seco. O processo úmido foi introduzido no início dos anos de 1970, nos Estados Unidos, sendo utilizado para evitar a reflexão precoce de trincas por fadiga em pavimentos recapeados. Nesse método, a mistura é executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta por agregado graduado, material de enchimento e asfalto-borracha via úmida do tipo “*Terminal Blending*” (estocável), espalhada e compactada a quente. (DNIT, 2009).

Já no processo seco, é caracterizado pela adição da borracha triturada diretamente na mistura asfáltica e se constituem em uma alternativa convencional de modificação destacando-se por ser mais simples de forma operacionalmente. Segundo Cava (2020), afirma que no processo seco, a borracha triturada é adicionada à mistura asfáltica como parte dos agregados da mistura, sendo chamada então de agregado-borracha. Logo, Ferreira (2021) destaca que é importante salientar que a adição de borracha à mistura modificada no processo seco só deve ser utilizada em misturas asfálticas a quente.

Embora o uso do processo seco seja mais simples do que o método úmido, as misturas asfálticas preparadas por meio do processo seco, em alguns casos, podem apresentar instabilidade volumétrica e redução da resistência, devido à substituição parcial dos agregados por grânulos de borracha (PRAZERES E LOPES, 2024). Diferentemente do processo úmido, no qual há uma interação química e reológica mais intensa entre o ligante e a borracha em altas temperaturas, no processo seco a borracha se comporta inicialmente como um agregado de baixa rigidez.

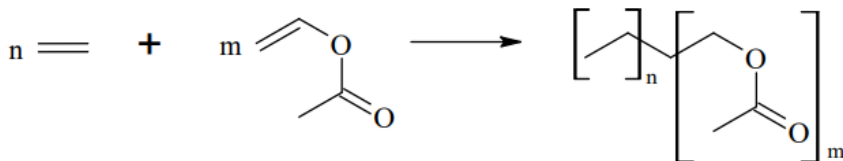
2.4 Potencial no Uso do Etileno Acetato de Vinila (EVA) no Ligante Asfáltico

O Etileno Acetato de Vinila, mais conhecido como EVA é um dos polímeros que mais gera resíduos industriais no Brasil, sendo amplamente utilizado nos setores calçadista e de embalagens, devido às suas propriedades de flexibilidade, leveza, resistência ao impacto. Em razão do elevado consumo desse material, a geração de resíduos de EVA tem aumentado significativamente, tornando-se um desafio ambiental para os polos industriais, uma vez que sua degradação natural é lenta e seu descarte inadequado contribui para o acúmulo de resíduos sólidos. Nesse contexto, o reaproveitamento desse material surge como uma alternativa sustentável, sendo sua incorporação ao ligante asfáltico uma solução promissora para a infraestrutura viária.

Segundo Vilela (2025), “o EVA é um copolímero semicristalino pertencente à classe das poliolefinas. Sua estrutura molecular é

composta por segmentos de etileno e acetato de vinila”, conforme demonstrado na Figura 5. A proporção de acetato de vinila na cadeia polimérica pode variar entre 5% e 60% em massa, dependendo das propriedades físico-químicas desejadas e da aplicação final do material.

Figura 5 - Reação de polymerização entre o Etileno e o Acetato de Vinila, para obtenção do copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA)



Fonte: VILELA, 2025.

Essa variação na composição influencia diretamente características como flexibilidade, resistência ao impacto, transparência e adesão, tornando o EVA um material versátil utilizado em setores como embalagens, calçados, indústria automotiva e dispositivos médicos (VILELA, 2025).

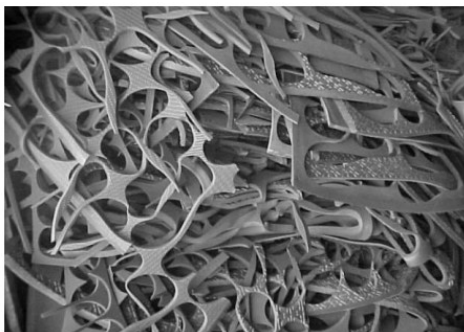
O aumento da concentração de acetato de vinila proporciona maior flexibilidade, elasticidade, transparência e adesividade ao material, enquanto maiores concentrações de etileno resultam em um copolímero com maior rigidez, resistência mecânica e estabilidade estrutural. Além dos dois componentes principais, pequenas quantidades de aditivos podem ser incorporadas para melhorar a resistência a altas temperaturas.

Devido às suas características, o EVA é bastante utilizado especialmente na produção de calçados. De acordo com o estudo feito por Gama (2023), o EVA com teor de acetato de vinila entre 18% e 28% é um material amplamente utilizado na indústria de calçados, sendo um dos principais materiais para sua confecção. Durante sua produção, cerca de 20% do material gerado torna-se resíduo, resultando, apenas no Brasil, em aproximadamente 7.932 toneladas descartadas anualmente em aterros ou lixões (Reis e Fernandes, 2021 *apud* Bezerra, Siqueira, Souza, 2025).

Assim como outros resíduos, quando descartado inadequadamente, o EVA pode causar impactos ambientais significativos devido às suas propriedades. Um agravante dos resíduos de EVA é que não são biodegradáveis, são polímeros termoplástico que não podem ser reprocessados e causam acúmulos em aterros sanitários, fazendo com que o seu armazenamento ou deposição a céu aberto provoque problemas que vão desde a poluição visual até a possibilidade de propagação de insetos e de combustão desse material (RODRIGUES, 2026).

Com isso, a incorporação de rejeitos industriais na construção de rodovias, representa uma solução sustentável, ao transformar um resíduo amplamente utilizado em insumo para construção civil, evitando o acúmulo desse material e a contaminação do meio ambiente. Ao incorporar esses resíduos na pavimentação asfáltica, não apenas se evita o acúmulo em aterros sanitários e lixões, mas também se aproveita um material com propriedades que podem melhorar as características do pavimento (SOUZA, 2024).

Figura 6 - Resíduos da Indústria Calçadista Proveniente do Corte de Chapas de EVA



Fonte: ZATTERA, 2005.

O processo de utilização do EVA no ligante asfáltico geralmente envolve a mistura do polímero ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) em altas temperaturas. Após a sua incorporação, o EVA atua modificando a estrutura interna do ligante. A escolha do polímero depende do desempenho desejado e de sua compatibilidade com

betume, assim, o EVA pode ser incorporado diretamente ao ligante asfáltico, sendo um método eficiente, garantindo uma melhor homogeneidade.

Shinohara (2017) cita uma compilação de vantagens do ligante modificado pelo polímero EVA em relação aos convencionais, como: aumento da viscosidade, diminuição do valor de penetração, melhor desempenho na recuperação elástica, maior resistência à umidade.

Embora seja menos rígido que outros copolímeros como Policloreto de Vinila (PVC), o EVA contribui para reduzir o surgimento de deformações, neste contexto, a modificação de ligantes asfálticos, ou seja, quando o EVA é adicionado ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) em condições controladas, ele se funde e dispersa, formando uma rede que reforça a matriz asfáltica. Como mudança nas propriedades do ligante, uma das principais características do polímero EVA no ligante asfáltico é o aumento da viscosidade, a qual diminui a suscetibilidade à deformação permanente devido, em parte, à capacidade de solubilização do EVA nas frações saturadas do asfalto (SHINOHARA, 2017).

Para Bacarini (2019) o Etileno Vinil Acetato (EVA) possui diversas características notáveis, como flexibilidade, tenacidade, resistência a quebras sob tensões, ótima transparência, facilidade de moldagem, baixo custo e propriedades termoplásticas. Todas essas características presentes no material podem resultar em melhorias nas propriedades dos pavimentos, tornando-os mais resistentes às condições de tráfego intenso e às condições climáticas. O uso do material ainda apresenta desafios, no entanto, diversos estudos indicam que os benefícios em termos de desempenho podem compensar os custos adicionais ao longo do ciclo de vida do pavimento.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Procedimentos Metodológicos

Para a realização do presente artigo, foi executado um esquema metodológico, promovendo a realização de uma análise comparativa entre o Etileno Acetato de Vinila e a borracha de pneus. O artigo teve como objetivo reunir, interpretar e comparar informações teóricas e resultados experimentais de diferentes estudos que tratam da aplicação de termoplásticos e elastômeros como modificadores poliméricos de misturas asfálticas.

A metodologia adotada foi desenvolvida por meio de uma pesquisa de natureza qualitativa e caráter exploratório, do tipo bibliográfica, fundamentada na coleta, leitura e análise de materiais científicos já publicados sobre o tema proposto. Para obtenção dos resultados, foi realizada uma busca por materiais científicos em base de dados sobre o assunto acadêmica com ênfase principalmente nos anos de 2020 a 2026, além de teses e dissertações com relevância acadêmica no assunto publicados de 2017 a 2020, tendo como fonte de pesquisa o Google Acadêmico, SciELO e o Ser Educaciona publicados na língua portuguesa e espanhola.

Foi realizado um levantamento bibliográfico com foco na área de engenharia civil e pavimentação. Logo após, foram selecionados cerca de 44 artigos, relatórios, teses e dissertações publicados preferencialmente nos últimos anos, que abordam o uso de resíduos poliméricos no Cimento Asfáltico de Petróleo. Em seguida, foram definidos os critérios a serem seguidos para a coleta de dados e para a exclusão de trabalhos acadêmicos que não apresentaram parâmetros relevantes para a comparação proposta ou que não possuísem fundamentação técnica consistente.

Posteriormente, procedeu-se à realização da leitura analítica e da interpretação dos dados dos materiais, buscando identificar parâmetros relevantes como desempenho mecânico, propriedades reológicas e viscosidade, conforme apresentado na tabela abaixo.

Tabela 3 - Resumo do processo de obtenção dos dados utilizado no artigo

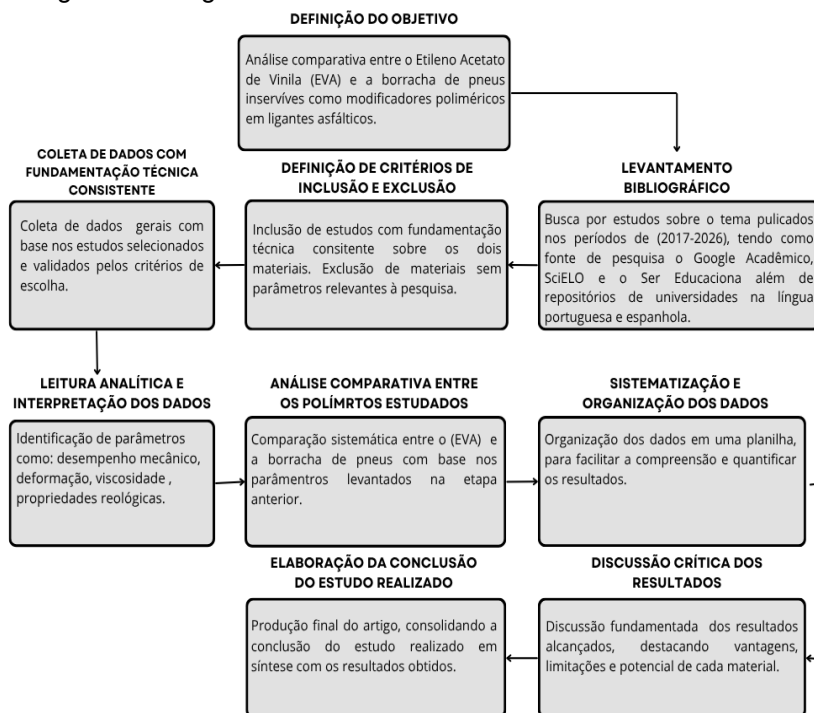
Base de dados	Ano de publicação	Estudos obtidos	Número de resultados	Critério de seleção (Descritores)	Estudos selecionados após o critério de seleção
Google Acadêmico	2017-2026	Etileno Acetato de Vinila (EVA)	18	DESEMPENHO MECÂNICO, DURABILIDADE, VISCOSIDADE, PROPRIEDADES REOLÓGICAS E DEFORMAÇÃO.	11
		Borracha de Pneus	19		9
		Modificadores asfálticos	3		2
SciELO	2022-2026	Etileno Acetato de Vinila (EVA)	0	DESEMPENHO MECÂNICO, DURABILIDADE, VISCOSIDADE, PROPRIEDADES REOLÓGICAS E DEFORMAÇÃO.	0
		Borracha de Pneus	2		1
		Modificadores asfálticos	1		0
Ser Educacional	2020	Etileno Acetato de vinila (EVA)	0	DESEMPENHO MECÂNICO, DURABILIDADE, VISCOSIDADE, PROPRIEDADES REOLÓGICAS E DEFORMAÇÃO.	0
		Borracha de Pneus	1		0
		Modificadores asfálticos	0		0
TOTAL			44		23

Fonte: Autoria própria, (2026).

Sendo assim, foi possível organizar e sistematizar os dados obtidos de cada material, apresentando-os de forma clara e objetiva. Para a realização da análise comparativa, os dados extraídos são então comparados de forma crítica, permitindo identificar mudanças e padrões observados na literatura. A comparação feita é apresentada

por meio de tabelas, gráficos e discussões em texto, evidenciando os aspectos quantitativos e qualitativos. Com isso, foi possível contribuir para uma compreensão melhor do desempenho dos modificadores poliméricos. Além disso, foi produzido um fluxograma e uma planilha resultando na organização dos resultados e na conclusão do artigo.

Figura 7 - Fluxograma representativo de como ocorreu os procedimentos metodológicos do artigo



Fonte: Autoria própria, 2026.

Para atingir os resultados da pesquisa, foi realizada uma análise criteriosa de vários estudos sobre os materiais, como foi citado no procedimento metodológico. Com base na pesquisa bibliográfica obtida, foi realizada uma leitura analítica sobre os artigos científicos, dissertações e teses que abordassem os materiais envolvidos na pesquisa, sendo verificado quais foram as principais mudanças adquiridas com a adição dos dois materiais e o que eles trazem de significativo às propriedades dos ligantes asfálticos.

Para isso, foi realizada uma busca em sites acadêmicos, sendo obtidos 44 estudos publicados sobre modificadores poliméricos de forma mais abrangente. Logo após, foi necessário fazer um processo de seleção dos estudos de forma mais específica sobre o Etileno Acetato de Vinila (EVA) e a Borracha de Pneus, sendo selecionados 23 pesquisas (12 sobre pneus de borracha e 11 sobre o EVA). Com isso, foi realizada uma organização de todos os trabalhos acadêmicos em uma planilha no software Excel como é demonstrado como exemplo na Tabela 4, com o intuito de ser realizado a comparação entre os dois modificadores de maneira mais clara e objetiva, demonstrando quais vantagens cada um dos dois materiais possui.

Tabela 4 - Representação de como foi organizado os resultados obtidos pelos autores

Nº	Ano	Autor(es)	Título	Tipo de Trabalho	País / Idioma	Tipo de Estudo	Objetivo Principal
1	2024	JOÃO PAULO MARÇAL DE SOUZA	PROPRIEDADES DE MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA) MODIFICADAS PELO RESÍDUO DO ETILENO ACETATO DE VINILA (EVA) PROVENIENTE DA INDÚSTRIA CALÇADISTA	TCC	Português (BR)	EXPERIMENTAL	Avaliar as propriedades funcionais de misturas asfálticas do tipo camada porosa de atrito (CPA) modificadas pelo resíduo do Etileno Acetato de Vinila (EVA) proveniente da indústria calçadista.
2	2023	Eduarda Fontoura	INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS EM MISTURAS ASFÁLTICAS: ANÁLISE TÉCNICA E POTENCIAIS IMPACTOS AMBIENTAIS	Dissertação de Mestrado	Português (BR)	EXPERIMENTAL	Estudo sobre a viabilidade técnica e potenciais impactos ambientais de ligantes asfálticos produzidos com resíduos poliméricos.
3	2017	KEYLA JUNKO CHAVES SHINOHARA	EFEITO DA MODIFICAÇÃO DO LIGANTE PELO POLÍMERO EVA NO CONCRETO ASFÁLTICO E SUA INFLUÊNCIA NO DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO	Tese de Doutorado	Português (BR)	EXPERIMENTAL	Estudo do comportamento das misturas asfálticas pela modificação do ligante, por diferentes teores de polímero EVA nas misturas asfálticas, em relação às propriedades mecânicas de módulo de rigidez e deformações admissíveis.
4	2021	MARIA IASMIM BARROSO DE SANTANA	REVISÃO SISTEMÁTICA: RESÍDUOS POLIMÉRICOS COMO MODIFICADORES DAS PROPRIEDADES DE LIGANTES ASFÁLTICOS	Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)	Português (BR)	Revisão Bibliográfica	Analisar estudos que abordam a utilização de produtos derivados de resíduos poliméricos na pavimentação asfáltica.

Fonte: Autoria própria, 2026.

Para a comparação entre ambos os modificadores, foi realizado o levantamento de autores, anos de publicação e seus principais resultados, tendo como aspectos centrais de análise os objetivos de cada estudo e as características modificadas em decorrência da incorporação dos materiais ao ligante asfáltico. Foram avaliados parâmetros relacionados ao desempenho mecânico, propriedades reológicas, viscosidade e deformação permanente, buscando identificar as principais vantagens e limitações associadas a cada modificador. Como é demonstrado acima, os dados obtidos foram organizados e sistematizados em planilhas, permitindo uma análise comparativa mais detalhada entre os resultados encontrados na literatura. A comparação dos estudos possibilitou verificar tendências, semelhanças e divergências entre os materiais, contribuindo para uma melhor compreensão de seus efeitos sobre o comportamento dos pavimentos asfálticos e sua aplicação em diferentes condições de tráfego e clima.

Tabela 5 - Representação de como foi organizado os resultados obtidos pelos autores

DESEMPENHO MECÂNICO	VISCOSIDADE	Propriedades Reológicas	DEFORMAÇÃO
Foi observado que a presença do EVA melhorou o grau de desempenho, melhorando sua rigidez e elasticidade do ligante asfáltico.	A maior viscosidade apresentada pelo CAP modificado deve-se, naturalmente, a presença do copolímero (EVA).	As propriedades reológicas do CAP foram modificadas na presença do EVA, verificando-se melhora no grau do desempenho do ligante. Contribui para uma melhor adesão entre agregados e asfalto, além de melhorar a resistência a oxidação.	O polímero melhora o comportamento elástico do asfalto e contribui para a sua resistência a deformação permanente e às trincas por fadiga.
O resultado com maior valor para a resistência à tração por compressão diametral ocorreu para as misturas asfálticas com modificação do ligante asfáltico de 4% do teor do EVA, com uma RT de 1,28 Mpa.	CAP modificado com 8% de EVA tende a apresentar uma viscosidade mais alta em comparação com outros modificadores, como Polyphosphoric Acid (PPA), Elvaloy e SBS, tanto a 135°C quanto a 177°C, evidenciando a significativa influência desse polímero no aumento da viscosidade do ligante modificado.	NÃO FOI ABORDADO NO ESTUDO REALIZADO	Conforme esperado, nota-se que houve o aumento de aproximadamente 16,36% da deformação medida em que houve o aumento do teor do resíduo do EVA nas amostras modificadas CPA01, CPA02 e CPA03, em comparação com a amostra de referência REF.
O resultado do estudo indica o aumento da rigidez dos ligantes com o acréscimo de resíduos. Nota-se também que a inserção de 2% de EVA foi a que gerou o maior valor de RT.	A incorporação de 2% EVA foi a que apresentou as maiores variações em termos de viscosidade.	Estrutura com EVA apresentou um menor valor de impacto nesta categoria	O ensaio realizados para medir resistência à deformação permanente indicou que a utilização de resíduos poliméricos possui potencial para a melhora do parâmetro, principalmente para as misturas contendo 2% de EVA.
As propriedades mecânicas de módulo de rigidez e deformações admissíveis das misturas modificadas pelo polímero EVA. Obteve-se um melhor desempenho das misturas modificadas em relação às misturas convencionais.	O aumento da viscosidade é uma característica herdada pela modificação com polímero EVA , com o aumento do teor de polímero.	Em relação ao envelhecimento, os asfaltos modificados pelo EVA apresentam resultados mais eficientes em relação ao SBS, pois possuem menor ângulo de fase ganhando elasticidade, ao contrário do asfalto modificado pelo SBS.	Todos os resultados do ensaio de Deformação Permanente são satisfatórios quanto à especificação normativa de no máximo 10% de afundamento da espessura inicial.

Fonte: Autoria própria, 2026.

Esse procedimento foi aplicado aos 23 trabalhos acadêmicos selecionados para a pesquisa, sendo analisados os autores, os objetivos, os anos de publicação, as metodologias empregadas e as principais melhorias e resultados apresentados por cada estudo. As informações obtidas foram organizadas e comparadas de forma sistemática, permitindo identificar tendências, convergências e divergências entre os estudos analisados.

3.2 Resultados e Discussão

3.2.1 Desempenho mecânico dos ligantes modificados

A análise comparativa dos estudos selecionados demonstra que o Etileno Acetato de Vinila (EVA) e a borracha de pneus apresentam potencial significativo para melhorar o desempenho mecânico dos ligantes asfálticos. De maneira geral, os autores relatam aumento da resistência mecânica, melhoria da elasticidade e maior capacidade de suportar às solicitações geradas pelo tráfego de veículos. No entanto, observa-se que os estudos analisados empregam diferentes metodologias, percentuais de incorporação e condições experimentais, o que dificulta comparações quantitativas diretas entre os resultados.

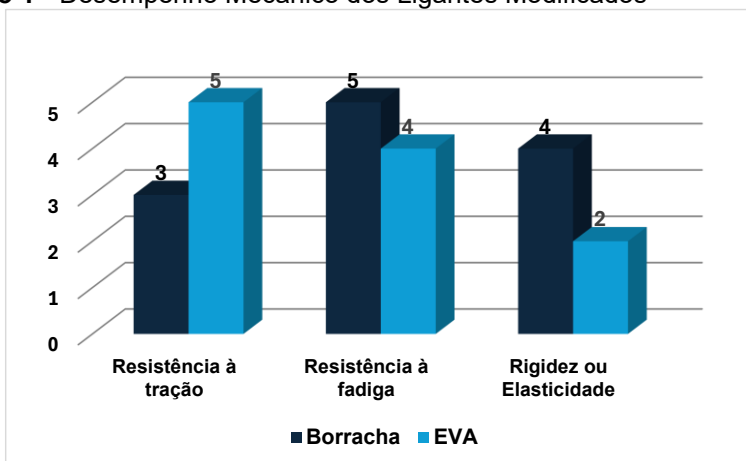
No que se refere ao desempenho mecânico, os dois materiais mostram ganhos relevantes. O desempenho mecânico corresponde à capacidade do material de resistir às solicitações imposta pelo tráfego, mantendo suas propriedades estruturais e funcionais ao longo da vida útil do pavimento. Para avaliar essas características, são realizados ensaios laboratoriais padronizados que verificam melhorias na resistência à tração, na resistência à fadiga e na rigidez.

Estudos envolvendo o EVA, apresentaram melhorias no desempenho dos ligantes asfálticos. Isso foi observado por Alencar (2019), cujos resultados indicaram que a adição de 5% de EVA promoveu um incremento de 5,0% na resistência à tração e de 10,4% no módulo de resiliência, em comparação com a mistura convencional,

atendendo aos requisitos estabelecidos pela norma ES DNIT 031 (DNIT, 2024b).

Em contrapartida, os estudos sobre a utilização da borracha de pneus promoveram ganhos mecânicos mais relacionados a resistência à fadiga. Para Thiel (2023), um dos principais resultados obtidos destaca que os ligantes modificados com borracha apresentaram a melhor resistência à fadiga e à deformação permanente quando comparados ao CAP convencional. Da mesma forma, Cunha et al. (2024) destacaram o aumento da resistência à tração, maior aderência e ampliação da vida útil do pavimento. De acordo com o Gráfico 1, verificam-se as alterações no desempenho mecânico atingidas pelos autores.

Gráfico 1 - Desempenho Mecânico dos Ligantes Modificados



Fonte: Autoria Própria, 2026.

Comparativamente, o EVA apresenta resultados quantitativos mais expressivos em ensaios laboratoriais específicos como a resistência à tração, enquanto a borracha demonstra melhor desempenho global em condições de tráfego e fadiga. Verifica-se que a borracha de pneus tende a proporcionar maiores ganhos relacionados à elasticidade e a resistência à fadiga. Dentre os 12 estudos analisados, 5 apontam um desempenho significativo quanto a resistência à fadiga e 3 apresentaram maior resistência à tração. Por outro lado, o EVA, em

11 estudos analisados, apresentou vantagem em seu desempenho, principalmente associada ao aumento da rigidez e da resistência à tração, sendo que 5 estudos relataram aumento da resistência à tração.

Essa diferença pode ser explicada pelas características físico-químicas dos modificadores. Enquanto a borracha possui comportamento predominantemente elastomérico, favorecendo a recuperação elástica do material, o EVA atua como um polímero termoplástico capaz de aumentar a coesão do ligante.

3.2.2 Influência dos modificadores na viscosidade

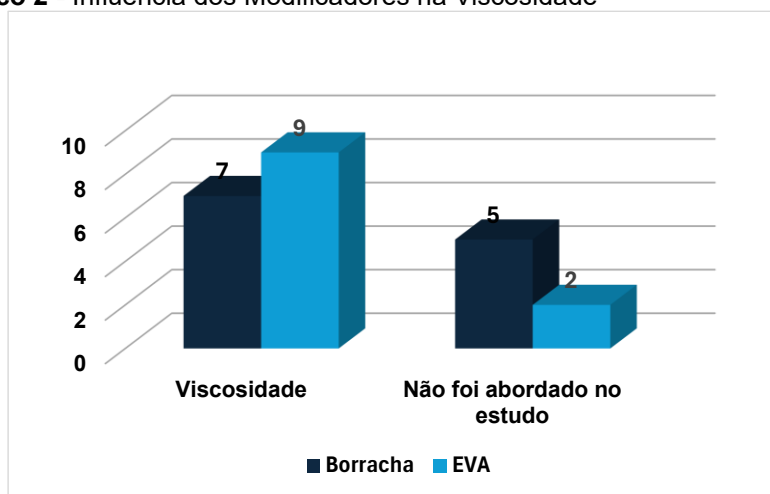
Em relação a viscosidade, ambos os materiais promoveram o aumento eficaz desse parâmetro. A viscosidade representa a resistência do material ao escoamento ou à deformação quando está submetido a uma força. Em termos práticos, ela indica o grau de fluidez do ligante em diferentes temperaturas, sendo uma das principais propriedades que garantem a mistura dos agregados no pavimento. Dessa forma, promover a melhora dessa propriedade é essencial para assegurar um desempenho superior do revestimento asfáltico.

Nos estudos com Etileno Acetato de Vinila (EVA), observa-se um aumento significativo da viscosidade em praticamente todas as pesquisas analisadas. Souza (2024) relatou que o CAP modificado com 8% de EVA tende a apresentar uma viscosidade mais alta em comparação com outros modificadores, como Polyphosphoric Acid (PPA), Elvaloy e SBS, tanto a 135°C quanto a 177°C, evidenciando a significativa influência desse polímero no aumento da viscosidade do ligante modificado.

De forma semelhante, Fontoura (2023), observou que a incorporação de 2% de EVA em sua pesquisa foi a que apresentou as maiores variações em termos de viscosidade em comparação com outros polímeros. Entretanto, algumas publicações demonstraram que percentuais excessivos podem dificultar os processos construtivos e elevar o consumo energético durante a produção das misturas.

Levando em consideração os parâmetros promovidos pela borracha de pneus, Ferreira (2021) sustenta em seu estudo que o asfalto com borracha possui valores elevados de viscosidade, ponto de amolecimento e recuperação elástica do asfalto-borracha fazendo com que ele sofra menos danos do tráfego, o que contribui para uma das vantagens mais significativas da utilização do asfalto ecológico. Já Fagundes e Correa (2020), destacam o aumento da viscosidade e da elasticidade proporcionado pela borracha proveniente de pneus. O Gráfico 2, apresenta os resultados obtidos pelos autores em relação a viscosidade.

Gráfico 2 - Influência dos Modificadores na Viscosidade



Fonte: Autoria Própria 2026.

Foi observado que tanto a incorporação do EVA quanto a borracha de pneus proporcionaram resultados positivos, indicando melhorias no comportamento do material. Como foi demonstrado no Gráfico 2, entre os trabalhos analisados, 9 estudos com ligantes modificados com EVA e 7 envolvendo estudos a borracha de pneus apresentaram aumento da viscosidade de maneira significativa. Dessa forma, embora ambos elevem a viscosidade, o EVA produz um endurecimento mais pronunciado do ligante, enquanto a borracha

associa esse aumento a uma maior capacidade de deformação elástica, devido ao seu comportamento elástico.

3.2.3 Propriedades reológicas e comportamento ao envelhecimento

As propriedades reológicas representam um dos aspectos mais investigados na literatura sobre asfaltos modificados, uma vez que estão diretamente relacionadas ao desempenho do pavimento ao longo de sua vida útil. Esse parâmetro corresponde ao conjunto de características que descrevem como o material se comporta quando submetido a tensões ou deformações em diferentes condições de temperatura, processos oxidativos, intempéries ou carregamentos repetitivos.

Para a avaliação das propriedades reológicas, faz-se necessário o uso de ensaios laboratoriais específicos, que simulam as condições de serviço do pavimento. O *Rolling Thin Film Oven Test* (RTFOT) é um dos principais ensaios realizados pelos autores, pois simula o envelhecimento durante a produção e aplicação do asfalto. Outro ensaio também utilizado é o *Pressure Aging Vessel* (PAV), que reproduz o envelhecimento de longo prazo ocorrido durante a vida útil do pavimento.

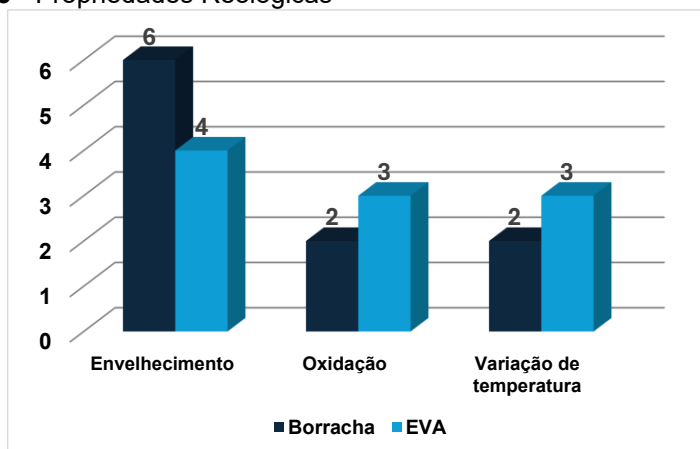
As pesquisas envolvendo o EVA demonstraram o aumento da resistência a oxidação além de promover uma maior rigidez e elevação do grau de desempenho do ligante. Conforme relatado por Shinohara (2017) em seu estudo em relação ao envelhecimento, os asfaltos modificados com o EVA apresentam resultados mais eficientes em relação ao SBS, pois possuem menor ângulo de fase ganhando elasticidade, promovendo uma maior resistência à oxidação.

Ainda como resultado do EVA, Santana (2021) verificou que os resultados indicaram maior estabilidade em atmosfera oxidativa. Com isso, os CAP's modificados com EVA mostraram-se mais resistentes às trincas térmicas, também se tornaram mais resistentes à decomposição oxidativa.

Quanto aos resultados da borracha de pneus, os estudos indicam um desempenho ainda mais expressivo. Prazeres e Lopes (2024), asseguram que a adição de borracha de pneus moídos ao ligante asfáltico pode aumentar a resistência ao envelhecimento devido à presença de elementos antienvelhecimento, como o carbono preto, presente nas partículas de borracha moída. Além disso, a adição de borracha de pneus moídos ao ligante asfáltico aumenta a espessura do filme de asfalto na superfície do agregado, o que contribui para uma maior resistência ao envelhecimento. Da mesma forma, Fagundes e Correa (2020), destacaram em sua pesquisa a elevada resistência à oxidação e ao envelhecimento precoce com o uso do material.

Em linhas gerais, sob o aspecto reológico, a borracha apresenta vantagem quanto ao envelhecimento. Entre os estudos analisados sobre esse modificador, 10 identificaram benefícios associados à incorporação da borracha de pneus, sendo que 6 apresentaram resultados expressivos nesse parâmetro. Por outro lado, o EVA se destaca promovendo uma melhor resistência a oxidação e estabilidade térmica em altas temperaturas, além de um material eficaz no processo de envelhecimento do ligante asfáltico. Como pode ser observado no Gráfico 3, são apresentados os resultados obtidos pelos autores que analisaram esse parâmetro.

Gráfico 3 - Propriedades Reológicas



Fonte: Autoria Própria, 2026.

Embora ambos os modificadores apresentem efeitos positivos, a literatura sugere que a borracha tende a oferecer melhor desempenho nos ensaios de envelhecimento, enquanto o EVA proporciona maior durabilidade frente às variações de temperatura e aos processos oxidativos. Essa complementaridade demonstra que a escolha do modificador deve considerar as condições específicas como clima e os mecanismos de deterioração predominantes na região de implantação do pavimento.

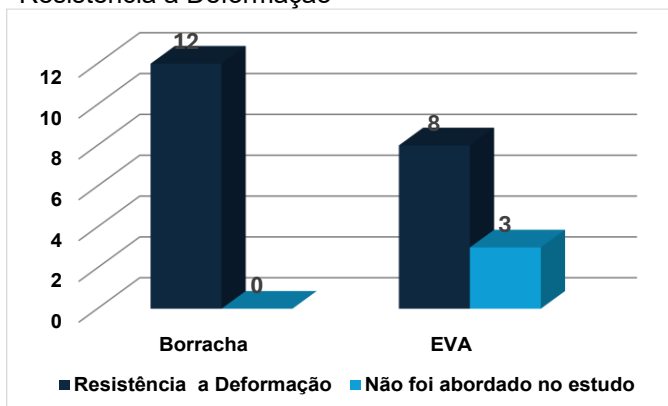
3.2.4 Resistência à deformação

A deformação permanente constitui uma das principais patologias observadas em pavimentos asfálticos submetidos a tráfego intenso e elevadas temperaturas, sendo, por isso, um dos principais parâmetros avaliados pelos autores. Os dois materiais demonstraram capacidade de reduzir a deformação no pavimento. Contudo, os resultados sugerem uma ligeira superioridade da borracha de pneus. Nessa perspectiva, Thiel (2023), verificou que o CAP modificado com borracha apresentou resistência à deformação permanente superior à do CAP modificado com SBS, inclusive sob temperaturas de até 70 °C. De maneira semelhante Oliveira (2020), concluiu que as misturas asfálticas comparadas na literatura para os fenômenos de fadiga, flexão e o ensaio de Deformação Permanente, a mistura com maior resistência a defeitos foi a mistura com asfalto-borracha analisado em seu estudo.

Com relação aos resultados do EVA, Vallejos (2024) em seu experimento envolvendo a incorporação do polímero em proporções de 3% e 5% em relação ao peso do aglutinante base, com a realização de testes laboratoriais para analisar seu comportamento. Os resultados revelaram que o aglutinante modificado com EVA apresentou alta resistência a altas tensões e maior capacidade de resistir à deformação.

Da mesma forma, Shinohara (2017), todos os resultados do ensaio de deformação permanente, atenderam aos requisitos normativos, sendo satisfatórios quanto à especificação normativa de no máximo 10% de afundamento da espessura inicial.

Gráfico 4 - Resistência à Deformação



Fonte: Autoria Própria, 2026.

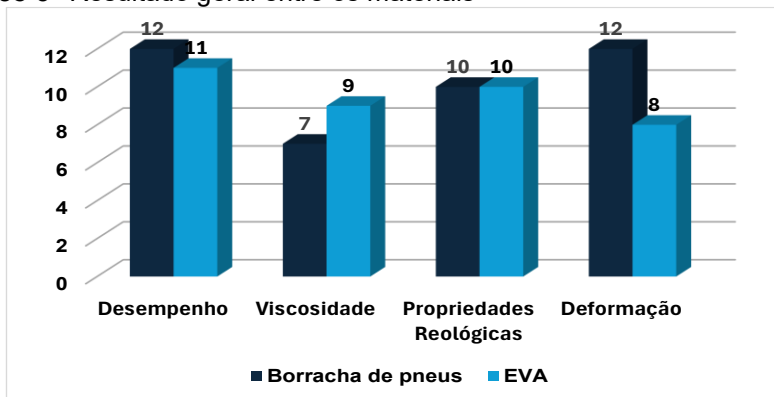
Contudo, alguns estudos indicam que teores superiores a 5% de EVA não produzem ganhos proporcionais adicionais, sugerindo um limite de eficiência para o polímero. Alguns autores destacam que teores excessivos de EVA podem tornar o ligante excessivamente rígido, aumentando o risco de fissuração em baixas temperaturas. Da mesma forma, quantidades elevadas de borracha podem dificultar a homogeneização da mistura e comprometer sua trabalhabilidade. Esses aspectos evidenciam a importância da definição criteriosa dos percentuais de incorporação.

3.2.5 Síntese dos resultados

Os estudos analisados apresentam forte convergência quanto aos benefícios proporcionados pelos dois materiais, incluindo o aumento da resistência mecânica, a melhoria das propriedades

reológicas, a maior resistência à deformação permanente e o incremento da durabilidade dos pavimentos.

Gráfico 5 - Resultado geral entre os materiais



Fonte: Autoria Própria, 2026.

Portanto, os resultados indicam diferenças importantes entre os modificadores analisados, evidenciando que ambos apresentam potencial para melhorar o desempenho dos ligantes asfálticos, embora atuem de maneira distinta, como é demonstrado nos Quadros 1 e 2. A borracha de pneus destaca-se principalmente pelo aumento da elasticidade, pela melhoria da resistência à fadiga e da resistência à deformação permanente, características que contribuem para reduzir o surgimento de trincas e deformações causadas pelo tráfego.

Quadro 1 - Autores e seus Principais Resultados Utilizados no Artigo

REFERÊNCIAS (AUTORES)	PORCENTAGEM DO MATERIAL (%)	PRINCIPAIS RESULTADOS (BORRACHA DE PNEUS)
Fernando Dantas Fagundes e Willian Correa (2020)	6,70%	Foi verificada uma maior resistência em relação às deformações plásticas, evitando a formação das indesejáveis trilhas de rodas, mencionadas anteriormente, encontradas em rodovias construídas com o asfalto convencional.
CUNHA, Fabiano Martins et al. (2024)	-	Aumento da resistência à tração, maior resistência ao envelhecimento e trincas, maior flexibilidade, maior aderência e aumento da vida útil do pavimento.

Douglas Antônio Thie (2023)	15%	Em um contexto geral, observa-se que a incorporação de borracha moída de pneus ao CAP causa um aumento da sua viscosidade e os melhores resultados em ensaios de deformação permanente.
Maria Sheila da Silva Ferreira (2021)	-	O benefício da utilização da borracha de pneus em um pavimento asfáltico é melhorar o desempenho, aumentando a rigidez a elevadas temperaturas. Outros autores citam que acrescentam a durabilidade do asfalto-borracha chega a ser o dobro se comparado aos pavimentos convencionais.
Frayanne Fernandes Prazeres e Valdilea Ferreira Lopes (2023)	-	Foi verificado que houve redução dos valores de deformação por fluência, melhorou a elasticidade e a rigidez, aumentou o módulo complexo em temperaturas mais altas.
Marcio Evandro Guimarães (2019)	13%	Considerando o ensaio de cisalhamento dinâmico nos CAP's modificados, se constatou aumento significativo da resistência à deformação em altas temperaturas.
Felipe Lima de Oliveira; Sandra Fabiana Rodgher; Fabiana Florian (2025)	15%	Testes de laboratório demonstram que placas de asfalto-borracha resistem a um número maior de ciclos de carga sem apresentar fissuras ou deformações permanentes: enquanto uma placa de CBUQ deformou 13% após 10.000 ciclos, uma placa de asfalto-borracha apresentou apenas 5% de deformação após 30.000 ciclos.
Maria Iasmim Barroso de Santana (2021)	-	A adição de 12 a 18% de borracha ao ligante produz misturas com maior resistência à fadiga e a deformações permanentes e maior durabilidade.
Yuri Mello Müller de Oliveira (2020)	15%	A adição do polímero aos asfaltos convencionais é uma alternativa que proporciona um significativo incremento do desempenho mecânico dos pavimentos asfálticos em relação à deformação permanente e fissuração por fadiga.
Gustavo Henrique Pereira Barbosa e Rafael Moraes de Andrade (2024)	-	Foi possível analisar a significativa melhora na resistência à deformação permanente e à fadiga e o aumento da resistência a intempéries, como variação da temperatura e radiação.
Arthur Nóbrega de Sousa (2026)	5%, 10% e 15%	Do ponto de vista de deformação permanente, essa elevação de rigidez tende a ser benéfica, pois aumenta a resistência ao escoamento em temperaturas elevadas.
Enock Akode-djro (2024)	-	Observa-se uma otimização das características técnicas, resultando em maior resistência, durabilidade e elasticidade em comparação com o asfalto convencional.

Fonte: Autoria Própria, 2026.

O EVA, por sua vez, apresenta desempenho mais expressivo no aumento da resistência à tração, da resistência às variações de temperatura, viscosidade, proporcionando maior capacidade diante de diferentes condições climáticas e de oxidação.

Quadro 2: Autores e seus Principais Resultados Utilizados no Artigo

REFERÊNCIAS (AUTORES)	PORCENTA- GEM DO MATE- RIAL (%)	PRINCIPAIS RESULTADOS (EVA)
João Paulo Marçal de Souza (2024)	4%	O resultado com maior valor para a resistência à tração por compressão diametral ocorreu para as misturas asfálticas com modificação do ligante asfáltico de 4% do teor de EVA, com uma Resistência à tração de 1,28 Mpa.
Eduarda Fontoura (2023)	1% e 2%	A incorporação de 2% EVA foi a que apresentou as maiores variações em termos de viscosidade.
Keyla Junko Chaves Shino-hara (2017)	5%, 7,5% e 10%	O aumento da viscosidade é uma característica herdada pela modificação com polímero EVA, obtendo um de aumento à resistência à fadiga.
Maria Iasmim Barroso de Santana (2021)	-	Os resultados indicaram maior estabilidade em atmosfera oxidativa. Os CAPS modificados mostraram-se mais resistentes às trincas térmicas, também se tornaram mais resistentes à decomposição oxidativa.
Luzana Leite Brasileiro (2019)	5%	Em sua pesquisa sobre os modificadores, incluindo o EVA, houve melhorias como (maior viscosidade, maior resistência à deformação permanente em altas temperaturas, um comportamento mais elástico que aumenta a vida de fadiga e uma redução do risco de quebra a baixas temperaturas).
Ana Ellen Valentim de Alencar (2019)	5%	Foi visto que os LAs modificados apresentam-se mais viscosos do que o LA puro. A adição do polímero EVA no ligante asfáltico aumenta consideravelmente a viscosidade.
Dennyele Alves Gama (2023)	5%	Observou-se o aumento da viscosidade do CAP com o incremento do resíduo de EVA, e os ligantes com 5% de EVAR se mantiveram dentro do limite estabelecido pela AASHTO, podendo ser utilizado na pavimentação.
Deysi Liseth Flores Chilón et al. (2022)	3%, 5% e 6%	Foi verificado o aumento da resistência à tração de 3 a 6% no EVA durante 2 e 3 horas de envelhecimento. Além disso, houve o aumentando a faixa de temperatura de plasticidade, resistência, dureza e resistência a trincas.
Vanessa Araceli López Valjeos (2024)	2%, 4% e 6%	Como resultado, o teor ideal de EVA foi de 2% a 4%, melhorando a resistência à deformação e diminuindo o índice de envelhecimento. Concluindo que a incor-

		poração de EVA melhorou as propriedades do asfalto em altas temperaturas.
Wendy Alejandra Casanova Zavala (2017)	4%, 5% y 6 %	No asfalto com EVA, o teor de 4% apresenta menor penetração e um bom módulo de elasticidade, também atende ao requisito de viscosidade. Além disso, os ligantes com EVA alcançaram maior resistência à deformação permanente.
Jeovanesa Régis Carvalho et al.	2%, 3% e 5%	Dentre os teores estudados o de 2% de EVA apresentou bom desempenho em relação à rigidez e resistência ao envelhecimento.

Fonte: Autoria Própria, 2026.

A literatura demonstra que o desempenho dos ligantes modificados está fortemente relacionado ao teor de incorporação utilizado. Os estudos com EVA avaliaram concentrações variando aproximadamente entre 3% e 6%, enquanto os trabalhos com borracha empregaram diferentes percentuais variando entre 6% e 15%, conforme o método de produção adotado.

De forma geral, verifica-se que aumentos moderados nos teores de modificadores tendem a melhorar o desempenho mecânico e reológico. Entretanto, concentrações excessivas podem elevar demasiadamente a viscosidade, dificultando os processos de mistura e compactação e comprometendo a trabalhabilidade das misturas asfálticas. Além disso, podem favorecer o surgimento de problemas estruturais sob tráfego intenso, especialmente de veículos pesados, aumentando a necessidade de intervenções de manutenção ao longo da vida útil do pavimento.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, observou-se aumento da resistência à deformação permanente, melhoria da estabilidade estrutural, maior resistência à tração e à fadiga contribuindo para o aumento da durabilidade dos pavimentos. Entretanto, verificou-se que cada modificador apresenta características específicas. Enquanto a borracha de pneus proporciona maior elasticidade e capacidade de absorção de tensões, favorecendo a resistência à fadiga e às deformações

permanentes, o EVA contribui principalmente para o aumento da viscosidade, da estabilidade e da coesão interna das misturas.

A análise das propriedades reológicas evidenciou que ambos os modificadores alteram positivamente o comportamento viscoelástico dos ligantes asfálticos, promovendo maior resistência ao envelhecimento e melhor desempenho em diferentes condições de temperatura e carregamento. Os estudos analisados também indicaram aumento da viscosidade dos ligantes modificados, característica associada à melhoria do desempenho mecânico.

Contudo, verificou-se que teores excessivos de incorporação podem comprometer a trabalhabilidade das misturas, tornando necessária a definição de dosagens ótimas para garantir o equilíbrio entre desempenho e viabilidade operacional. Em relação à resistência à deformação permanente, observou-se elevado grau de concordância entre os autores, que destacam a capacidade dos dois modificadores de reduzir a formação de trilhas de roda e aumentar a estabilidade das misturas submetidas a temperaturas elevadas.

Conclui-se que tanto o EVA quanto a borracha de pneus constituem alternativas tecnicamente viáveis e ambientalmente favoráveis para a modificação de ligantes asfálticos. Os resultados analisados confirmam que a incorporação desses materiais pode contribuir significativamente para a melhoria do desempenho dos pavimentos.

Entretanto, ainda permanecem lacunas relacionadas a outras propriedades como aos mecanismos principalmente de adesividade entre o ligante e o agregado e às análises completas de ciclo de vida, evidenciando a necessidade de novas pesquisas que ampliem o conhecimento sobre a aplicação desses modificadores em condições reais de utilização. Além disso, a pesquisa pode ser ampliada para a investigação de novos materiais capazes de promover melhorias no desempenho dos pavimentos asfálticos, contribuindo de forma significativa para melhores estradas, inovação tecnológica e reaproveitamento de materiais.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, A. **Estudo das propriedades do cimento asfáltico de petróleo modificado por copolímero de Etileno Acetato de Vinila (EVA)**. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/1020>. Acesso em: 19 nov. 2025.

AKODEDJRO, Enock et al. **O asfalto borracho em Benim: estudo bibliográfico, viabilidade e desempenho estrutural**. 2024. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/b52de641-fd57-437c-a625463fa2ea1b5a/content>. Acesso em: 10 jun. 2026.

BACARINI, Aline. **Aproveitamento de resíduos de EPS e EVA como agregados em concreto leve**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://repositorio copia.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7077>. Acesso em: 10 de jan. 2026.

BARBOSA, Gustavo Henrique Pereira; ANDRADE, Rafael Moraes de. **Análise de viabilidade econômica da utilização do asfalto de borracha de pneus no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifba.edu.br/jspui/handle/123456789/808>. Acesso em: 11 jun. 2026.

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2022. Rio de Janeiro: Petrobrás. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/0d316eee-ef3b-4fb0-bdf7-fbd2bc7b0863/Bernucci-2008-Pavimentacao%20asfaltica.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2025.

BEZERRA, Diego de Paiva, SIQUEIRA, Mayara Silva; SOUZA, João Paulo Marçal de. **Análise das propriedades funcionais de misturas asfálticas do tipo camada porosa de atrito (CPA) modificadas pelo resíduo do etileno acetato de vinila (EVA)**. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, p. e025021-e025021, 2025. Disponível em: https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/pt_BR/article/view/2114. Acesso em: 09 jan. 2026.

BRASILEIRO, Luzana Leite. **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS COMO MODIFICADORES DAS PROPRIEDADES DO LIGANTE**

ASFÁLTICO. 2019. Tese de Doutorado. Disponível em: <https://repositorio.ufpi.br/xmlui/handle/123456789>. Acesso em: 13 jun. 2026.

CARVALHO, Jeovanesa Régis et al. **AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE CAL, CIMENTO E RESÍDUO DE EVA NO ENVELHECIMENTO DO LIGANTE ASFÁLTICO**. 2020 Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/>. Acesso em: 29 jan. 2026.

CANEVAROLO, Sebastião Vicente. **Ciência dos polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2006. Disponível em: https://www.artliber.com.br/Amostra/ciencia_dos_polimeros.pdf. Acesso em: 07 mai. 2026.

CAVA, F. **O Asfalto Borracha é um Asfalto Ecológico?**. 2020. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2020/02/10/o-asfalto-borracha-e-um-asfalto-ecologico/>. Acesso em: 18 maio. 2026.

CHILÓN, Deysi Liseth Flores et al. **Uso de etileno vinil acetato (EVA) en mezcla asfáltica: Una revisión literaria**. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v6i14.88>. Acesso em: 15 jun. 2026.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Pesquisa CNT de Rodovias. Brasília: CNT, 2017. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em: 26 abr. 2026.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Pesquisa CNT de Rodovias. Brasília: CNT, 2024. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em: 08 nov. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Pesquisa CNT de Rodovias. Brasília: CNT, 2025. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em: 08 nov. 2025.

CONAMA (2009) Resolução nº 416, de 30 de setembro de 2009. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada. 2009. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/>. Acessado em: 08 nov. 2025.

CUNHA, F. M.; MAROTTA, L. I. M.; SANTOS, G. S.; CLEMENTE, G. A. B. F.; LIMA, G. de M.; OLIVEIRA, R. A. de. **Asfalto borracha: o uso de**

pneus inservíveis na pavimentação asfáltica. 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n3-104. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/3216>. Acesso em: 15 abr. 2026.

DE OLIVEIRA, Felipe Lima; RODGHER, Sandra Fabiana; FLORIAN, Fabiana. **VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE ASFALTO BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO-UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.** 2025. Disponível em: <https://recima21.com.br/ecima21/ecima21/view/7028>. Acesso em: 13 jun. 2026.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. NORMA DNIT 112/2009-. **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico com asfalto borracha, via úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2009. Acesso em: 20 abr. 2026.

FAGUNDES, Fernando Dantas; CORREA, Willian. **USO DA BORRACHA DE PNEUS NA PAVIMENTAÇÃO COMO UMA ALTERNATIVA ECOLÓGICAMENTE VIÁVEL NO ESTADO DE MINAS GERAIS.** 2020 Anais do, v. 3, p. 745-768. Disponível em: <https://finom.edu.br/assets/uploads/cursos/tcc/202102051402384.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2026.

FELICETTI, L. S.; GUIMARÃES, A. C. R.; DO NASCIMENTO, F. A. C. **Efeito da incorporação de resíduos PVC como agregado alternativo em misturas asfálticas à quente.** 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n10-095. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/52869>. Acesso em: 11 jan. 2026.

FERREIRA, Maria Sheila. **PAVIMENTAÇÃO SUSTENTÁVEL: OS BENEFÍCIOS DA IMPLANTAÇÃO DO ASFALTO-BORRACHA EM CENTROS URBANOS.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789> Acesso em: 23 nov. 2025.

GAMA, Denneye Alves. **Avaliação do potencial do uso do Etileno Acetato de Vinila (EVA) descartado pela indústria calçadista em misturas asfálticas.** 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Disponível em:

<https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/3700>. Acesso em: 25 nov. 2025.

GARCIA. BRASIL, CONSULTIVA NO. OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA A ENGENHARIA CONSULTIVA NO BRASIL: **INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE**. 2023. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/2638>. Acesso em: 18 nov. 2025.

GUIMARÃES, Marcio Evandro. **Efeito da adição de resíduos de polietileno de alta densidade e borracha de pneus em ligante asfáltico 50/70**. 2019. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/5212>. Acesso em: 12 jun. 2026.

IBAMA (2023) Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Brasília, DF. 08 nov. 2025.

NAVES, Vitor Cazula et al. **Análise comparativa da infraestrutura de transportes brasileira no cenário sul-americano: panorama atual e desafios futuros**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/242698>. Acesso em: 23 nov. 2025.

OLIVEIRA, Yuri Mello Müller. **Reologia de ligantes asfálticos e suas variações frente à incorporação de polímeros e ao envelhecimento simplificado com RTFOT**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/241064>. Acesso em: 21 nov. 2025.

PRAZERES, Frayanne Fernandes; LOPES, Valdilea Ferreira. **A Utilização de Resíduos de Borracha de Pneus em Pavimentos Asfálticos de Tráfego Leve**. 2024. Disponível em: <https://saoluis.edu-for.edu.br/uploads/repositorios/files/2024/10/> Acesso em: 12 abr. 2026.

REIS, Felipe Bastos dos; FERNANDES, Palloma Renny Beserra. **A reutilização de resíduos sólidos na economia circular: estudo de caso no mercado de calçadista**.,2021. Disponível em: [https:// ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/29772/23490](https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/29772/23490). Acesso em: 09 mai.2026.

RODRIGUES, Maria Isabel Brasileiro et al. **Valorização de resíduos de EVA como solução sustentável e econômica na produção de pavers ecológicos**. v. 31, p. 1-10, 2026. Disponível em: <https://>

www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.00132025.pdf/ci-31-e00132025.pdf. Acesso em: 20 jun. 2026.

SANTANA, Maria Iasmim Barroso de. **Revisão sistemática: resíduos poliméricos como modificadores das propriedades de ligantes asfálticos**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/1741>. Acesso em: 21 nov. 2025.

SANTOS, Bervylly Lianne de Farias. **Avaliação das propriedades físicas, mecânicas e microestruturais do concreto incorporado com borracha de pneus**. 2018. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/25119>. Acesso em: 18 jun. 2026.

SILVA, R. M. **Utilização da análise envoltória de dados na otimização de um modelo de logística reversa de pneus inservíveis para Fortaleza**. 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) -Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/13786>. Acesso em: 20 jun. 2026.

SHINOHARA, Keyla Junko Chaves et al. **Efeito da modificação do ligante pelo polímero EVA no concreto asfáltico e sua influência no dimensionamento do pavimento**. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/181234>. Acesso em: 18 nov. 2025.

SOUSA, Arthur Nóbrega de et al. **Avaliação do desempenho mecânico de misturas asfálticas densas e descontínuas produzidas com asfalto-borracha**. 2026. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/46611>. Acesso em: 13 jun. 2026.

SOUZA, Laryssa de Freitas. **Estudo comparativo da viabilidade do asfalto convencional e o asfalto borracha nas vias urbanas do Bairro Campestre em Monte Caremelo-MG**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.fucamp.com.br/jspui/handle/FUCAMP/514>. Acesso em: 21 nov. 2025.

SOUZA, João Paulo Marçal de. **Propriedades de misturas asfálticas do tipo camada porosa de atrito (CPA) modificadas pelo resíduo do etileno acetato de vinila (EVA) proveniente da indústria calça-**

dista. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/3849>. Acesso em: 04 nov.2025.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5192>. Acesso em: 18 nov. 2025.

THIEL, Douglas Antônio. **Desempenhos de misturas e ligantes asfálticos modificados com borracha moída de pneus e copolímero SBS quanto à fadiga e à deformação permanente: estudo de caso na rodovia SC-163**. 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/32937>. Acesso em: 10 nov. 2025.

VALLEJOS, Vanessa Araceli Lopes. **Análisis de una mezcla asfáltica con incorporación de polímero de etileno vinil acetato (EVA)**. 2024. Disponível em: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS_bd5ffc5c3cd96045ba73a72f5fd859fc. Acesso em: 20 mai. 2026.

VILELA, Thainá Moura. **Copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA) como revestimento de papel cartão**. 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/server/api/core/bitstreams/294db574-3836-4068-ba91-f19e951f8cea/content>. Acesso em 18 jun. 2026.

ZATTERA, Ademir J. et al. Caracterização de resíduos de copolímeros de etileno-acetato de vinila-EVA. **Polímeros**, v. 15, n. 1, p. 73-78, 2005. Disponível em: <https://revistapolimeros.org.br/doi/10.1590/S0104-14282005000100016>. Acesso em: 28 mar. 2026.

ZAVALA, Wendy Alejandra Casanova. **Determinación de una metodología para caracterizar asfaltos modificados con polímero usados en pavimentos flexibles**. 2017. Disponível em: <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1113>. Acesso em: 12 mai. 2026.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DA SEGURANÇA FÍSICA INFANTIL NO PROJETO PROINFÂNCIA TIPO 1: UM ESTUDO DO MEMORIAL DESCRITIVO E DAS PRANCHAS ARQUITETÔNICAS

***ANALYSIS OF CHILD PHYSICAL SAFETY IN THE PROINFÂNCIA TYPE 1 PROJECT:
A STUDY OF THE DESCRIPTIVE MEMORIAL AND ARCHITECTURAL
DRAWINGS***

Cauã Pereira de Souza

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI
<https://orcid.org/0009-0007-5613-8905>
cauasouza9808@gmail.com

Moisés Pontes de Brito Castelo Branco

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI
<https://orcid.org/0009-0006-5446-7791>
moisesbrt@gmail.com

Danielle Maria Barroso de Sousa

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI
<https://orcid.org/0009-0002-2849-4463>
danimaria547@gmail.com

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI
<https://orcid.org/0000-0002-4577-2173>
marcilio@chrisfapi.com.br

Thalia Ohana Monteiro Lima

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI
<https://orcid.org/0009-0001-5914-2527>
ohanamtr@outlook.com

Laysa Cruz Machado

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-1748-7316>

englaysacruz@gmail.com

Jaqueline Passos dos Santos

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0000-9610-7256>

passosjaqueline151@gmail.com

RESUMO

A educação infantil constitui etapa fundamental para o desenvolvimento físico, cognitivo e socioemocional da criança, sendo o ambiente construído um fator determinante para a qualidade das experiências educativas e para a segurança dos usuários. O presente trabalho analisou o Memorial Descritivo e as 41 pranchas arquitetônicas do Projeto Proinfância Tipo 1, desenvolvido pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) em parceria com o Ministério da Educação, com foco na identificação de vulnerabilidades relacionadas à segurança física infantil. A pesquisa adotou metodologia de análise documental, confrontando os elementos do projeto com as normas técnicas brasileiras vigentes ABNT NBR 9050:2020, NBR 5410:2004, NBR 16071:2021, NBR 13523:2019 e NBR 14718:2019, articulada a referenciais teóricos sobre desenvolvimento infantil e arquitetura escolar. Os resultados evidenciaram seis lacunas técnicas: largura insuficiente das circulações internas (80 cm), ausência de limitadores de abertura nas esquadrias com peitoril baixo, omissão da espessura da camada amortecedora no piso do playground, falta de especificação do mecanismo de travamento do portão de acesso à central de GLP, concentração das diretrizes de proteção elétrica exclusivamente no projeto elétrico e ausência do coeficiente de atrito dinâmico mínimo nas especificações dos pisos de áreas molhadas. Conclui-se que o projeto apresenta qualidade téc-

nica reconhecível, porém necessita de aprimoramentos pontuais nos projetos executivos de implantação, reforçando a indispensabilidade da análise crítica por parte de engenheiros civis e arquitetos responsáveis pela adaptação local do projeto padronizado.

Palavras-chave: educação infantil; segurança em edificações escolares; Proinfância Tipo 1; normas técnicas.

ABSTRACT

Early childhood education is a fundamental stage in a child's physical, cognitive, and socio-emotional development, and the built environment is a determining factor in the quality of educational experiences and the safety of users. This study analyzed the Project Description and the 41 architectural drawings of the Early Childhood Type 1 Project, developed by the National Fund for the Development of Education (FNDE) in partnership with the Ministry of Education, with a focus on identifying vulnerabilities related to children's physical safety. The research adopted a documentary analysis methodology, comparing the project elements with current Brazilian technical standards ABNT NBR 9050:2020, NBR 5410:2004, NBR 16071:2021, NBR 13523:2019, and NBR 14718:2019, in conjunction with theoretical frameworks on child development and school architecture. The results revealed six technical shortcomings: insufficient width of internal circulation areas (80 cm), absence of opening limiters on window frames with low sills, omission of the thickness of the cushioning layer on the playground floor, lack of specification for the locking mechanism of the gate to the LPG station, concentration of electrical safety guidelines exclusively in the electrical design, and absence of the minimum dynamic friction coefficient in the specifications for wet area flooring. It is concluded that the project demonstrates recognizable technical quality but requires specific improvements in the detailed implementation designs, emphasizing the essential role of critical analysis by civil engineers and architects responsible for adapting the standardized design to local conditions.

Keywords: Early childhood education; Safety in school buildings; Early childhood Type 1; Technical standards.

1 INTRODUÇÃO

A educação infantil constitui a primeira etapa da educação básica e representa um período fundamental para o desenvolvimento físico, cognitivo e socioemocional da criança. Os espaços destinados às instituições de ensino infantil assumem papel essencial, pois o ambiente construído influencia diretamente as experiências de aprendizagem, interação social e exploração do espaço. Nessa perspectiva, Malaguzzi (1984) concebe o ambiente como um elemento ativo do processo educativo, tratando-o como um "terceiro educador" ao lado da família e do professor, capaz de comunicar valores, estimular a curiosidade e favorecer a autonomia da criança. Assim, a edificação escolar deixa de ser apenas suporte físico das atividades pedagógicas e passa a integrar o próprio processo educativo, contribuindo também para as condições de segurança e bem-estar infantil.

Crianças na faixa etária de zero a cinco anos apresentam comportamento exploratório intenso, caracterizado pela interação constante com o meio físico por meio do toque, da movimentação e da experimentação espacial. Conforme discutido por Piaget (1970), o desenvolvimento infantil ocorre a partir da ação da criança sobre o ambiente, evidenciando a necessidade de que os espaços educacionais sejam planejados não apenas sob critérios funcionais e pedagógicos, mas também sob rigorosos parâmetros de segurança física.

Conforme ressalta Freire (1996), a prática educativa exige responsabilidade e compromisso com a vida, o que, no contexto da engenharia escolar, se traduz na adoção de soluções técnicas que garantam ambientes seguros e adequados ao desenvolvimento infantil. A concepção dos espaços educacionais deve considerar não apenas aspectos pedagógicos, mas também a prevenção de riscos e acidentes, especialmente em função da vulnerabilidade inerente à primeira infância.

Elementos construtivos, como pisos, esquadrias, mobiliários e áreas de circulação, devem ser projetados de forma a minimizar perigos e favorecer a autonomia segura das crianças. Além disso, a integração entre projeto arquitetônico e normas técnicas de segurança torna-se essencial para assegurar a qualidade dos ambientes escolares. Dessa forma, o compromisso com a educação ultrapassa o campo pedagógico e se estende às decisões técnicas que impactam diretamente a integridade física e o bem-estar dos usuários.

No Brasil, o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil — Proinfância, desenvolvido pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), foi criado com o objetivo de ampliar o acesso à educação infantil por meio da implantação de projetos arquitetônicos padronizados em todo o território nacional. Entre esses modelos, destaca-se o Projeto Proinfância Tipo 1, amplamente utilizado por municípios brasileiros na construção de creches e pré-escolas públicas.

A partir dessa perspectiva, a presente análise teve como base a leitura do Memorial Descritivo do Projeto Proinfância Tipo 1, elaborado pelo FNDE. O exame técnico do documento permitiu identificar aspectos arquitetônicos e construtivos que, embora estejam alinhados às normas vigentes, podem apresentar vulnerabilidades quando analisados sob a ótica da segurança física infantil.

Dessa forma, garantir a segurança em instituições de educação infantil exige uma abordagem integrada que envolva conhecimento técnico, cumprimento das normas de engenharia e compreensão das necessidades específicas da infância. Profissionais como engenheiros civis e arquitetos possuem papel fundamental nesse processo, pois são responsáveis por projetar e executar espaços capazes de proteger, acolher e estimular o desenvolvimento das crianças.

Diante do exposto, o presente artigo partiu desta introdução para o desenvolvimento de um referencial teórico que consolidou os principais conceitos inerentes ao tema, abrangendo as relações entre ambiente construído, segurança infantil e normas técnicas de engenharia. Na sequência, apresenta-se a metodologia adotada para a investigação, descrevendo os procedimentos e critérios utilizados na

análise do Projeto Proinfância Tipo 1. A partir dessa base, os resultados e discussões obtidos buscaram contribuir para uma reflexão crítica sobre a qualidade e a segurança dos espaços destinados à educação infantil no Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A importância do Espaço Físico no Desenvolvimento Infantil

A educação infantil representa uma etapa decisiva no processo de formação da criança, pois é nesse período que ocorrem avanços importantes relacionados ao desenvolvimento cognitivo, motor, social e emocional. O ambiente escolar não deve ser entendido apenas como um espaço físico onde acontecem atividades pedagógicas, mas como um elemento que participa diretamente do processo educativo. A forma como os ambientes são planejados, organizados e estruturados pode influenciar significativamente as experiências vividas pelas crianças, favorecendo ou dificultando processos de interação, aprendizagem e autonomia. Estudos destacam que a qualidade do espaço físico nas instituições de educação infantil contribui diretamente para o desenvolvimento integral das crianças, especialmente quando os ambientes são pensados para estimular a curiosidade, o movimento e a socialização (Zabalza, 2020; UNESCO, 2021).

Além disso, a organização do ambiente educacional também envolve uma dimensão ética e social, pois o espaço escolar precisa garantir condições adequadas de segurança, acolhimento e bem-estar. A criação de ambientes seguros e estimulantes é uma responsabilidade compartilhada entre educadores, gestores e profissionais envolvidos na concepção das edificações escolares. Ambientes planejados com atenção às necessidades infantis favorecem o desenvolvimento da autonomia e ampliam as possibilidades de aprendizagem significativa (UNICEF, 2021; Paulo Freire, 1996).

Outro aspecto importante refere-se à influência do ambiente físico no comportamento e nas interações sociais das crianças. A organização do espaço pode estimular diferentes formas de participação, colaboração e exploração do ambiente, contribuindo para experiências educacionais mais ricas. Nesse sentido, estudos contemporâneos sobre arquitetura escolar destacam que a qualidade espacial, a iluminação natural, a ventilação e a flexibilidade dos ambientes podem impactar diretamente o bem-estar e o desempenho das crianças nas instituições de ensino (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2021; Kowaltowski, 2020).

A relação entre criança e espaço também pode ser compreendida a partir das contribuições da psicologia do desenvolvimento. Segundo Jean Piaget (1952), o conhecimento é construído por meio da interação ativa entre o indivíduo e o ambiente em que está inserido. Durante a primeira infância, essa interação ocorre principalmente por meio da exploração do espaço físico, envolvendo atividades como tocar, movimentar-se, observar e experimentar diferentes situações. Dessa forma, o ambiente escolar torna-se um espaço fundamental para a construção de conhecimentos e para o desenvolvimento de habilidades motoras e cognitivas.

Pesquisas mais recentes também reforçam essa perspectiva ao destacar que ambientes escolares estimulantes e seguros favorecem a aprendizagem ativa e o desenvolvimento da autonomia infantil. A criação de espaços que permitam diferentes formas de exploração, movimento e interação social contribui para a construção de experiências educativas mais significativas (UNESCO, 2022; Vygotsky, 1984).

2.2 O Projeto Proinfância e a Padronização das Edificações Escolares

A melhoria da infraestrutura das instituições de educação infantil tem sido uma preocupação crescente nas políticas públicas

educacionais brasileiras. Nesse cenário, destaca-se o Projeto Proinfância, desenvolvido pelo FNDE, que busca ampliar o acesso à educação infantil por meio da construção de creches e pré-escolas com projetos arquitetônicos padronizados. Essa iniciativa tem como objetivo garantir condições mínimas de qualidade para o funcionamento das instituições educacionais em diferentes regiões do país (BRASIL, 2020).

A padronização dos projetos apresenta vantagens importantes, como a redução de custos, a agilidade na execução das obras e a garantia de parâmetros mínimos de infraestrutura. Entretanto, diversos estudos apontam que a aplicação de projetos padronizados exige uma análise crítica por parte dos profissionais responsáveis pela implantação das edificações. Isso ocorre porque cada local possui características específicas relacionadas ao clima, à topografia e ao contexto urbano, fatores que podem influenciar diretamente o desempenho da edificação escolar (Kowaltowski, 2020; OECD, 2021).

Um exemplo dessa necessidade de análise crítica pode ser observado em alguns elementos arquitetônicos previstos nos projetos do Proinfância. As esquadrias com peitoris mais baixos, por exemplo, são pensadas para permitir maior interação visual das crianças com o ambiente externo, estimulando a curiosidade e o interesse pelo espaço ao redor. No entanto, quando esses elementos não são acompanhados de soluções técnicas adequadas, como vidros de segurança ou limitadores de abertura, podem surgir riscos potenciais relacionados à segurança infantil. Dessa forma, torna-se fundamental que as soluções arquitetônicas sejam avaliadas considerando tanto os aspectos pedagógicos quanto os requisitos técnicos de segurança.

O planejamento das edificações escolares precisa considerar a relação entre funcionalidade, segurança e qualidade espacial. O objetivo não é apenas construir escolas, mas criar ambientes que favoreçam o desenvolvimento infantil e garantam condições adequadas de proteção e bem-estar para as crianças.

2.3 Circulação e Acessibilidade nas Instituições de Educação Infantil

A organização das áreas de circulação constitui um dos aspectos mais importantes no planejamento de instituições de educação infantil. Corredores, acessos e áreas de passagem são utilizados constantemente pelas crianças e pelos profissionais da escola, o que exige um planejamento cuidadoso dessas estruturas para garantir deslocamentos seguros e eficientes dentro da edificação.

Em ambientes escolares, a dinâmica de circulação apresenta características próprias, diferentes daquelas observadas em edificações residenciais ou comerciais. Nas instituições de educação infantil, é comum a circulação simultânea de grupos de crianças acompanhadas por educadores, além da presença de carrinhos, equipamentos pedagógicos e outros elementos utilizados nas atividades diárias. Dessa forma, o dimensionamento adequado das áreas de circulação torna-se essencial para evitar situações de congestionamento, colisões ou quedas.

As diretrizes de acessibilidade estabelecidas pela NBR 9050:2020 indicam que os espaços devem ser planejados de forma a garantir circulação segura e confortável para todos os usuários. A ampliação das rotas principais de circulação para dimensões próximas de 1,20 metros pode contribuir significativamente para melhorar o fluxo interno e reduzir riscos de acidentes, especialmente em ambientes onde o movimento das crianças ocorre de forma constante (ABNT, 2020).

Estudos recentes sobre arquitetura escolar também destacam que a organização dos fluxos de circulação influencia diretamente a sensação de segurança e a qualidade do uso dos espaços educacionais. Ambientes bem dimensionados permitem maior liberdade de movimento e contribuem para a criação de espaços mais confortáveis e funcionais (OECD, 2021).

2.4 Segurança nas Edificações Escolares

A segurança das edificações escolares é um fator fundamental para garantir a integridade física das crianças e dos profissionais que utilizam esses espaços. Em instituições de educação infantil, essa preocupação torna-se ainda mais relevante, considerando as características próprias da infância, como o comportamento exploratório, a impulsividade motora e a limitada percepção de risco.

O planejamento das instalações prediais deve considerar critérios técnicos capazes de reduzir riscos e prevenir acidentes. Sistemas elétricos, redes de gás e demais infraestruturas da edificação precisam ser projetados de acordo com normas técnicas específicas, garantindo maior segurança no uso cotidiano dos espaços. A NBR 5410:2004, por exemplo, estabelece critérios para instalações elétricas de baixa tensão é obrigatório a utilização de dispositivos diferenciais residuais (DR), capazes de interromper automaticamente o fornecimento de energia em situações de risco (ABNT, 2020).

As áreas externas das instituições de ensino também desempenham papel importante no desenvolvimento infantil. Espaços como pátios e playgrounds possibilitam atividades físicas, interação social e vivências de descoberta fundamentais para o crescimento das crianças. Entretanto, para que esses ambientes sejam realmente seguros, é necessário que seu planejamento siga critérios técnicos adequados relacionados à escolha dos equipamentos e dos materiais utilizados nos pisos.

A NBR 16071:2021 estabelece parâmetros para a instalação de playgrounds, incluindo orientações sobre a altura dos equipamentos e a capacidade de amortecimento do solo. A utilização de materiais adequados para absorção de impacto, como areia ou superfícies emborrachadas, contribui para reduzir a gravidade de possíveis quedas e prevenir lesões (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021).

Além disso, a escolha de materiais de revestimento também influencia diretamente a segurança do ambiente escolar. Em locais sujeitos à presença de água, como sanitários e refeitórios, a utilização

de pisos antiderrapantes torna-se essencial para reduzir o risco de escorregamentos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Procedimentos Metodológicos

Foi realizada uma análise com base em autores e estudos que abordam a relação entre o ambiente físico e o desenvolvimento infantil, bem como aspectos relacionados à segurança em espaços escolares. Foram considerados referenciais teóricos como Jean Piaget (1970) e Paulo Freire (1996), além de publicações de instituições como a UNESCO (2021) e a OECD (2021). Essa etapa foi fundamental para a construção de uma base teórica consistente, permitindo compreender de que forma o ambiente construído influencia não apenas a aprendizagem, mas também o comportamento, a autonomia e a segurança das crianças.

Posteriormente, realizou-se a análise do Memorial Descritivo do Projeto Proinfância Tipo 1, elaborado pelo FNDE. O material foi obtido por meio do site oficial da instituição, a partir dos arquivos disponibilizados ao público.

A análise conduziu-se com foco nos elementos do projeto diretamente relacionados à segurança infantil, tais como áreas de circulação, esquadrias, materiais empregados e a organização dos espaços internos e externos. Além disso, foram consideradas as instalações prediais, especialmente as elétricas e hidráulicas, sempre levando em conta as condições reais de uso desses ambientes.

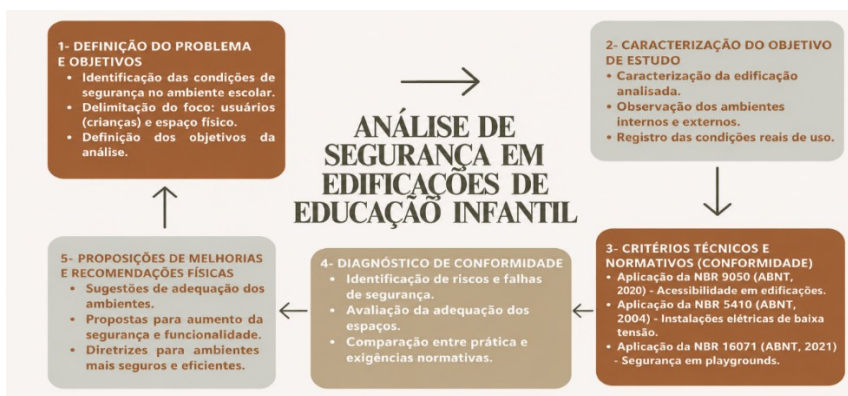
Em seguida, os aspectos observados foram confrontados com normas técnicas brasileiras, com destaque para a ABNT NBR 9050 (2020), a NBR 5410 (2004) e a NBR 16071 (2021), que tratam, respectivamente, de acessibilidade, instalações elétricas de baixa

tensão e segurança em playgrounds. Essa comparação possibilitou verificar a conformidade do projeto com os requisitos normativos, bem como identificar eventuais inadequações e oportunidades de melhoria.

Na sequência, desenvolveu-se uma análise crítica, estabelecendo relações entre o conteúdo do Memorial Descritivo, os referenciais teóricos e as exigências normativas. Essa etapa permitiu uma compreensão mais aprofundada do projeto, indo além da descrição técnica e incorporando uma perspectiva prática sobre o funcionamento e a segurança dos espaços analisados.

Por fim, a partir das análises realizadas ao longo do estudo, foram elaboradas propostas de melhoria voltadas ao aprimoramento da segurança em edificações destinadas à educação infantil. Tais sugestões têm como objetivo contribuir para a criação de ambientes mais seguros, funcionais e adequados às necessidades das crianças. Nesse sentido, o estudo evidencia a importância de articular o conhecimento técnico aos princípios relacionados ao desenvolvimento infantil, demonstrando que o planejamento desses espaços ultrapassa os aspectos construtivos, envolvendo também responsabilidade, cuidado e atenção aos usuários. A fim de sintetizar as etapas que orientaram o desenvolvimento desta pesquisa, apresenta-se a seguir o fluxograma metodológico que ilustra o percurso adotado desde a definição do problema até a elaboração das propostas de melhoria.

Figura 01: Fluxograma da Sequência do Estudo



Fonte: Autor próprio, elaborado com auxílio do Canva (2026).

3.2 Resultados e Discussão

A análise do Memorial Descritivo do Projeto Proinfância Tipo 1, elaborado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação em parceria com o Ministério da Educação, foi conduzida em conjunto com o conjunto de pranchas arquitetônicas que compõem o projeto, abrangendo implantação, planta baixa, *layouts*, cortes, fachadas, paginação de pisos, esquadrias, ampliações dos Blocos A e B e detalhamentos. Essa leitura integrada entre o Memorial Descritivo e os desenhos técnicos permitiu identificar tanto os avanços técnicos e normativos do projeto quanto as lacunas que, se não devidamente tratadas na fase de implantação, podem comprometer a integridade física das crianças usuárias da edificação.

O projeto destina-se ao atendimento de até 376 crianças em dois turnos — ou 188 em período integral —, na faixa etária de 0 a 5 anos e 11 meses, abrangendo desde o berçário (Creche I) até a pré-escola, conforme indicado na Planta Baixa Geral e nos *layouts* de mobiliário. Tal diversidade etária impõe exigências diferenciadas de segurança, especialmente considerando a vulnerabilidade motora e perceptiva das crianças mais novas.

A avaliação foi conduzida à luz das normativas vigentes, com ênfase na ABNT NBR 9050:2020 (Acessibilidade), na ABNT NBR 9077:2025 (Saídas de emergência), na NBR 13818:2020 (Placas cerâmicas), na NBR 16071:2021 (Playgrounds) e na NBR 5410:2004 (Instalações elétricas de baixa tensão), além das diretrizes do próprio Programa Proinfância. Os resultados foram organizados por temáticas construtivas, permitindo leitura sistematizada das conformidades e das recomendações de melhoria.

3.2.1 Largura das Circulações Internas

O Memorial Descritivo estabelece que a circulação entre os blocos da edificação deve apresentar largura mínima de 80 cm, em

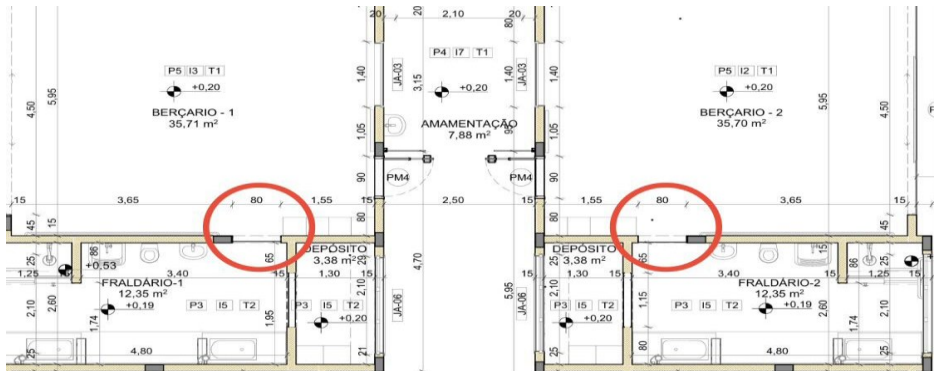
consonância com os requisitos básicos de acessibilidade preconizados pela ABNT NBR 9050:2020. Essa determinação é confirmada na Planta Baixa Geral, que indica as circulações cobertas interligando o Bloco A ao Bloco B, e reforçada nos *layouts* de mobiliário, onde é possível observar os corredores internos de cada bloco com cotas de passagem livre.

A leitura dos cortes longitudinais e transversais confirma que as circulações internas entre as salas de atividades e os demais ambientes pedagógicos possuem passagens de, no mínimo, 80 cm de largura livre, atendendo ao parâmetro mínimo da norma. Contudo, ao se considerar a dinâmica real de uso — especialmente nos momentos de entrada, saída e deslocamento coletivo dos grupos de crianças entre as salas, o refeitório, os solários e as áreas externas, essa largura mínima pode se mostrar insuficiente. Em situações de fluxo simultâneo, onde educadores conduzem grupos de bebês com carrinhos ou andadores, a passagem de 80 cm representa um gargalo que eleva o risco de quedas, colisões e congestionamentos, sobretudo em situações de emergência.

A literatura técnica especializada em arquitetura escolar para a primeira infância recomenda que corredores de uso cotidiano em creches e pré-escolas apresentem largura mínima de 1,20 m para circulações secundárias e de 1,50 m nas rotas principais. O próprio Caderno de Referência do MEC/SEB (2006), citado no Memorial, recomenda generosidade nos espaços de circulação como critério de qualidade ambiental para esse nível de ensino.

Recomenda-se: Ampliação das circulações principais para, no mínimo, 1,20 m de largura livre, com preferência por 1,50 m nas rotas que interligam as salas de atividades ao refeitório, pátio coberto e áreas externas, garantindo maior segurança e fluidez no deslocamento coletivo das crianças, especialmente nos momentos de maior fluxo simultâneo.

Figura 02: Área de circulação



Fonte: Projeto Arquitetônico Tipo 1 padrão FNDE (2023).

3.2.2 Esquadrias com Peitoril Baixo

O projeto arquitetônico adota, como diretriz pedagógica, a instalação de esquadrias com peitoril baixo nas salas de atividades e demais ambientes destinados às crianças, favorecendo a interação visual com o ambiente externo. As pranchas de detalhamento de esquadrias especificam os tipos de portas e janelas empregados, sendo as janelas venezianas em alumínio natural as mais recorrentes nas salas pedagógicas, com soleira em granito cinza andoninha e contramarco em alumínio natural.

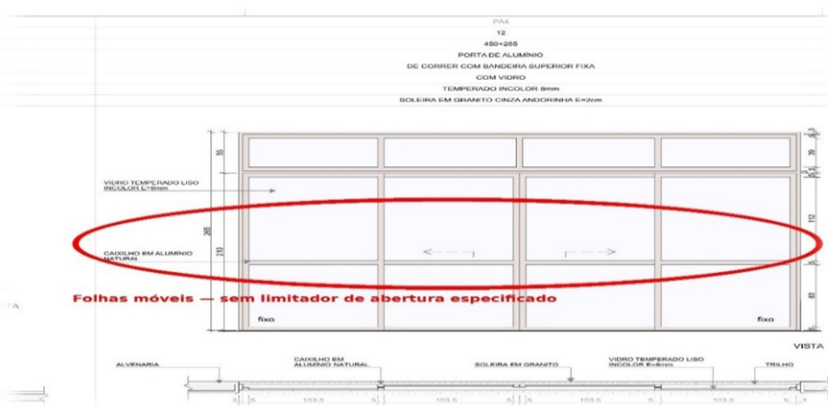
Apresenta o detalhamento das janelas do tipo JA4 (450×260 cm) com bandeira superior fixa em vidro temperado liso PICOLOR 6 mm e caixilho em alumínio natural — solução adotada nas salas de atividades maiores. A análise dos cortes confirma que essas esquadrias iniciam próximas ao nível do piso acabado, com peitoris em cotas reduzidas compatíveis com a escala infantil, o que é coerente com o propósito pedagógico, mas reforça a necessidade de mecanismos de controle de abertura.

Apesar do benefício pedagógico, esquadrias com peitoril rebaixado representam risco potencial de escalada e quedas,

especialmente nas faixas etárias da Creche I (0 a 5 anos e 11 meses), em que a curiosidade motora é intensa e a noção de perigo ainda é incipiente. O Memorial e as pranchas não apresentam especificação explícita de limitadores de abertura (travas) nas folhas móveis das venezianas, nem indicação de guarda-corpos em situações de desnível externo, conforme exige a NBR 14718:2019 (Guarda-corpos para edificação).

Recomenda-se: Adoção obrigatória de limitadores de abertura nas folhas móveis das esquadrias de peitoril baixo, restringindo a abertura máxima a 10 cm em ambientes com crianças. Em áreas com desnível externo igual ou superior a 0,60 m, deve ser prevista a instalação de guarda-corpos com altura mínima de 1,10 m, em vidro laminado ou material equivalente, preservando a visibilidade sem comprometer a segurança, conforme NBR 14718:2019.

Figura 03: Corte de referência da janela



Fonte: Projeto Arquitetônico Tipo 1 padrão FNDE (2023).

3.2.3 Piso do Playground e Absorção de Impacto

As Grades e Portões (Planta Baixa de Portões e Fechamentos) apresenta a implantação da área externa da creche, incluindo a localização do playground. A análise visual confirma que o projeto

indica o *layout* dos equipamentos de recreação na área descoberta, porém não apresenta corte ou detalhe específico da camada de piso sob os brinquedos, nem especifica a espessura mínima da camada amortecedora de impacto.

Essa omissão é relevante porque a simples indicação de "piso em areia filtrada ou grama sintética", conforme consta no Memorial Descritivo, não é suficiente para garantir a absorção de impacto adequada. A norma ABNT NBR 16071:2021 estabelece que a espessura da camada de material amortecedor deve ser dimensionada em função da altura crítica de queda de cada equipamento instalado — para areia solta, o mínimo recomendado é de 30 cm para equipamentos com altura crítica de até 3 m, devendo aumentar proporcionalmente com a altura. Nenhuma dessas informações consta nos desenhos técnicos analisados.

Quedas são reconhecidas pela Organização Mundial da Saúde e pelo Ministério da Saúde como a principal causa de acidentes não intencionais na infância. A ausência de critérios técnicos específicos para a camada amortecedora compromete a função protetiva do piso mesmo quando o material correto é empregado, representando uma lacuna que deve ser sanada no projeto executivo.

Recomenda-se incorporar ao projeto executivo do playground as especificações técnicas previstas na ABNT NBR 16071:2021, com prancha de detalhe em corte indicando a espessura mínima da camada amortecedora em função da altura crítica de queda de cada equipamento. Para areia filtrada, especificar camada mínima de 30 cm com drenagem adequada e bordas de contenção e incluir nos documentos de manutenção o protocolo de revolvimento, limpeza e reposição periódica do material.

3.2.4 Central de GLP e Proteção ao Acesso Infantil

O detalhamento dos portões e gradis metálicos que compõem o fechamento do conjunto. A análise dessa prancha revelou que o projeto

especifica gradis metálicos com alturas definidas: o gradil frontal (GR1, seção 4×6 cm, tela de aço) com altura de 1,58 m, e os gradis laterais (GR2 e GR4) Central de GLP — é do tipo PO4 (110×105 cm), com chapa metálica e abertura de 180°.

Esses elementos representam um nível de detalhamento superior ao que o Memorial Descritivo, isoladamente, sugeria. No entanto, a análise combinada dos documentos evidencia que, embora os gradis estejam dimensionados e o acesso ao pátio de serviço seja controlado por portão metálico, o projeto não especifica o tipo de travamento do portão PO4 — se dotado de ferrolho com altura inacessível a crianças, cadeado ou outro dispositivo de bloqueio que impeça o acesso autônomo das crianças. Essa omissão, ainda que o gradil exista, é relevante porque portões podem ser deixados abertos durante as rotinas operacionais da cozinha e lavanderia.

O Memorial Descritivo detalha, em seu item referente ao abrigo de GLP, que o conjunto deve ser instalado em local não frequentado por alunos, com parede e cobertura em concreto resistente ao fogo com tempo de resistência mínima de duas horas e altura mínima de 1,80 m, em conformidade com a ABNT NBR 13523:2019. Esses requisitos construtivos são adequados, mas a ausência de especificação do mecanismo de travamento do portão de acesso ao pátio de serviço constitui a lacuna real a ser endereçada.

No projeto executivo, recomenda-se especificar o mecanismo de travamento do portão PO4 de acesso ao pátio de serviço, com ferrolho ou trinco posicionado a altura mínima de 1,60 m do piso, inacessível a crianças. Complementar com sinalização de advertência com pictogramas "Acesso Restrito" e "Perigo — GLP" em ambos os lados do portão, conforme exigências da NBR 13523:2019.

Figura 04: Corte da Prancha



Fonte: Projeto Arquitetônico Tipo 1 padrão FNDE (2023).

3.2.5 Instalações Elétricas e Proteção Infantil

As especificações elétricas constam no item 6.1 do Memorial Descritivo e são reforçadas pela análise das pranchas de ampliação dos Blocos A e B. O Memorial informa explicitamente que não foram consideradas tomadas baixas em áreas de acesso irrestrito das crianças — salas de atividades, repouso, solários, salas multiuso, sanitários infantis, refeitório e pátio — e que todos os circuitos de tomadas serão dotados de Dispositivos Diferenciais Residuais (DR) de alta sensibilidade.

A verificação das pranchas de ampliação confirma que os ambientes infantis não apresentam indicação de tomadas baixas em suas plantas e cortes. Nas pranchas dos fraldários, lactário e sanitários infantis, os pontos elétricos visíveis referem-se a equipamentos específicos de uso adulto — como aquecedores, ventiladores e luminárias —, todos em alturas inacessíveis às crianças. Esse conjunto de medidas representa um avanço significativo e consistente do projeto.

Contudo, a análise identifica que essas informações constam exclusivamente nas especificações do projeto elétrico e não são

reproduzidas de forma explícita na seção de Arquitetura ou no caderno geral de encargos. Essa fragmentação aumenta o risco de que, na fase de execução, contratantes e fiscais que não consultem o projeto elétrico em conjunto com o arquitetônico deixem de exigir o cumprimento dessas medidas.

As especificações gerais devem ser incorporadas ao projeto arquitetônico e no caderno de encargos a exigência explícita de tomadas com obturador (proteção infantil) em todos os ambientes da edificação. Reforçar a obrigatoriedade dos DR de alta sensibilidade (30 ma) em todos os circuitos, em conformidade com a ABNT NBR 5410:2004, consolidando essa diretriz em documento único de referência acessível à equipe de fiscalização.

3.2.6 Especificação de Pisos e Coeficiente de Atrito

A Planta de Paginação de Pisos apresenta o mapeamento completo dos revestimentos de piso em toda a edificação, com legenda cromática que diferencia os tipos especificados: piso de concreto desempenado com juntas plásticas e acabamento para tráfego intenso, cerâmica 40×40 cm branco gelo antiderrapante (P2), cerâmica 40×40 cm branco gelo antiderrapante — variação (P3), piso vinílico em manta azul e verde (P5), bloco intertravado de concreto (P7), areia/jardim (P8) e alinhamento de piso em polietileno de concreto (P9).

A análise confirma que os pisos cerâmicos destinados a áreas molhadas — sanitários infantis, fraldários, lactário e higienização — são graficamente indicados como "antiderrapante" (P2 e P3). Esse dado, que não estava explícito no Memorial Descritivo de forma sistemática, é relevante e representa uma qualidade do projeto. No entanto, não quantifica o coeficiente de atrito dinâmico mínimo exigido, limitando-se ao termo genérico "antiderrapante" sem referenciar o valor numérico do coeficiente.

Essa omissão do valor numérico é tecnicamente relevante porque o termo "antiderrapante" por si só não garante conformidade

com a ABNT NBR 9050:2020, que exige coeficiente de atrito dinâmico mínimo de 0,40 para pisos internos molháveis, medido conforme ABNT NBR 13818:2020. Esse valor deve ser comprovado pelo fabricante por meio de ensaio laboratorial, e sua exigência explícita no projeto é condição necessária para que o responsável técnico pela obra possa verificar a conformidade do material adquirido.

A análise das pranchas de ampliação dos fraldários e dos sanitários infantis do Bloco B reforça essa constatação: em ambas as pranchas, o piso dos ambientes molhados é identificado como cerâmica antiderrapante, com fita antiderrapante adicional especificada nas pranchas de fraldário, sendo os degraus dos trocadores revestidos com cerâmica antiderrapante. Entretanto, em nenhuma das pranchas há indicação do coeficiente de atrito mínimo ou da norma de referência para o ensaio de conformidade do material.

Recomenda-se complementar as especificações dos pisos P2 e P3 (cerâmica antiderrapante) com a exigência explícita do coeficiente de atrito dinâmico mínimo de 0,40, conforme ABNT NBR 9050:2020, comprovado por laudo de ensaio emitido por laboratório acreditado pelo INMETRO segundo a ABNT NBR 13818:2020. Incluir essa exigência tanto na (legenda de pisos) quanto no caderno de especificações técnicas, de modo a viabilizar a verificação de conformidade durante a execução e o recebimento da obra.

Figura 05: Detalhamento - Tipos de piso

TIPO	ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL	AMBIENTES DE APLICAÇÃO	ÁREA (m²)	PARTICIPAÇÃO (%)
P1	Passeio de concreto desempenado com juntas plásticas a cada 1,20m	Calçadas perimetrais, acessos externos, varandas externas e rampas	404,60	14,9%
P2	Cerâmica 60×60 cm, PEI 5, cor branco gelo, antiderrapante	Cozinha, lactário, higienização, sanitários PCD e vestiários de funcionários	228,96	8,4%
P3	Cerâmica 45×45 cm, PEI 5, cor branco gelo, antiderrapante	Sanitários infantis, fraldários, sanitários de professores e circulação de áreas molhadas	412,53	15,2%
P4	Granitina com juntas plásticas a cada 1,00m, cor cinza claro	Pátio coberto, hall de entrada, sala de professores/reuniões, sala multiuso, secretaria, direção e almoxarifado	348,00	12,8%
P5	Piso vinílico em manta E=2mm (cores: amarelo, azul, cinza claro e cinza escuro)	Salas de atividades (berçários, infantis), solários e circulação interna	398,28	14,7%
P6	Bloco intertravado de concreto	Pátio de serviço e área de carga/descarga	84,01	3,1%
P7	Areia	Playground (área de areia amortecedora)	76,60	2,8%
P8	Gramma / Jardim	Áreas verdes, jardins e horta	726,76	26,8%
P9	Acabamento polido para piso de concreto	Casa de bombas, castelo d'água e depósito de gás	37,09	1,4%

Fonte: Autor próprio, seguindo o Projeto Arquitetônico Tipo 1 padrão FNDE (2023).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou o Memorial Descritivo e as 41 pranchas arquitetônicas do Projeto Proinfância Tipo 1, desenvolvido pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) em parceria com o Ministério da Educação, com foco na segurança física das crianças. A investigação articulou referenciais teóricos sobre desenvolvimento infantil e ambiente construído, normas técnicas brasileiras vigentes e análise documental integrada, demonstrando que o projeto apresenta qualidade técnica reconhecível, ao mesmo tempo em que revela lacunas pontuais passíveis de comprometer a integridade física das crianças na fase de implantação.

A análise confirmou que o Projeto Proinfância Tipo 1 possui organização técnica consistente, com setorização adequada por faixa etária, soluções de acessibilidade, conforto térmico e previsão de ambientes pedagógicos diversificados. Esses elementos evidenciam o alinhamento do projeto às diretrizes do programa e aos referenciais teóricos que concebem o ambiente como "terceiro educador", conforme propõe Malaguzzi (1984), e que reconhecem o espaço escolar como condição essencial ao desenvolvimento cognitivo, motor e socioemocional das crianças, em consonância com as contribuições de Piaget (1970) e Freire (1996).

Contudo, foram identificadas seis lacunas técnicas que merecem atenção prioritária na elaboração dos projetos executivos e na fiscalização das obras: (1) a largura mínima de 80 cm das circulações internas, insuficiente para o fluxo coletivo seguro, especialmente em momentos de deslocamento simultâneo de grupos com carrinhos e andadores; (2) a ausência de especificação de limitadores de abertura nas esquadrias com peitoril baixo, que representam risco de escalada e queda; (3) a omissão da espessura da camada amortecedora do piso do playground, contrariando os critérios da ABNT NBR 16071:2021; (4) a falta de especificação do mecanismo de travamento do portão de acesso ao pátio de serviço onde está localizada a central de GLP; (5) a concentração das diretrizes de

proteção elétrica exclusivamente no projeto elétrico, sem reprodução nas especificações gerais de arquitetura; e (6) a ausência do coeficiente de atrito dinâmico mínimo nas especificações dos pisos antiderrapantes destinados a áreas molhadas, exigido pela ABNT NBR 9050:2020.

É importante ressaltar que essas fragilidades decorrem, em grande medida, do caráter padronizado e de abrangência nacional do projeto, que, por definição, não consegue antecipar todas as especificidades locais de topografia, clima e contexto socioespacial. Tal constatação não diminui o mérito do Proinfância enquanto política pública de ampliação do acesso à educação infantil, mas reforça a indispensabilidade de análises críticas conduzidas por engenheiros civis e arquitetos na fase de adaptação e implantação do projeto em cada município, conforme também sinalizado pela literatura especializada em arquitetura escolar (Kowaltowski, 2020; OECD, 2021).

As recomendações formuladas ao longo deste estudo — ampliação das rotas de circulação, instalação de limitadores de abertura nas esquadrias, detalhamento técnico do piso do playground, especificação do mecanismo de travamento do portão de serviço, consolidação das diretrizes de proteção elétrica nas especificações gerais de arquitetura e exigência explícita do coeficiente de atrito nos pisos de áreas molhadas — constituem subsídio técnico concreto para a qualificação dos projetos executivos derivados do Tipo 1. A implementação dessas melhorias não implica alteração estrutural do projeto, mas sim o aprimoramento de detalhes que impactam diretamente a segurança cotidiana das crianças.

Por fim, o presente trabalho reafirma que a garantia de ambientes seguros em instituições de educação infantil transcende o cumprimento formal das normas técnicas. Ela exige uma postura ética e comprometida dos profissionais de engenharia e arquitetura, que precisam articular o domínio técnico ao entendimento das necessidades reais das crianças em suas diferentes fases do desenvolvimento. Conforme ressalta Freire (1996), a prática responsável exige atenção à vida, o que, no campo da engenharia escolar, se traduz em decisões projetuais que garantam, de fato,

ambientes capazes de acolher, proteger e estimular o pleno desenvolvimento da primeira infância.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077: saídas de emergência em edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13523: central de GLP**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818: placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14718: guarda-corpos para edificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16071: playgrounds**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros básicos de infraestrutura para instituições de educação infantil**. Brasília: MEC/SEB, 2006. Disponível em: https://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/Edu-cinf/miolo_infraestr.pdf. Acesso em: 12 mar. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil — Proinfância**. Brasília:

FNDE, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfancia>. Acesso em: 19 mar. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **Projeto arquitetônico Proinfância Tipo 1: memorial descritivo e pranchas técnicas**. Brasília: FNDE, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfancia/projetos-arquiteticos-para-construcao/projeto-tipo-1>. Acesso em: 27 mar. 2026.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA. **Building back better: how early childhood education can support children's recovery**. Nova York: UNICEF, 2021.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

MALAGUZZI, Loris. **L'occhio se salta il muro: narratives of the possible**. Reggio Emilia: Comune di Reggio Emilia, 1984.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **Reimagining our futures together: a new social contract for education**. Paris: UNESCO, 2021. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379707>. Acesso em: 22 abr. 2026.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **Transforming education: the power of learning environments**. Paris: UNESCO, 2022.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Education at a Glance 2021: OECD indicators**. Paris: OECD Publishing, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/b35a14e5-en>. Acesso em: 20 maio 2026.

PIAGET, Jean. **A origem da inteligência na criança**. Tradução de Álvaro Cabral. Rio de Janeiro: Zahar, 1952.

PIAGET, Jean. **Epistemologia genética**. Tradução de Álvaro Cabral. São Paulo: Martins Fontes, 1970.

VYGOTSKY, Lev Semyonovich. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

ZABALZA, Miguel Ángel. **Qualidade em educação infantil**. Porto Alegre: Artmed, 2020.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE GEOTÉCNICA PRELIMINAR APLICADA A FUNDA- ÇÕES RASAS EM EDIFICAÇÕES DE PEQUENO PORTE: ES- TUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PIRIPIRI – PI

*PRELIMINARY GEOTECHNICAL ANALYSIS APPLIED TO SHALLOW FOUNDA-
TIONS IN SMALL BUILDINGS: A CASE STUDY IN THE MUNICIPALITY OF PIRI-
PIRI – PI*

Bruno Kauã da Silva Barbosa

Centro Universitário CHRISFAPI – UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0000-8644-4769>
brunobarbosa0003@gmail.com

Gustavo Carvalho Sirqueira

Centro Universitário CHRISFAPI – UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0005-9333-5997>
gusttavosirqueira@gmail.com

Lucas Rian Sousa de Araújo

Centro Universitário CHRISFAPI – UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0000-3371-6070>
lucaslr2257@gmail.com

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Centro Universitário CHRISFAPI – UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-4577-2173>
marcilio@chrisfapi.com.br

Maysa Memória Martins

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0000-0003-0964-7700>
maysa_memoria@hotmail.com

Thalia Ohana Monteiro Lima

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0001-5914-2527>

ohanamtr@outlook.com

Josiele Castelo Branco Fontenele Ramos

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri-PI

<https://orcid.org/0009-0002-4490-8216>

josiellecstelobranco@hotmail.com

Mayrã do Nascimento Silva

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-3439-5421>

mayransilva123@gmail.com

Laysa Cruz Machado

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-1748-7316>

englaysacruz@gmail.com

Laerte Sousa de Brito

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0004-9786-4880>

englaertebrito@gmail.com

RESUMO

A escolha adequada do sistema de fundação está diretamente relacionada ao conhecimento das características geotécnicas do solo, especialmente em edificações de pequeno porte, nas quais ainda é comum a adoção de soluções baseadas em práticas empíricas ou em experiências locais. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo rea-

lizar uma análise geotécnica preliminar aplicada a fundações rasas em duas edificações de pequeno porte localizadas no município de Piripiri – PI, destinadas ao funcionamento de uma clínica de psicologia e de uma clínica veterinária. A pesquisa foi desenvolvida por meio de visitas técnicas, coleta de amostras de solo, preparação laboratorial, secagem em estufa, peneiramento, ensaio de limite de liquidez com o aparelho de Casagrande e tentativa de determinação do limite de plasticidade. Foram coletados 16.415,00 g de solo na clínica de psicologia e 14.249,00 g na clínica veterinária, sendo separadas porções representativas para os ensaios de consistência. Os resultados indicaram limites de liquidez baixos e relativamente próximos entre as amostras, além da impossibilidade de obtenção do limite de plasticidade em ambas, devido à desagregação prematura do material e à baixa coesão observada durante a moldagem. Esses resultados sugerem comportamento preliminar compatível com solos de baixa plasticidade e tendência granular. De forma complementar, observou-se que a fundação em pedra argamassada, adotada na clínica de psicologia, apresentou custo 32,35% inferior ao da fundação em sapatas utilizada na clínica veterinária. Conclui-se que a caracterização geotécnica preliminar contribui para a interpretação inicial do comportamento do solo, mas não substitui investigações complementares, como sondagens à percussão com ensaio SPT, necessárias à definição segura dos parâmetros de projeto.

Palavras-chave: Caracterização Geotécnica; Fundações Rasas; Limites de Atterberg; Solos Granulares; Investigação Geotécnica.

ABSTRACT

The appropriate selection of a foundation system is directly related to the knowledge of the geotechnical characteristics of the soil, especially in small-scale buildings, where the adoption of solutions based on empirical practices or local experience is still common. In this context, the present study aimed to carry out a preliminary geotechnical analysis applied to shallow foundations in two small-scale buildings located in the municipality of Piripiri, Piauí, Brazil, intended for the operation of a psychology clinic and a veterinary clinic. The research was conducted through technical visits, soil sample collection, laboratory preparation, oven drying, sieving, liquid limit testing using the Casagrande appa-

tus, and an attempt to determine the plastic limit. A total of 16,415.00 g of soil was collected from the psychology clinic site and 14,249.00 g from the veterinary clinic site, with representative portions separated for consistency tests. The results indicated low and relatively similar liquid limits between the samples, as well as the impossibility of obtaining the plastic limit in both cases, due to the premature disaggregation of the material and the low cohesion observed during molding. These results suggest a preliminary behavior compatible with low-plasticity soils with a granular tendency. Additionally, it was observed that the mortared stone foundation adopted in the psychology clinic presented a cost 32.35% lower than that of the spread footing foundation used in the veterinary clinic. It is concluded that preliminary geotechnical characterization contributes to the initial interpretation of soil behavior; however, it does not replace complementary investigations, such as standard penetration tests (SPT), which are necessary for the safe definition of design parameters.

Keywords: Geotechnical Characterization; Shallow Foundations; Atterberg Limits; Granular Soils; Geotechnical Investigation.

1 INTRODUÇÃO

As fundações constituem os elementos responsáveis pela transmissão das cargas provenientes das edificações ao terreno, sendo fundamentais para a estabilidade, a segurança e o desempenho estrutural das construções ao longo de sua vida útil. O comportamento desses elementos está diretamente condicionado às características geotécnicas do solo, especialmente quanto à resistência, compressibilidade, deformabilidade, permeabilidade e sensibilidade à variação de umidade. Dessa forma, o conhecimento prévio das condições do subsolo representa uma etapa essencial para subsidiar a escolha adequada do sistema de fundação e reduzir a possibilidade de manifestações patológicas associadas a recalques diferenciais e deformações excessivas (Velloso; Lopes, 2011; ABNT, 2022).

A variabilidade natural dos solos constitui um dos principais desafios da engenharia geotécnica, uma vez que materiais com diferentes composições granulométricas e mineralógicas podem apresentar comportamentos distintos quando submetidos às solicitações impostas pelas estruturas. Solos predominantemente argilosos tendem a apresentar maior plasticidade, maior retenção de água e maior sensibilidade às variações de umidade, enquanto solos arenosos, em geral, possuem comportamento granular, menor coesão e reduzida capacidade de deformação plástica. Assim, a caracterização preliminar do solo contribui para a interpretação de seu comportamento físico e para a redução de incertezas nas etapas de projeto e execução de fundações (Pinto, 2006; Das; Sobhan, 2018).

Em edificações de pequeno porte, ainda é recorrente a adoção de soluções de fundação baseadas em experiências práticas ou em procedimentos empíricos, sem a realização de investigações geotécnicas compatíveis com as condições reais do terreno. Essa prática pode comprometer a confiabilidade das decisões técnicas, especialmente quando não há informações suficientes sobre a estratigrafia, a resistência e a deformabilidade do solo. A ausência de dados geotécnicos adequados pode favorecer a ocorrência de recalques diferenciais, fissuras, trincas e demais manifestações patológicas relacionadas ao desempenho insatisfatório das fundações (Schnaid; Odebrecht, 2012; Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015; ABNT, 2022).

A investigação geotécnica tem como finalidade fornecer subsídios para a compreensão das condições do subsolo, permitindo avaliar aspectos relacionados à capacidade de suporte, à presença de camadas compressíveis, à variação de umidade e à adequação das soluções de fundação ao tipo de obra. Entre os procedimentos usualmente empregados, destacam-se as sondagens de simples reconhecimento à percussão, conhecidas como SPT — *Standard Penetration Test*. Esse ensaio consiste na cravação de um amostrador-padrão no solo, por meio de golpes sucessivos de um martelo padronizado, permitindo registrar a resistência à penetração e identificar a sequência das camadas do terreno. Por fornecer

informações sobre o perfil do subsolo e sua resistência relativa, o SPT é amplamente utilizado no reconhecimento geotécnico para projetos de fundações (Schnaid; Odebrecht, 2012; ABNT, 2020; ABNT, 2022).

Além das investigações de campo, os ensaios laboratoriais de caracterização física constituem ferramentas importantes para a avaliação preliminar do comportamento dos solos. Nesse contexto, os limites de Atterberg são utilizados para analisar a consistência e a plasticidade de solos finos, permitindo identificar a influência do teor de umidade na mudança de estado físico do material. O limite de liquidez corresponde ao teor de umidade associado à transição do estado plástico para o estado líquido, enquanto o limite de plasticidade indica a transição entre os estados plástico e semissólido; a diferença entre esses limites define o índice de plasticidade do solo (Caputo, 2022; ABNT, 2025a; ABNT, 2025b).

A interpretação dos limites de Atterberg está diretamente relacionada à composição granulométrica e mineralógica dos solos. Materiais com maior presença de partículas argilosas tendem a apresentar maior plasticidade, maior retenção de água e maior interação físico-química com a água, enquanto solos predominantemente granulares ou com reduzida fração argilosa podem apresentar baixa coesão e dificuldade de moldagem durante os ensaios de consistência. Nesses casos, a impossibilidade de obtenção do limite de plasticidade não deve ser interpretada como falha experimental, mas como indicativo do comportamento pouco plástico do material analisado (Craig; Knappett, 2019; Budhu, 2015; Das, 2022).

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo realizar uma análise geotécnica preliminar aplicada a fundações rasas em edificações de pequeno porte, por meio da caracterização de amostras de solo coletadas em duas edificações localizadas no município de Piripiri – PI. A pesquisa busca avaliar o comportamento físico preliminar dos materiais analisados, com ênfase nos resultados obtidos no ensaio de limite de liquidez e na tentativa de determinação do limite de plasticidade, relacionando-os à importância da investigação geotécnica como ferramenta auxiliar na interpretação das condições do subsolo.

De forma complementar, o estudo também considera uma breve análise comparativa entre as soluções de fundação adotadas nas edificações, observando a diferença percentual de custo entre a fundação em pedra argamassada e a fundação em sapatas, especialmente em função das variações associadas ao volume de escavação, ao volume de concreto, ao consumo de materiais, à fabricação, montagem e desmontagem de fôrmas de madeira, bem como à complexidade executiva de cada sistema.

O artigo está estruturado em quatro seções principais, além do resumo, do *abstract* e das referências. Inicialmente, apresenta-se a introdução, na qual são contextualizados o tema, o problema de pesquisa, a justificativa e os objetivos do estudo. Em seguida, o referencial teórico reúne os principais conceitos relacionados à investigação geotécnica, às fundações rasas, à caracterização dos solos, aos limites de Atterberg, ao comportamento de solos granulares e às manifestações patológicas associadas à ausência de estudos do subsolo. Na sequência, os resultados e discussões contemplam os procedimentos metodológicos adotados, a caracterização inicial das amostras, a análise dos ensaios laboratoriais e a comparação complementar entre as soluções de fundação observadas nas edificações estudadas. Por fim, são apresentadas as considerações finais, destacando as principais conclusões, as limitações da pesquisa e as recomendações para estudos futuros.

Ressalta-se, entretanto, que os ensaios realizados neste estudo possuem caráter preliminar e não substituem as investigações geotécnicas complementares necessárias à definição segura dos parâmetros de projeto. A determinação da capacidade de carga, da tensão admissível e da escolha definitiva do sistema de fundação exige estudos mais abrangentes, incluindo sondagens, ensaios de campo e análises compatíveis com as exigências normativas para projeto e execução de fundações. Portanto, a análise proposta deve ser compreendida como uma contribuição inicial para a caracterização dos solos estudados e para a valorização da investigação geotécnica em edificações de pequeno porte.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Investigação Geotécnica e Fundações Rasas

As fundações constituem os elementos responsáveis pela transmissão das cargas da edificação ao terreno, devendo ser definidas de acordo com as características da estrutura e com as condições geotécnicas do subsolo. De modo geral, podem ser classificadas em fundações rasas, também denominadas superficiais, e fundações profundas, conforme a profundidade de assentamento e o mecanismo predominante de transmissão das cargas ao solo. As fundações rasas, como sapatas, blocos, vigas de fundação e radiers, transmitem os esforços principalmente pela base do elemento, enquanto as fundações profundas, como estacas e tubulões, transferem as cargas para camadas mais resistentes por meio da resistência de ponta e/ou do atrito lateral (Velloso; Lopes, 2011; ABNT, 2022).

A definição do tipo de fundação deve considerar não apenas a profundidade de assentamento e o mecanismo de transferência de cargas, mas também a compatibilidade entre o sistema estrutural, o comportamento do solo e as condições executivas da obra. Em edificações de pequeno porte, soluções superficiais podem apresentar viabilidade técnica e econômica quando o terreno possui condições adequadas de suporte; entretanto, sua adoção exige avaliação criteriosa do subsolo, das cargas atuantes e dos possíveis recalques, de modo a evitar decisões baseadas exclusivamente em práticas empíricas ou em experiências locais (Berberian, 2003; Velloso; Lopes, 2011; Cintra; Aoki; Albiero, 2011; ABNT, 2022).

A investigação geotécnica tem como finalidade fornecer informações sobre a estratigrafia, a resistência, a compressibilidade, a deformabilidade e demais características relevantes do subsolo. Esses dados subsidiam a escolha do sistema de fundação, auxiliam na avaliação da segurança da obra e reduzem as incertezas associadas ao comportamento tensão-deformação do terreno. A ABNT NBR 6122 estabelece que o projeto e a execução de fundações devem ser precedidos por reconhecimento adequado do subsolo, compatível com

o porte da obra e com as condições geotécnicas locais (Schnaid; Odebrecht, 2012; ABNT, 2022).

Entre os métodos de investigação de campo, destaca-se a sondagem de simples reconhecimento à percussão com ensaio SPT, amplamente utilizada em obras de engenharia civil para identificação das camadas do subsolo e obtenção do índice de resistência à penetração. Esse procedimento permite avaliar, de forma indireta, a resistência do terreno e fornece subsídios importantes para a definição preliminar de soluções de fundação. Entretanto, os resultados das sondagens devem ser interpretados em conjunto com observações de campo, ensaios laboratoriais e critérios de projeto adequados (Schnaid; Odebrecht, 2012; ABNT, 2020; Cintra; Aoki; Albiero, 2011).

Apesar da importância da investigação geotécnica, em obras de pequeno porte ainda é comum a adoção de soluções empíricas, baseadas apenas na experiência prática ou na comparação com construções vizinhas. Essa prática pode aumentar a probabilidade de incompatibilidade entre o sistema de fundação e as condições reais do solo, favorecendo a ocorrência de recalques diferenciais, fissuras, trincas e demais manifestações patológicas relacionadas ao desempenho inadequado das fundações (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015; Schnaid; Odebrecht, 2012; ABNT, 2022).

2.2 Caracterização Geotécnica dos Solos

A caracterização geotécnica dos solos corresponde ao conjunto de procedimentos destinados à identificação das propriedades físicas e comportamentais dos materiais presentes no terreno. Entre os principais parâmetros analisados, destacam-se a granulometria, a umidade, a consistência, a compacidade, a permeabilidade, a plasticidade e a deformabilidade. A compreensão desses aspectos é fundamental para interpretar a resposta do solo diante das solicitações impostas pelas edificações e para auxiliar na avaliação preliminar de sua interação com as fundações (Das, 2022; Pinto, 2006).

O comportamento dos solos é fortemente influenciado pela distribuição granulométrica e pela composição mineralógica de suas partículas. Solos argilosos, por apresentarem partículas finas e maior superfície específica, tendem a possuir maior plasticidade, maior retenção de água e maior sensibilidade às variações de umidade. Solos arenosos, por outro lado, apresentam comportamento predominantemente granular, maior permeabilidade, menor coesão e menor capacidade de deformação plástica, sendo sua resistência associada principalmente ao atrito entre as partículas (Craig; Knappett, 2019; Budhu, 2015; Das, 2022).

A presença de água nos vazios do solo exerce influência significativa sobre propriedades como resistência, compressibilidade e consistência. Em solos finos, pequenas variações no teor de umidade podem alterar, de modo expressivo, o comportamento mecânico do material, especialmente quando há presença significativa de argilominerais. Por essa razão, a avaliação da umidade e da plasticidade constitui uma etapa relevante em estudos de caracterização preliminar, sobretudo quando se busca compreender a influência da água sobre o comportamento do terreno (Caputo, 2022; Budhu, 2015; Pinto, 2006).

Os ensaios laboratoriais de caracterização física contribuem para a identificação de tendências de comportamento dos solos e para a classificação preliminar dos materiais analisados. Entretanto, esses ensaios não devem ser interpretados isoladamente como parâmetros suficientes para o dimensionamento de fundações, uma vez que a definição segura da capacidade de carga, dos recalques e da solução de fundação exige investigação complementar e análise conjunta das condições de campo e de laboratório (Schnaid; Odebrecht, 2012; Das, 2022; ABNT, 2022).

2.3 Limites de Atterberg e Plasticidade dos Solos

Os limites de Atterberg são parâmetros utilizados para avaliar a consistência e a plasticidade dos solos finos em função da variação do

teor de umidade. Esses limites representam transições entre os estados físicos do solo, permitindo analisar o comportamento do material nos estados sólido, semissólido, plástico e líquido. Na engenharia geotécnica, tais parâmetros são amplamente empregados na caracterização preliminar de solos argilosos e siltosos, contribuindo para a interpretação da trabalhabilidade, da deformabilidade e da sensibilidade à água (Caputo, 2022; Das, 2022; Pinto, 2006).

O limite de liquidez corresponde ao teor de umidade no qual o solo passa do estado plástico para o estado líquido, sendo tradicionalmente determinado por meio do aparelho de Casagrande. O ensaio permite construir a curva de fluidez do material e identificar o teor de umidade correspondente ao fechamento da ranhura para um número padronizado de golpes. Esse parâmetro fornece indicação da interação entre as partículas finas e a água, sendo influenciado pela mineralogia, pela granulometria e pela atividade das frações argilosas presentes no solo (ABNT, 2025a; Caputo, 2022; Das, 2022).

O limite de plasticidade corresponde ao teor de umidade em que o solo deixa de apresentar comportamento plástico e passa ao estado semissólido. Sua determinação ocorre por meio da moldagem manual do solo em fios cilíndricos com diâmetro padronizado, até que o material comece a se fragmentar. A diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade define o índice de plasticidade, parâmetro utilizado para avaliar a faixa de umidade na qual o solo apresenta comportamento plástico (ABNT, 2025b; Caputo, 2022; Pinto, 2006).

Os valores de limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade estão diretamente relacionados à composição granulométrica e mineralógica do solo. Materiais com maior presença de argilominerais tendem a apresentar maior plasticidade e maior capacidade de retenção de água, enquanto materiais predominantemente arenosos ou com baixa fração argilosa geralmente apresentam reduzida coesão e baixa capacidade de deformação plástica. Dessa forma, os limites de Atterberg são especialmente representativos para solos finos, devendo ser interpretados com cautela em solos granulares ou pouco coesivos (Craig; Knappett, 2019; Budhu, 2015; Das, 2022).

Em materiais com predominância granular, a determinação do limite de plasticidade pode ser dificultada ou impossibilitada pela fragmentação prematura do solo durante a moldagem. Essa condição ocorre porque a baixa presença de frações argilosas e argilominerais reduz a interação físico-química entre o solo e a água, impedindo a formação de uma estrutura coesiva capaz de manter deformação contínua. Assim, a não obtenção do limite de plasticidade pode representar uma característica do próprio material, e não necessariamente uma falha do procedimento experimental (Craig; Knappett, 2019; Pinto, 2006; Das, 2022).

A interpretação dos limites de Atterberg também pode auxiliar na avaliação preliminar de comportamentos associados à variação de umidade, como expansão, retração, compressibilidade e perda de consistência. Solos com elevados índices de plasticidade tendem a apresentar maior sensibilidade à água e maior potencial de variação volumétrica, enquanto solos com baixa plasticidade geralmente apresentam menor deformação plástica e comportamento mais condicionado à granulometria e ao atrito entre as partículas. Contudo, essa análise deve ser complementada por outros ensaios, a fim de se obter uma caracterização geotécnica mais completa (Budhu, 2015; Caputo, 2022; Das, 2022).

2.4 Comportamento de Solos Granulares e Baixa Plasticidade

Os solos granulares são constituídos predominantemente por partículas de areia e pedregulho, apresentando comportamento mecânico controlado principalmente pelo contato e pelo atrito entre os grãos. Diferentemente dos solos argilosos, esses materiais possuem menor capacidade de retenção de água, baixa coesão aparente e reduzida interação físico-química entre partículas. Por essa razão, tendem a apresentar menor plasticidade e maior permeabilidade, características que influenciam diretamente sua resposta diante das cargas aplicadas pelas fundações (Craig; Knappett, 2019; Budhu, 2015; Das, 2022).

A baixa plasticidade em solos arenosos ou pouco coesivos está associada à reduzida presença de partículas finas ativas, especialmente argilominerais. Como a plasticidade depende da capacidade do solo de se deformar sem ruptura dentro de determinada faixa de umidade, materiais granulares tendem a se desagregar com maior facilidade durante procedimentos de moldagem. Esse comportamento explica a dificuldade de obtenção do limite de plasticidade em solos com baixa fração argilosa e reforça a importância de relacionar os resultados laboratoriais à observação tátil-visual do material (Pinto, 2006; Craig; Knappett, 2019; Caputo, 2022).

Sob o ponto de vista geotécnico, solos granulares podem apresentar bom desempenho em determinadas condições de fundação, especialmente quando possuem compacidade adequada, baixa compressibilidade e ausência de camadas fracas ou saturadas em profundidade. Entretanto, a simples identificação de comportamento arenoso ou de baixa plasticidade não é suficiente para afirmar que o solo possui capacidade de suporte adequada, uma vez que fatores como densidade relativa, nível d'água, estratigrafia, confinamento e histórico geológico influenciam diretamente seu comportamento mecânico (Cintra; Aoki; Albiero, 2011; Schnaid; Odebrecht, 2012; ABNT, 2022).

Dessa forma, a análise de solos granulares deve considerar tanto os resultados laboratoriais quanto os dados obtidos em campo. Ensaio de consistência podem indicar baixa plasticidade e reduzida coesão, mas não fornecem, isoladamente, parâmetros suficientes para estimar a capacidade de carga ou os recalques. Para uma avaliação mais segura de fundações superficiais, torna-se necessário associar a caracterização física do solo a investigações complementares, como sondagens de simples reconhecimento à percussão com ensaio SPT, ensaios granulométricos e demais procedimentos compatíveis com o porte e a finalidade da obra (ABNT, 2020; ABNT, 2022; ABNT, 2025c; Schnaid; Odebrecht, 2012).

2.5 Patologias Relacionadas à Ausência de Investigação Geotécnica

A ausência de investigação geotécnica adequada pode comprometer o desempenho das fundações e favorecer o surgimento de manifestações patológicas nas edificações. Quando as características do subsolo não são suficientemente conhecidas, aumenta o risco de adoção de soluções incompatíveis com a capacidade de suporte, a deformabilidade e a variabilidade natural do terreno. Entre as consequências mais comuns, destacam-se recalques diferenciais, fissuras, trincas, desaprumos e deformações excessivas em elementos estruturais e de vedação (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015; Bolina; Tutikian; Helene, 2019; ABNT, 2022).

Os recalques diferenciais ocorrem quando diferentes regiões da edificação sofrem deslocamentos verticais desiguais, gerando redistribuição de esforços e tensões adicionais nos elementos estruturais. Esse fenômeno pode estar relacionado à heterogeneidade do solo, à presença de camadas compressíveis, à variação do nível d'água, à execução inadequada das fundações ou à escolha de uma solução incompatível com as condições reais do terreno. Assim, a investigação geotécnica constitui etapa essencial para reduzir incertezas e subsidiar decisões técnicas mais seguras (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015; Schnaid; Odebrecht, 2012; Velloso; Lopes, 2011).

Em edificações de pequeno porte, a ausência de sondagens e ensaios de caracterização pode resultar em interpretações simplificadas do comportamento do solo, especialmente quando se considera apenas a observação superficial do terreno. Embora análises preliminares sejam úteis para orientar a compreensão inicial das condições locais, elas não substituem estudos geotécnicos completos nem permitem, isoladamente, a definição de parâmetros de projeto. Dessa forma, a caracterização preliminar deve ser compreendida como uma etapa auxiliar, capaz de indicar tendências de comportamento, mas dependente de investigações complementares para decisões

definitivas sobre fundações (ABNT, 2020; ABNT, 2022; Schnaid; Odebrecht, 2012).

No contexto deste estudo, a abordagem teórica apresentada permite fundamentar a análise dos ensaios de limite de liquidez e da tentativa de determinação do limite de plasticidade das amostras coletadas. A discussão sobre solos granulares, baixa plasticidade e limitações dos ensaios de consistência é essencial para interpretar tecnicamente a não obtenção do limite de plasticidade, bem como para reforçar que os resultados laboratoriais possuem caráter preliminar e devem ser avaliados em conjunto com investigações geotécnicas complementares (ABNT, 2025a; ABNT, 2025b; Craig; Knappett, 2019; Pinto, 2006; Das, 2022; ABNT, 2022).

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES

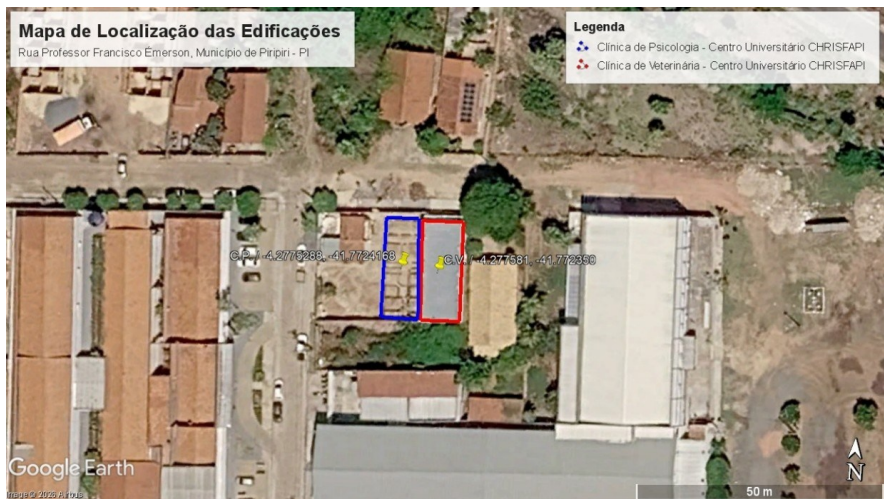
3.1 Procedimentos Metodológicos

A pesquisa foi desenvolvida como um estudo de caso aplicado à análise geotécnica preliminar de solos coletados em duas edificações de pequeno porte localizadas no município de Piripiri – PI. A Amostra 01 correspondeu ao terreno da clínica de psicologia, cuja fundação foi executada em pedra argamassada, enquanto a Amostra 02 correspondeu ao terreno da clínica veterinária, cuja solução adotada foi a fundação em sapatas. A escolha das edificações considerou a proximidade entre os terrenos, a semelhança arquitetônica e a adoção de sistemas de fundação distintos, permitindo relacionar, de forma preliminar, as características dos solos analisados às soluções executivas observadas no estudo de caso.

A localização das edificações e a identificação das áreas de coleta foram apresentadas por meio de imagem obtida no Google Earth Pro, complementada por registros fotográficos das fachadas, conforme

as Figuras 1 e 2, a fim de contextualizar espacialmente os pontos analisados.

Figura 01 - Localização das edificações analisadas e identificação das áreas de coleta das amostras de solo no Município de Piri-piri – PI.



Fonte: Google Earth Pro (2026).

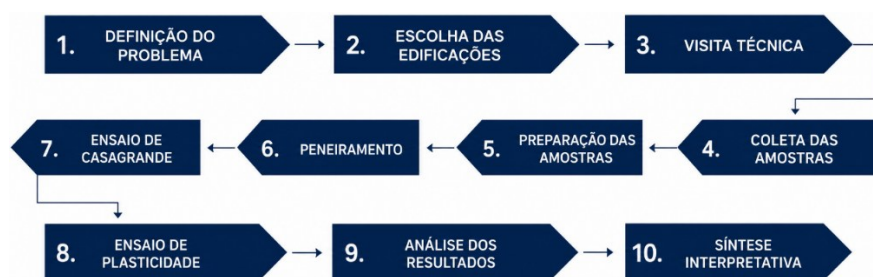
Figura 02 - Fachada frontal das edificações analisadas no Município de Piri-piri – PI.



Fonte: Autoria própria (2026).

O percurso metodológico compreendeu a definição do problema, a escolha das edificações, a realização da visita técnica, a coleta das amostras, a preparação laboratorial, a secagem em estufa, o peneiramento, a execução do ensaio de limite de liquidez com o aparelho de Casagrande, a tentativa de determinação do limite de plasticidade e a análise dos resultados. Essa sequência, apresentada no fluxograma da Figura 3, foi organizada com o objetivo de sistematizar as etapas necessárias à obtenção dos dados experimentais e à interpretação preliminar do comportamento físico dos solos estudados.

Figura 03 - Fluxograma das etapas metodológicas adotadas na pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2026).

Além dos ensaios laboratoriais, realizou-se uma análise complementar de caráter técnico-econômico, considerando as soluções de fundação adotadas nas duas edificações. Essa avaliação teve como finalidade verificar a diferença percentual de custo entre a fundação em pedra argamassada e a fundação em sapatas, observando aspectos como volume de escavação, volume de concreto, consumo de materiais, fabricação, montagem e desmontagem de fôrmas, bem como a complexidade executiva de cada sistema. Ressalta-se que essa análise foi tratada como complementar, não substituindo a avaliação geotécnica e estrutural necessária à definição segura dos sistemas de fundação.

3.2 Preparação das Amostras para Execução dos Ensaios

Inicialmente, realizou-se uma visita técnica aos locais estudados, com observação das condições gerais dos terrenos e identificação dos pontos de coleta. As amostras foram obtidas por escavação manual, sendo coletados 16.415,00 g de solo na área da clínica de psicologia e 14.249,00 g na área da clínica veterinária, conforme apresentado nas Figuras 4 e 5. Esses valores foram registrados como massa total inicial de cada amostra, servindo de referência para o controle das frações posteriormente destinadas à preparação laboratorial e aos ensaios de consistência (Pinto, 2006; Dados da pesquisa, 2026).

Figura 04 - Pesagem inicial da amostra de solo 01 após coleta.



Fonte: Autoria própria (2026).

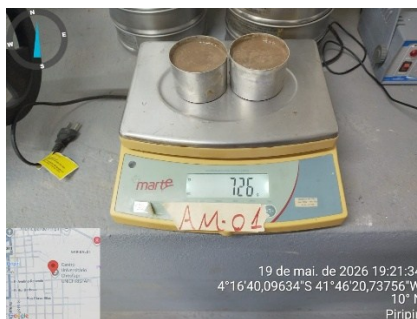
Figura 05 - Pesagem inicial da amostra de solo 02 após coleta.



Fonte: Autoria própria (2026).

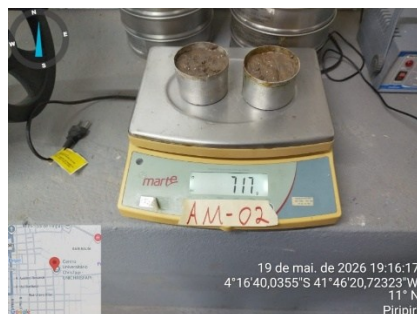
Após a coleta, selecionaram-se porções representativas das amostras para a preparação dos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, conforme apresentado nas Figuras 6 e 7. Da Amostra 01, foram separados 726,00 g, correspondentes a aproximadamente 4,42% da massa total coletada. Da Amostra 02, foram destinados 717,00 g, equivalentes a aproximadamente 5,03% da massa total. A separação de frações representativas é necessária para reduzir interferências decorrentes da heterogeneidade natural dos solos e permitir maior controle das condições iniciais dos ensaios laboratoriais.

Figura 06 - Separação das porções da amostra 01 destinada à secagem em estufa.



Fonte: Autoria própria (2026).

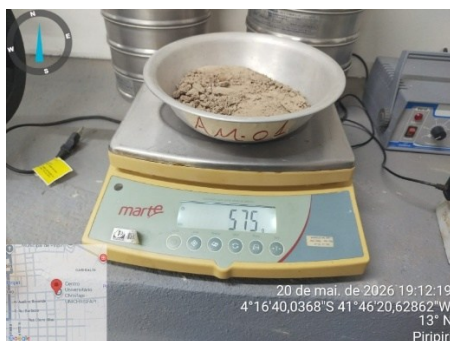
Figura 07 - Separação das porções da amostra 02 destinada à secagem em estufa.



Fonte: Autoria própria (2026).

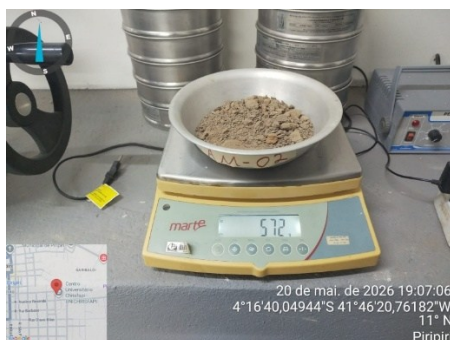
As porções selecionadas foram submetidas à secagem em estufa, à temperatura de 105 °C, durante 24 horas. A Amostra 01 apresentou massa seca de 575,00 g, correspondendo a uma redução aproximada de 20,80% em relação à massa úmida inicial separada para o ensaio. A Amostra 02 apresentou massa seca de 572,00 g, indicando redução aproximada de 20,22%. Essa etapa teve como finalidade remover a umidade presente no material e preparar o solo para os procedimentos subsequentes, uma vez que a água influencia diretamente a consistência, a trabalhabilidade e o comportamento físico dos solos naturais (Caputo, 2022).

Figura 08 - Pesagem da amostra 01 após secagem em estufa a 105 °C por 24 horas.



Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 09 - Pesagem da amostra 02 após secagem em estufa a 105 °C por 24 horas.



Fonte: Autoria própria (2026).

Posteriormente, as amostras secas foram submetidas ao peneiramento em agitador eletromecânico, ilustrado na Figura 10, considerando-se a fração passante na peneira nº 40 para a realização dos ensaios de consistência. Essa etapa foi importante para preparar o material em condições mais adequadas aos procedimentos laboratoriais, uma vez que partículas de maior dimensão poderiam interferir na homogeneização da amostra, na moldagem da pasta de solo e na resposta do material durante os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade.

Conforme apresentado nas Figuras 10, 11 e 12, o peneiramento permitiu separar a fração mais fina e mais representativa para os ensaios de consistência, reduzindo a influência de partículas grosseiras que não participam diretamente do comportamento plástico avaliado nesses procedimentos.

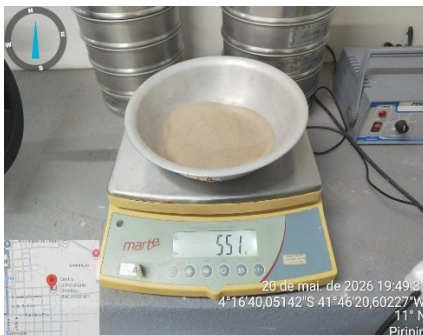
Após o peneiramento, foram obtidos 551,00 g de material passante para a Amostra 01 e 388,00 g para a Amostra 02, evidenciando diferença entre as frações aproveitáveis para os procedimentos laboratoriais. Essa variação indica, de forma preliminar, que as amostras podem apresentar diferenças quanto à distribuição de partículas, especialmente em relação à quantidade de material mais fino disponível para os ensaios. No entanto, essa constatação deve ser interpretada com cautela, pois o procedimento realizado teve finalidade preparatória e não corresponde a uma análise granulométrica completa. Assim, os valores obtidos após o peneiramento foram utilizados apenas como apoio à caracterização inicial das amostras e à organização dos procedimentos experimentais subsequentes.

Figura 10 – Agitador eletromecânico.



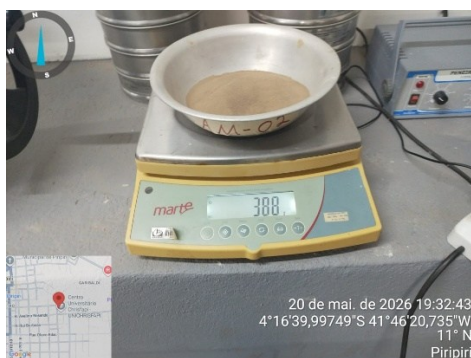
Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 11 - Material passante após peneiramento da amostra 01 na peneira nº 40.



Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 12 - Material passante após peneiramento da amostra 02 na peneira nº 40.



Fonte: Autoria própria (2026).

Para a realização dos ensaios de consistência, separaram-se 200,00 g de solo de cada amostra. Essa fração foi utilizada tanto na execução do ensaio de limite de liquidez com o aparelho de Casagrande quanto na tentativa de determinação do limite de plasticidade. A padronização da quantidade de material utilizada em cada amostra contribuiu para a comparação entre os dois solos analisados, reduzindo interferências associadas à diferença de volume de material manipulado durante o procedimento experimental (ABNT, 2025a; ABNT, 2025b).

O limite de liquidez foi determinado pelo método do aparelho de Casagrande, conforme apresentado na Figura 13, com acompanhamento técnico durante o ensaio. O solo previamente preparado foi homogeneizado com adição gradual de água destilada até atingir consistência adequada para moldagem na concha do equipamento. Em seguida, a pasta de solo foi distribuída, regularizada e sulcada com cinzel padronizado, formando a ranhura central exigida pelo procedimento normativo. O equipamento foi acionado por golpes sucessivos até o fechamento da ranhura, registrando-se, para cada ponto experimental, o volume de água adicionado, o número de golpes e a massa úmida destinada à determinação do teor de umidade. Esse procedimento permitiu construir a curva de fluidez utilizada para a obtenção do limite de liquidez das amostras analisadas (ABNT, 2025a; Caputo, 2022; Dados da pesquisa, 2026).

Figura 13 – Execução do ensaio de limite de liquidez no aparelho de Casagrande.



Fonte: Autoria própria (2026).

Na Amostra 02, correspondente à clínica veterinária, foram realizadas cinco determinações sucessivas no aparelho de Casagrande. Foram adicionados 30 mL, 33 mL, 35 mL, 36,5 mL e 38,5 mL de água destilada, resultando, respectivamente, em 60, 45, 30, 24 e 12 golpes para o fechamento da ranhura. Para cada condição, coletaram-se porções de solo úmido com massas de 18,00 g, 18,00 g, 21,00 g, 19,00 g e 21,00 g, posteriormente encaminhadas à estufa para determinação dos teores de umidade.

Na Amostra 01, correspondente à clínica de psicologia, o procedimento foi realizado de forma semelhante. Foram adicionados 43 mL, 46 mL, 47,5 mL, 49 mL e 51,5 mL de água destilada, obtendo-se, respectivamente, 25, 7, 6, 5 e 3 golpes. As massas úmidas coletadas para posterior determinação da umidade foram de 16,46 g, 15,07 g, 15,35 g, 11,25 g e 18,33 g. Esses dados permitiram relacionar o teor de umidade ao número de golpes e construir a curva de fluidez para determinação do limite de liquidez.

Após a etapa de golpes no aparelho de Casagrande, as porções coletadas foram novamente submetidas à secagem em estufa, à temperatura de 105 °C, por aproximadamente 20 horas. Para a Amostra 02, registraram-se massas secas de 16,38 g, 15,56 g, 18,29 g, 15,41 g e 17,39 g. Para a Amostra 01, as massas secas obtidas foram de 13,63 g, 12,26 g, 12,60 g, 9,17 g e 14,97 g. Esses valores foram utilizados para calcular os teores de umidade correspondentes a cada ponto experimental. A seguir, apresentam-se dois quadros-síntese referentes aos dados das Amostras 01 e 02.

Tabela 01 – Dados em resumo da amostra 01.

AMOSTRA 01					
PONTOS	01	02	03	04	05
PESO ÚMIDO (G)	16,46	15,07	15,35	11,25	18,33
PESO SECO (G)	13,63	12,26	12,60	9,17	14,97
DESCONTO TARA CÁPSULA (G)	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20
PESO ÁGUA (G)	2,83	2,81	2,75	2,08	3,36
TEOR DE UMIDADE (%)	20,76	22,92	21,83	22,68	22,44
Nº DE GOLPES (QTD)	25	7	6	5	3

Fonte: Autoria própria (2026).

Tabela 02 – Dados em resumo da amostra 02.

AMOSTRA 02					
PONTOS	01	02	03	04	05
PESO ÚMIDO (G)	18,00	18,00	21,00	19,00	21,00
PESO SECO (G)	16,38	15,56	18,29	15,41	17,39
DESCONTO TARA CÁPSULA (G)	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20
PESO ÁGUA (G)	1,62	2,44	2,71	3,59	3,61
TEOR DE UMIDADE (%)	9,89	15,68	14,82	23,30	20,76
Nº DE GOLPES (QTD)	60	45	30	24	12

Fonte: Autoria própria (2026).

Também foi realizada a tentativa de determinação do limite de plasticidade em ambas as amostras, conforme apresentado na Figura 14. O procedimento consistiu na moldagem manual do solo sobre placa de vidro, buscando formar fios cilíndricos com aproximadamente 3,00 mm de diâmetro, conforme estabelecido pela ABNT NBR 7180:2025. Entretanto, durante a execução, observou-se que o material se desagregava antes de atingir a conformação adequada, apresentando fragmentação prematura e dificuldade de manutenção da forma cilíndrica. Esse comportamento inviabilizou a obtenção de resultados válidos para o limite de plasticidade nas duas amostras analisadas, indicando baixa coesão e reduzida capacidade de deformação plástica do material ensaiado (ABNT, 2025b; Pinto, 2006; Das, 2022; Dados da pesquisa, 2026).

Figura 14 – Execução do ensaio de limite de plasticidade.



Fonte: Autoria própria (2026).

Por fim, os teores de umidade calculados para cada ponto experimental foram associados aos respectivos números de golpes obtidos no aparelho de Casagrande. Com esses dados, elaboraram-se as curvas de fluidez das amostras e determinou-se o teor de umidade correspondente a 25 golpes, adotado como limite de liquidez. Os resultados foram posteriormente comparados e interpretados à luz da literatura geotécnica, considerando as limitações próprias de uma análise preliminar e a necessidade de investigações complementares para a definição segura dos parâmetros de fundação (ABNT, 2025a; Schnaid; Odebrecht, 2012; ABNT, 2022).

Ao final da etapa experimental, os dados obtidos foram organizados e relacionados aos respectivos procedimentos executados, permitindo a construção de uma sequência lógica das atividades desenvolvidas na pesquisa. Essa sistematização teve como finalidade apresentar, de forma objetiva, o percurso metodológico adotado desde a definição do problema até a interpretação dos resultados, evidenciando as etapas necessárias à obtenção dos dados analisados neste estudo (Marconi; Lakatos, 2021; Dados da pesquisa, 2026).

3.3 Determinação do limite de liquidez

O ensaio de limite de liquidez permitiu avaliar o comportamento das amostras em função da variação do teor de umidade e do número de golpes necessários ao fechamento da ranhura no aparelho de Casagrande. A partir dos dados experimentais obtidos, foram calculados os teores de umidade correspondentes a cada ponto e, posteriormente, construídas as curvas de fluidez das amostras. O limite de liquidez foi determinado pelo teor de umidade correspondente a 25 golpes, conforme o procedimento normativo estabelecido para o ensaio (ABNT, 2025a; Caputo; Caputo, 2022).

Para cada ponto experimental, o teor de umidade foi calculado a partir da relação entre a massa de água presente na amostra e a

massa seca do solo. A massa de água foi obtida pela diferença entre a massa úmida e a massa seca, conforme a expressão:

$$P_{\text{água}} = P_{\text{úmido}} - P_{\text{seco}}$$

Em seguida, o teor de umidade foi determinado pela relação:

$$w = (P_{\text{água}} / P_{\text{seco}}) \times 100$$

Em que: w representa o teor de umidade do solo, expresso em porcentagem; $P_{\text{água}}$ corresponde à massa de água evaporada durante a secagem em estufa; e P_{seco} representa a massa seca do solo. Esse procedimento permitiu obter, para cada amostra, os pares formados pelo número de golpes (N) e pelo respectivo teor de umidade (w), utilizados na construção da curva de fluidez.

A curva de fluidez utilizada na determinação do limite de liquidez pode ser representada pela equação

$$w = a \cdot \log(N) + b$$

Em que: w corresponde ao teor de umidade do solo, N representa o número de golpes obtido no aparelho de Casagrande, $\log(N)$ indica o logaritmo decimal do número de golpes, a corresponde ao coeficiente angular da reta ajustada e b representa o coeficiente linear, ou intercepto. A utilização do logaritmo decimal ocorre porque a relação entre o teor de umidade e o número de golpes não é adequadamente representada por uma relação linear simples quando se utiliza N diretamente. Assim, a transformação logarítmica permite representar a curva de fluidez por meio de uma reta ajustada, facilitando a interpolação do teor de umidade correspondente a 25 golpes (ABNT, 2025a; Das, 2022).

Com base nos dados obtidos experimentalmente, os valores de número de golpes foram convertidos em logaritmo decimal e associados aos respectivos teores de umidade de cada amostra, conforme apresentado na Tabela 03. Essa organização permitiu visualizar os pares de dados utilizados na construção das curvas de fluidez e serviu de base para o ajuste das retas de regressão empregadas na determinação do limite de liquidez das duas amostras analisadas.

Tabela 03 – Dados utilizados para construção das curvas de fluidez das amostras analisadas.

AMOSTRA	Nº DE GOLPES	LOG(N)	TEOR DE UMI-DADE W (%)
AMOSTRA 01	25	1,3979	20,76
AMOSTRA 01	7	0,8451	22,92
AMOSTRA 01	6	0,7781	21,83
AMOSTRA 01	5	0,6990	22,68
AMOSTRA 01	3	0,4771	22,44
AMOSTRA 02	60	1,7782	9,89
AMOSTRA 02	45	1,6532	15,68
AMOSTRA 02	30	1,4771	14,82
AMOSTRA 02	24	1,3802	23,3
AMOSTRA 02	12	1,0792	20,76

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Após a transformação dos valores de N em log(N), aplicou-se a regressão linear pelo método dos mínimos quadrados. Esse método permite ajustar uma reta que representa a tendência média dos pontos experimentais, minimizando a soma dos quadrados dos desvios entre os valores observados e os valores estimados pela equação. Dessa forma, a determinação do limite de liquidez não fica condicionada a um único ponto experimental, mas considera o conjunto de dados obtidos no ensaio (Montgomery; Runger, 2018).

Na Amostra 01, correspondente ao solo coletado na clínica de psicologia, a regressão linear entre os valores de log(N) e os teores de umidade resultou na seguinte equação da curva de fluidez:

$$w = -1,9966 \log(N) + 23,8021$$

Nessa equação, o coeficiente angular $a = -1,9966$ indica a inclinação da reta ajustada, enquanto o coeficiente linear $b = 23,8021$ representa o intercepto da curva. O sinal negativo do coeficiente angular indica que o teor de umidade tende a diminuir à medida que o número de golpes aumenta, comportamento esperado no ensaio de limite de liquidez com o aparelho de Casagrande.

Como o limite de liquidez corresponde ao teor de umidade associado a 25 golpes, substituiu-se $N = 25$ na equação ajustada. Considerando $\log(25) = 1,3979$, tem-se:

$$LL = -1,9966 \log(25) + 23,8021$$

$$LL = -1,9966 \times 1,3979 + 23,8021$$

$$LL = -2,7912 + 23,8021$$

$$LL = 21,01\%$$

Dessa forma, o limite de liquidez da Amostra 01 foi igual a 21,01%, adotando-se o valor arredondado de 21%.

Na Amostra 02, correspondente ao solo coletado na clínica veterinária, a regressão linear entre os valores de $\log(N)$ e os teores de umidade resultou na seguinte equação:

$$w = -15,4902 \log(N) + 39,7160$$

Nesse caso, o coeficiente angular $a = -15,4902$ indica maior inclinação da reta ajustada em comparação à Amostra 01, enquanto o coeficiente linear $b = 39,7160$ define a posição da reta no sistema de coordenadas adotado. A maior inclinação da curva indica maior variação do teor de umidade em relação à variação do número de golpes, evidenciando maior sensibilidade dos resultados experimentais dessa amostra durante o ensaio.

Para a determinação do limite de liquidez da Amostra 02, também se adotou $N = 25$. Considerando $\log(25) = 1,3979$, tem-se:

$$LL = -15,4902 \log(25) + 39,7160$$

$$LL = -15,4902 \times 1,3979 + 39,7160$$

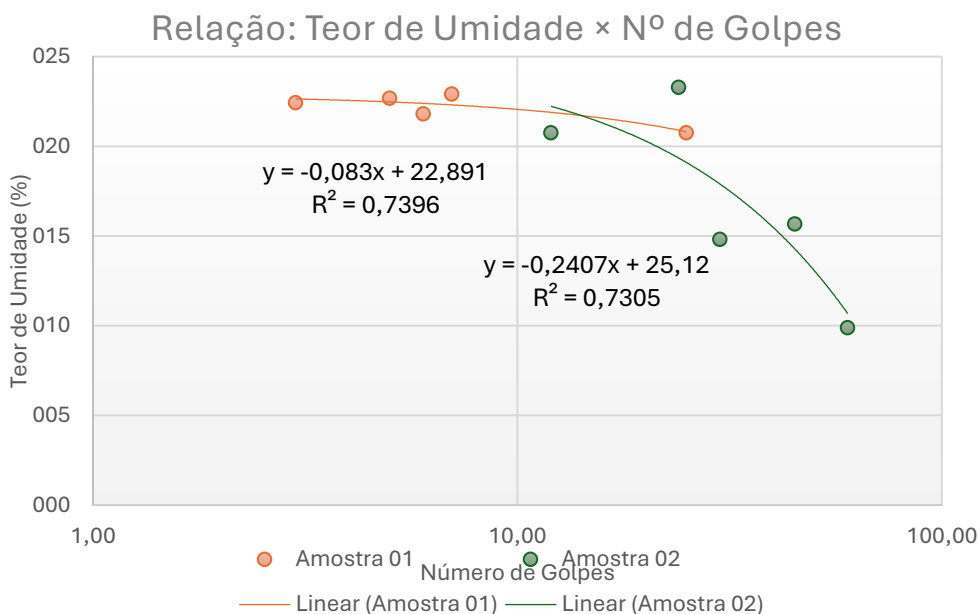
$$LL = -21,6544 + 39,7160$$

$$LL = 18,06\%$$

Assim, o limite de liquidez da Amostra 02 foi igual a 18,06%, adotando-se o valor arredondado de 18%.

O comportamento dos materiais pode ser observado no Gráfico 1, que apresenta as curvas de fluidez obtidas pela relação entre o teor de umidade e o número de golpes no aparelho de Casagrande. A representação permite comparar as amostras e identificar o teor de umidade correspondente a 25 golpes, adotado como limite de liquidez.

Gráfico 01 – Curvas de fluidez das amostras analisadas.



Fonte: Autoria própria (2026).

Os valores obtidos indicam baixos limites de liquidez para ambas as amostras, sendo 21% para a Amostra 01 e 18% para a Amostra 02. Esses resultados sugerem comportamento compatível com materiais de baixa plasticidade e com tendência à predominância granular. Em solos granulares ou pouco coesivos, a baixa interação entre as partículas pode dificultar a obtenção de curvas de fluidez bem definidas, uma vez que o fechamento da ranhura pode ocorrer por acomodação ou desagregação dos grãos, e não pela deformação plástica típica de solos argilosos (Pinto, 2006; Caputo; Caputo, 2022; Das, 2022).

A proximidade entre os limites de liquidez das duas amostras sugere comportamento físico relativamente semelhante quanto à interação entre solo e água. Entretanto, essa semelhança não permite afirmar que os terrenos possuem a mesma capacidade de suporte ou o mesmo desempenho como apoio de fundações, uma vez que o limite

de liquidez é apenas um parâmetro de caracterização física. Aspectos como resistência, compacidade, estratigrafia, nível d'água e recalques não podem ser definidos apenas com base nos resultados de LL, exigindo investigações geotécnicas complementares (Schnaid; Odebrecht, 2012; ABNT, 2022; Velloso; Lopes, 2011).

A análise das curvas também evidencia maior irregularidade nos pontos experimentais da Amostra 02, que apresentou maior dispersão em relação à tendência linear ajustada. Essa dispersão pode estar relacionada ao comportamento preliminarmente granular do material, visto que solos com baixa plasticidade e reduzida presença de finos tendem a apresentar menor coesão entre as partículas e maior dificuldade de distribuição homogênea da água durante o preparo da amostra. Nessas condições, pequenas variações no teor de umidade interno podem provocar diferenças significativas no número de golpes registrados, resultando em curvas menos uniformes quando comparadas às obtidas em solos argilosos.

Dessa forma, o comportamento observado não indica, necessariamente, falha experimental, mas pode estar associado às limitações da aplicação do ensaio de limite de liquidez em materiais de comportamento granular e com reduzida capacidade de retenção hídrica. Assim, os valores obtidos devem ser interpretados como resultados indicativos, associados às condições experimentais observadas e à natureza preliminarmente arenosa das amostras analisadas neste estudo (ABNT, 2025a; Pinto, 2006; Das, 2022; Dados da pesquisa, 2026).

3.4 Determinação do Limite de Plasticidade

Após a determinação do limite de liquidez, procedeu-se à tentativa de obtenção do limite de plasticidade das duas amostras. O ensaio buscou avaliar a capacidade do solo de apresentar deformação plástica por meio da moldagem manual de fios cilíndricos com aproximadamente 3 mm de diâmetro. Esse procedimento é utilizado

para identificar o teor de umidade correspondente à transição entre os estados plástico e semissólido do solo (ABNT, 2025b; Caputo, 2022).

Durante a execução do ensaio, observou-se que ambas as amostras apresentaram dificuldade de moldagem e desagregação prematura antes da formação adequada dos fios. O material não manteve coesão suficiente para permitir a continuidade do procedimento, impossibilitando a determinação experimental do limite de plasticidade. Dessa forma, o LP foi classificado como não obtido para as duas amostras analisadas (ABNT, 2025b; Dados da pesquisa, 2026).

A não obtenção do limite de plasticidade não deve ser interpretada como falha do ensaio, mas como indicativo do comportamento do próprio material. Solos com baixa fração argilosa ou comportamento predominantemente granular tendem a apresentar baixa coesão, reduzida interação físico-química com a água e dificuldade de deformação plástica contínua. Esse comportamento é compatível com materiais de tendência arenosa ou pouco coesivos, nos quais a moldagem dos fios exigidos pelo ensaio se torna limitada ou inviável (Craig; Knappett, 2019; Pinto, 2006; Das, 2022).

A ausência de resultado válido para o limite de plasticidade impossibilitou o cálculo do índice de plasticidade, uma vez que esse parâmetro é calculado pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. Ainda assim, a própria impossibilidade de obtenção do LP constitui informação geotécnica relevante, pois reforça a interpretação de baixa plasticidade das amostras. Essa condição deve ser discutida em conjunto com os valores baixos de limite de liquidez e com a observação tátil-visual realizada durante a caracterização inicial (ABNT, 2025b; Budhu, 2015; Caputo, 2015; Dados da pesquisa, 2026).

Do ponto de vista da avaliação preliminar de fundações, a baixa plasticidade pode indicar menor tendência a deformações volumétricas associadas à expansão e retração quando comparada a solos argilosos altamente plásticos. No entanto, essa interpretação não autoriza concluir, de forma isolada, que o solo possui capacidade de carga adequada ou que determinada fundação é tecnicamente superior. Para isso, seriam necessárias investigações complementares,

especialmente sondagens de simples reconhecimento à percussão com SPT e análises específicas de capacidade de suporte e recalques (Schnaid; Odebrecht, 2012; ABNT, 2020; ABNT, 2022).

3.5 Análise Comparativa dos Resultados Geotécnicos

A análise conjunta dos resultados indica que as duas amostras apresentaram comportamento físico semelhante quanto aos parâmetros de consistência avaliados. Ambas apresentaram baixos limites de liquidez e impossibilidade de determinação do limite de plasticidade, sugerindo materiais com baixa plasticidade, reduzida coesão e comportamento preliminarmente associado à predominância granular. Essa interpretação é coerente com a observação tátil-visual realizada nas amostras e com a literatura geotécnica sobre solos arenosos ou pouco coesivos (Craig; Knappett, 2019; Das, 2022; Pinto, 2006; Dados da pesquisa, 2026).

Apesar da semelhança entre os resultados de consistência, observou-se diferença na quantidade de material passante na peneira nº 40, sendo 551,00 g para a Amostra 01 e 388,00 g para a Amostra 02. Essa diferença sugere um indício preliminar de variação na composição granulométrica dos solos analisados, podendo indicar maior presença de partículas mais grossas ou retidas na Amostra 02. Contudo, por não ter sido realizada análise granulométrica completa, essa informação deve ser interpretada com cautela e utilizada apenas como apoio à caracterização preliminar (ABNT, 2024; ABNT, 2025c; Craig; Knappett, 2019; Dados da pesquisa, 2026).

Os resultados obtidos não substituem investigações geotécnicas de campo, especialmente porque os ensaios de limites de Atterberg avaliam principalmente o comportamento de solos finos em relação à variação de umidade. Parâmetros indispensáveis ao projeto de fundações, como capacidade de carga, perfil estratigráfico, resistência à penetração obtida por SPT, nível d'água e estimativa de recalques, não podem ser determinados apenas com os ensaios realizados neste estudo. Portanto, as conclusões devem ser apresentadas como

preliminares e limitadas ao comportamento físico das amostras ensaiadas (Schnaid; Odebrecht, 2012; ABNT, 2020; ABNT, 2022).

Ainda assim, os ensaios realizados possuem relevância técnica por evidenciarem a importância da caracterização geotécnica mesmo em edificações de pequeno porte. A análise permitiu identificar tendências de comportamento dos solos estudados, especialmente quanto à baixa plasticidade e à dificuldade de moldagem no ensaio de limite de plasticidade. Essas informações auxiliam na compreensão inicial do terreno e reforçam a necessidade de associar observações de campo, ensaios laboratoriais e investigações geotécnicas adequadas antes da definição do sistema de fundação (Velloso; Lopes, 2011; Pinto, 2006; ABNT, 2022; ABNT, 2025b; Dados da pesquisa, 2026).

3.6 Análise Complementar do Tipo de Fundação e do Custo Executivo

Além da caracterização geotécnica preliminar, observou-se, no estudo de caso, a adoção de soluções de fundação distintas nas duas edificações analisadas. Na clínica de psicologia, foi executada fundação em pedra argamassada, enquanto na clínica veterinária foi adotada fundação em sapatas. Embora as edificações apresentem características arquitetônicas semelhantes, a escolha de sistemas diferentes evidencia a importância de avaliar conjuntamente aspectos técnicos, executivos e econômicos no processo de definição das fundações (Velloso; Lopes, 2011; ABNT, 2022; Dados da pesquisa, 2026).

A partir do levantamento orçamentário realizado, verificou-se que a fundação em pedra argamassada, adotada na clínica de psicologia, apresentou custo 32,35% inferior ao da fundação em sapatas executada na clínica veterinária. Essa diferença indica vantagem econômica da solução em pedra argamassada no caso analisado, especialmente por se tratar de edificação de pequeno porte e por envolver menor complexidade executiva, com menor demanda de etapas associadas à armação, às fôrmas e à concretagem estrutural. Contudo, essa vantagem deve ser compreendida apenas sob o ponto

de vista econômico, não implicando superioridade técnica da solução sem a realização de investigações geotécnicas e verificações específicas de capacidade de suporte e recalques (Mattos, 2019; Tisaka, 2011; Dados da pesquisa, 2026).

A diferença de custo observada entre as soluções adotadas pode ser relacionada à maior complexidade executiva da fundação em sapatas, que demanda etapas como controle da escavação e da base de apoio, regularização da base, montagem de armaduras, eventual fabricação, montagem e desmontagem de fôrmas, além do lançamento, adensamento e cura do concreto. Em comparação, a fundação em pedra argamassada apresentou menor demanda por concreto armado, menor consumo de aço e execução mais simples no caso estudado, o que contribuiu para a redução do custo global no levantamento orçamentário realizado. Assim, a diferença percentual de 32,35% deve ser compreendida como resultado das condições específicas das edificações analisadas, dos quantitativos envolvidos e das etapas executivas associadas a cada sistema (Carvalho; Figueiredo Filho, 2024; Mattos, 2019; Tisaka, 2011; Dados da pesquisa, 2026).

No caso da fundação em sapatas, adotada na clínica veterinária, trata-se de uma solução em concreto armado que exige maior controle geométrico e executivo, especialmente quanto à escavação, à regularização da base, ao posicionamento das armaduras, ao lançamento do concreto, ao adensamento e à cura. Por envolver elementos estruturais armados, esse tipo de fundação demanda cuidados específicos de detalhamento e execução, uma vez que a transferência adequada dos esforços ao solo depende tanto do comportamento geotécnico do terreno quanto da correta concepção estrutural do elemento de fundação (Carvalho; Figueiredo Filho, 2024; Velloso; Lopes, 2011; ABNT, 2022; ABNT, 2023).

A constatação de menor custo e menor complexidade executiva da fundação em pedra argamassada não significa, por si só, que essa solução seja tecnicamente superior ou aplicável a qualquer situação. A escolha adequada do sistema de fundação deve considerar as cargas da edificação, as características do solo, a profundidade de assentamento, a presença de água, os recalques admissíveis e os

critérios normativos de segurança. Dessa forma, a análise econômica deve ser interpretada como complementar à avaliação geotécnica e estrutural, e não como critério isolado para definição da solução de fundação (Schnaid; Odebrecht, 2012; ABNT, 2022; Cintra; Aoki; Albiero, 2011).

No contexto deste estudo, a comparação entre as duas fundações contribui para demonstrar que decisões executivas em edificações de pequeno porte podem gerar impactos significativos no custo da obra. Entretanto, os resultados laboratoriais obtidos não permitem afirmar que a fundação em pedra argamassada foi mais adequada geotecnicamente do que a fundação em sapatas, pois não foram realizadas investigações de campo capazes de subsidiar a estimativa da capacidade de suporte, da estratigrafia e dos recalques. Assim, a principal contribuição da análise está em evidenciar que a economia de uma solução deve sempre ser avaliada em conjunto com a segurança, o desempenho e a investigação geotécnica do terreno (ABNT, 2020; ABNT, 2022; Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015; Dados da pesquisa, 2026).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise geotécnica preliminar aplicada a fundações rasas em edificações de pequeno porte, a partir da caracterização de amostras de solo coletadas em duas edificações localizadas no município de Piripiri – PI. Os procedimentos laboratoriais realizados permitiram avaliar aspectos iniciais do comportamento físico dos materiais analisados, especialmente quanto ao limite de liquidez e à tentativa de determinação do limite de plasticidade.

Os resultados indicaram baixos limites de liquidez para ambas as amostras, com valores relativamente próximos, sugerindo comportamento físico semelhante quanto à interação entre solo e água. A impossibilidade de obtenção do limite de plasticidade reforçou a interpretação preliminar de baixa plasticidade dos materiais, condição

compatível com solos de tendência granular e reduzida coesão, conforme observado durante os procedimentos experimentais (ABNT, 2025a; ABNT, 2025b; Pinto, 2006; Caputo, 2022; Das, 2022; Dados da pesquisa, 2026).

A análise complementar das soluções de fundação evidenciou que, no caso estudado, a fundação em pedra argamassada executada na clínica de psicologia apresentou custo 32,35% inferior ao da fundação em sapatas adotada na clínica veterinária. Entretanto, esse resultado não permite afirmar, de forma isolada, que a solução mais econômica seja necessariamente a mais adequada, uma vez que a escolha do sistema de fundação deve considerar as características geotécnicas do terreno, as cargas da edificação, os recalques admissíveis e os critérios normativos de segurança (ABNT, 2022; Cintra; Aoki; Albiero, 2011; Schnaid; Odebrecht, 2012; Dados da pesquisa, 2026).

Ressalta-se que os ensaios realizados possuem caráter preliminar e não são suficientes para determinar a capacidade de carga, a tensão admissível, os recalques ou a segurança global das fundações. Como limitação da pesquisa, destaca-se a ausência de sondagens de simples reconhecimento à percussão com SPT, ensaios granulométricos completos, ensaios de resistência ao cisalhamento e análises específicas de capacidade de suporte. Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros ampliem a investigação por meio de ensaios de campo e de laboratório complementares, permitindo uma avaliação mais precisa da relação entre solo, tipo de fundação, custo executivo e desempenho estrutural das edificações (ABNT, 2020; ABNT, 2022; ABNT, 2025c; Schnaid; Odebrecht, 2012).

Conclui-se que a caracterização geotécnica preliminar contribuiu para a compreensão inicial do comportamento dos solos analisados e reforçou a importância da investigação do subsolo em edificações de pequeno porte. Embora os resultados laboratoriais indiquem baixa plasticidade e tendência granular, decisões definitivas sobre fundações devem ser baseadas em investigações geotécnicas mais completas, associando critérios técnicos, econômicos, normativos e de segurança.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122:2019: projeto e execução de fundações**. Emenda 1:2022. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5248/abnt-nbr6122-projeto-e-execucao-de-fundacoes>. Acesso em: 10 mar. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118:2023: projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5211/abnt-nbr6118-projeto-de-estruturas-de-concreto>. Acesso em: 10 mar. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457:2024: solos — preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1963/abnt-nbr6457-solos-preparacao-de-amostras-para-ensaios-de-compactacao-caracterizacao-e-determinacao-do-teor-de-umidade>. Acesso em: 10 mar. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459:2025: solos — determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro: ABNT, 2025a. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1966/abnt-nbr6459-solos-determinacao-do-limite-de-liquidez>. Acesso em: 10 mar. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6484:2020: solo — sondagem de simples reconhecimento com SPT — método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/2743/abnt-nbr6484-solo-sondagem-de-simples-reconhecimento-com-spt-metodo-de-ensaio>. Acesso em: 10 mar. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180:2025: solos — determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2025b. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1967/abnt-nbr7180-solos-determinacao-do-limite-de-plasticidade>. Acesso em: 10 mar. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181:2025: solo — análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2025c. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1968/abnt-nbr7181-solo-analise-granulometrica>. Acesso em: 10 mar. 2026.

BERBERIAN, Dickran. **Engenharia de fundações: passo a passo**. 28. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2003. Disponível em: https://books.google.com/books/about/Engenharia_de_funda%C3%A7%C3%B5es.html?hl=pt-BR&id=HcHMkQEACAAJ. Acesso em: 10 mar. 2026.

BOLINA, Fabrício Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. Disponível em: https://books.google.com/books/about/Patologia_de_estruturas.html?id=g-bEDwAAQBAJ. Acesso em: 10 mar. 2026.

BUDHU, Muni. **Soil mechanics fundamentals**. Chichester: John Wiley & Sons, 2015. Disponível em: <https://www.wiley.com/endk/Soil%2BMechanics%2BFundamentals%2C%2BMetric%2BVersion-p-9781119019657>. Acesso em: 10 mar. 2026.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros; RODRIGUES, J. Martinho de A. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022. v. 1. Disponível em: <https://consulta.uffs.edu.br/acervo/5079807>. Acesso em: 10 mar. 2026.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2023**. 5. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2024. Disponível em: <https://pergamum.ufscar.br/acervo/209629/reserva>. Acesso em: 10 mar. 2026.

CASAGRANDE, Arthur. **Research on the Atterberg limits of soils**. Public Roads, Washington, v. 13, n. 8, p. 121-136, 1932. Disponível em: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/59386>. Acesso em: 10 mar. 2026.

CINTRA, José Carlos Angelo; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002222537>. Acesso em: 10 mar. 2026.

Knappett, J., & Craig, R.F. (2019). **Craig's Soil Mechanics** (9th ed.). CRC Press. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781351052740>. Acesso em: 10 mar. 2026.

DAS, Braja M. **Principles of geotechnical engineering**. 10. ed. Boston: Cengage Learning, 2022. Disponível em: <https://faculty.cengage.com/works/9780357420478>. Acesso em: 10 mar. 2026.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Mountain View: Google, 2026. Imagem de satélite utilizada para localização das edificações analisadas no município de Piripiri-PI. Disponível em: <https://www.google.com/earth/about/versions/>. Acesso em: 10 mar. 2026.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021. Disponível em: <https://pergamum.ufpel.edu.br/acervo/123340>. Acesso em: 10 mar. 2026.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/como-preparar-orcamentos-de-obra-3ed/p>. Acesso em: 10 mar. 2026.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Disponível em: https://books.google.com/books/about/Patologia_das_funda%C3%A7%C3%B5es.html?id=M0EqCgAAQBAJ. Acesso em: 10 mar. 2026.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Applied statistics and probability for engineers**. 7. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. Disponível em: <https://www.wiley.com/en-us/Applied%2BStatistics%2Band%2BProbability%2Bfor%2BEngineers%2C%2B7th%2BEdition-p-9781119400363>. Acesso em: 10 mar. 2026.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/curso-basico-de-mecanica-dos-solos-3-edicao/p>. Acesso em: 10 mar. 2026.

SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/ensaios-de-campo-e-suas-aplicacoes-a-engenharia-de-fundacoes-2-ed/p>. Acesso

em: 10 mar. 2026.

TISAKA, Maçahico. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Pini, 2011. Disponível em:

<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2011/12/08/livro-orcamento-na-construcao-civil-consultoria-projeto-e-execucao-2a-edicao-revista-e-ampliada/>. Acesso em: 10 mar. 2026.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais e fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Disponível em: <https://www.bvirtual.com.br/NossoAcervo/Publicacao/181502>. Acesso em: 10 mar. 2026.

CAPÍTULO 5

COMPARAÇÃO BIBLIOGRÁFICA ENTRE EMULSÃO ASFÁLTICA E ARGAMASSA POLIMÉRICA NA IMPERMEABILIZAÇÃO DE VI- GAS BALDRAMES: EFICIÊNCIA, DURABILIDADE, APLICABILI- DADE E VIABILIDADE ECONÔMICA

*A BIBLIOGRAPHIC COMPARISON BETWEEN ASPHALT EMULSION AND
POLYMER-MODIFIED MORTAR FOR GRADE BEAM WATERPROOFING: PER-
FORMANCE, DURABILITY, APPLICABILITY, AND ECONOMIC FEASIBILITY*

Anna Grazielle Costa

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0009-0001-3974-909X>
annagrazielle03@gmail.com

Flávio Costa do Nascimento

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0009-0002-0550-1210>
flaviocostadn@gmail.com

Laysa Cruz Machado

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0000-0002-1748-7310>
englaysacruz@gmail.com

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0000-0002-4577-2173>
marcilio@chrisfapi.com.br

Josielle Castelo Branco Fontenele Ramos

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0002-4490-8216>
josiellecastelobranco@hotmail.com

Wanderson Rocha Carvalho

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0001-5278-1329>

wanderson_vitoria2010@hotmail.com

Thalia Ohana Monteiro Lima

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0001-5914-2527>

ohanamtr@outlook.com

Danielle Maria Barroso de Sousa

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0002-2849-4463>

danimaria547@gmail.com

Kellson Barros de Oliveira

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-3746-7523>

kellsonb@hotmail.com

Maysa Memória Martins

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri-PI

<https://orcid.org/0000-0003-0964-7700>

maysa_memoria@hotmail.com

RESUMO

A impermeabilização de vigas baldrame é essencial para proteger as edificações contra a umidade ascendente e prevenir manifestações patológicas. Este estudo comparou bibliograficamente a argamassa polimérica e a emulsão asfáltica, considerando eficiência, durabilidade, aplicabilidade e viabilidade econômica, com base em documentos acadêmicos, técnicos e normativos. Os resultados indicaram que ambos os

sistemas apresentam desempenho satisfatório quando corretamente especificados e executados; contudo, a argamassa polimérica demonstrou desempenho técnico ligeiramente superior, especialmente em durabilidade e aplicabilidade, enquanto a emulsão asfáltica destacou-se pela simplicidade executiva e pelo menor custo inicial. Portanto, a escolha do sistema deve considerar as condições de uso, a vida útil esperada e as exigências da edificação.

Palavras-chave: Impermeabilização; Vigas Baldrames; Argamassa Polimérica; Emulsão Asfáltica; Umidade Ascendente.

ABSTRACT

The waterproofing of grade beams is essential to protect buildings against rising damp and prevent pathological manifestations associated with moisture infiltration. This study presents a comparative literature review of polymer-modified mortar and asphalt emulsion, considering efficiency, durability, applicability, and economic feasibility, based on academic, technical, and regulatory sources. The results indicate that both systems provide satisfactory performance when properly specified and applied. However, polymer-modified mortar exhibited slightly superior technical performance, particularly regarding durability and applicability, whereas asphalt emulsion stood out for its ease of application and lower initial cost. Therefore, the selection of the waterproofing system should take into account the service conditions, expected service life, and performance requirements of the building.

Keywords: Waterproofing; Foundation Beams; Polymeric Mortar; Asphalt Emulsion; Rising Damp.

1 INTRODUÇÃO

Desde tempos remotos, o ser humano vem se empenhando em desenvolver técnicas para evitar os incômodos da presença da água nas construções. Há relatos bíblicos que mencionam a construção da Arca por Noé, séculos antes de Cristo, que foi impermeabilizada com o que se chamou de betume. Na Idade Média, romanos e incas utilizavam

combinações de materiais para impermeabilizar suas construções (Sant; Silva, 2023). Com o avanço da engenharia e dos materiais de construção, novas soluções foram desenvolvidas para enfrentar os desafios da umidade, especialmente na proteção das fundações das edificações.

A impermeabilização é essencial na construção civil, reunindo técnicas e materiais destinados a impedir a passagem de fluidos, vapores e umidade. A presença de água nas estruturas pode provocar eflorescências, bolor, mofo, corrosão de armaduras e deslocamento de revestimentos, reduzindo a durabilidade e comprometendo a segurança da edificação (Fernandes et al., 2022). Por isso, a escolha do sistema impermeabilizante deve considerar fatores como a exposição à umidade, a movimentação estrutural e o material empregado na construção.

O foco deste estudo recai sobre as vigas baldrame em edificações residenciais ou de pequeno porte, sobretudo quando em contato com o solo ou expostas a ambientes úmidos, nos quais a falha de impermeabilização favorece o surgimento de patologias recorrentes. A umidade ascendente por capilaridade ocorre quando a água é absorvida por materiais porosos, como blocos e concreto, deslocando-se por seus vazios internos, razão pela qual a proteção das fundações é indispensável para evitar danos e preservar o desempenho estrutural (Azevedo; Pedrosa, 2025).

Do ponto de vista econômico, destaca-se que o investimento preventivo em impermeabilização representa uma parcela relativamente pequena no custo total de uma obra. A correta aplicação de sistemas de impermeabilização durante a construção pode custar entre 1% e 3% do valor total da obra, enquanto a falta de impermeabilização ou a sua execução inadequada pode resultar em custos de reparo que podem ultrapassar 15% do valor total da edificação, além de potenciais danos irreversíveis (Jornal da Construção Civil, 2022). Isso demonstra que investir em impermeabilização não é apenas uma questão de proteção, mas também uma estratégia econômica que pode evitar gastos significativos no futuro.

Entre os sistemas de impermeabilização empregados em fundações destacam-se a argamassa polimérica e a emulsão asfáltica. Em ensaios de absorção capilar, a argamassa polimérica apresenta elevada vedação contra a ascensão de umidade, superando argamassas cimentícias convencionais com desempenho mais estável (Schumanski, 2021). Por outro lado, a emulsão asfáltica continua sendo utilizada em vigas baldrame como solução tradicional de pintura grossa ou membrana à base de betume, com boa aderência à viga e desempenho em contato com o solo, mas dependendo fortemente da qualidade da execução (Silva, 2022).

Pressupõe-se que a argamassa polimérica apresente maior eficácia na impermeabilização de vigas baldrame em relação à emulsão asfáltica, sobretudo por suas características de aderência ao substrato, resistência à umidade e capacidade de formar uma barreira contínua de proteção. Supõe-se também que esse sistema apresente maior durabilidade e menor necessidade de manutenção ao longo do uso da estrutura, especialmente quando aplicado em condições usuais de serviço e conforme as recomendações técnicas. Diante disso, o artigo busca comparar bibliograficamente ambos os sistemas, avaliando seu desempenho frente à umidade ascendente com base em normas técnicas, estudos científicos e boas práticas construtivas.

A ausência ou execução inadequada da impermeabilização pode comprometer diretamente a vida útil da edificação e gerar desconfortos aos usuários (Gonçalves; Silva, 2021). Sob a perspectiva ambiental, soluções duráveis reduzem manutenções e impactos associados a reparos recorrentes (Sabo, 2024). Tal aspecto evidencia que a escolha correta do sistema impermeabilizante beneficia a edificação, os usuários e a sustentabilidade do processo construtivo.

O presente artigo está estruturado de forma lógica e progressiva, iniciando-se por esta introdução e desenvolvendo-se a partir de uma revisão de literatura que constitui o referencial teórico da pesquisa. A análise busca fundamentar o problema investigado, as hipóteses levantadas e os objetivos propostos, os quais foram alcançados por meio de uma metodologia de caráter bibliográfico. Para a organização e sistematização dos dados, utilizou-se uma planilha elaborada no

software Excel, a qual subsidiou a análise dos estudos selecionados. A partir dessa abordagem metodológica, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, possibilitando uma análise crítica acerca do desempenho e da aplicabilidade dos sistemas de impermeabilização estudados.

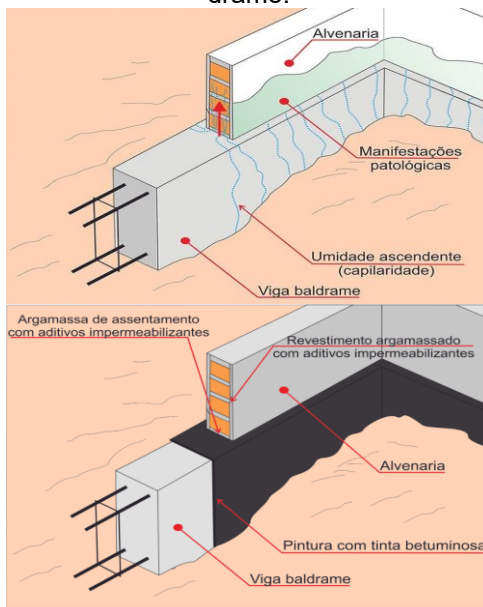
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Umidade Ascendente em Fundações do Tipo Viga Baldrame

O fenômeno da ascensão capilar decorre da interação entre a porosidade dos materiais e a presença contínua de água no solo, permitindo o deslocamento do fluido pelos vazios internos do concreto e da alvenaria. Esse processo está diretamente relacionado às propriedades físicas dos materiais porosos e às condições de umidade presentes no terreno. Esse fenômeno ocorre com maior intensidade em elementos estruturais em contato direto com o solo, elevando o teor de umidade nas regiões inferiores das edificações e favorecendo o surgimento de manifestações patológicas progressivas ao longo do tempo, comprometendo o desempenho global dos sistemas construtivos (Oliveira, 2021).

A adoção de medidas de proteção nas fundações contra a ação da umidade constitui uma etapa essencial para o desempenho e a durabilidade das edificações. A impermeabilização adequada reduz o deslocamento da água proveniente do solo pelos poros dos materiais, auxiliando na preservação das propriedades dos materiais e na redução do aparecimento de manifestações patológicas associadas à presença de umidade (Azevedo; Pedrosa, 2025). As Figuras 01 e 02 apresentam, de forma esquemática, o fenômeno da ascensão capilar e a atuação da impermeabilização nos elementos construtivos em contato com o solo.

Figuras 01 e 02 - Umidade por Capilaridade e Impermeabilização de Viga Baldrame.



Fonte: JM Engenharia Diagnóstica, 2021.

Fatores relacionados à interação solo-estrutura exercem influência direta na intensidade da umidade ascendente, sendo condicionada por fatores como granulometria, nível de saturação e presença de sais no solo, sendo os solos saturados e porosos os mais indesejáveis. Além disso, a permeabilidade do terreno e as variações no nível do lençol freático influenciam a retenção de umidade nas camadas em contato com a fundação. Essa relação evidencia a necessidade de soluções impermeabilizantes adequadas desde a fase de projeto, garantindo proteção eficiente da base estrutural (Oliveira, 2021).

A permanência da umidade no interior dos materiais promove o transporte de sais solúveis e ciclos sucessivos de umedecimento e secagem, resultando na formação de eflorescências, perda de aderência de revestimentos e aceleração de processos corrosivos. Esses mecanismos favorecem a degradação gradual dos materiais e intensificam o desenvolvimento de manifestações patológicas nas

edificações. Esse comportamento compromete diretamente a durabilidade dos elementos estruturais e pode gerar danos cumulativos ao longo do tempo, exigindo intervenções corretivas quando não há tratamento adequado na base da estrutura (Salvador et al., 2022).

As Figuras 03 e 04 a seguir representam os efeitos da umidade do solo sobre os elementos construtivos, evidenciando a influência da ascensão capilar na degradação das paredes e revestimentos. As ilustrações demonstram, de forma simplificada, como a umidade contínua favorece manifestações patológicas e compromete os sistemas de vedação.

Figuras 03 e 04 - Efeitos da Umidade do Solo.



Fonte: Salvador et al., 2022; Oliveira, 2021.

2.1.1 Fundamentos físicos da capilaridade em elementos estruturais

O comportamento da umidade ascendente em fundações está diretamente relacionado às propriedades microestruturais dos materiais empregados, especialmente no que se refere à porosidade e à

conectividade dos vazios internos. Além disso, fatores como granulometria do solo, teor de umidade e condições ambientais influenciam significativamente a intensidade e a velocidade de deslocamento da água, tornando o fenômeno dependente das características específicas de cada sistema construtivo (Oliveira, 2021).

Além das características dos materiais, fatores relacionados ao ambiente também influenciam a intensidade da ascensão capilar. O nível de saturação e a presença de sais interferem na disponibilidade de água e na interação entre o solo e os elementos construtivos. Essas condições podem favorecer ou limitar a ocorrência do fenômeno, influenciando seu comportamento nos diferentes sistemas construtivos. Em razão dessas variáveis, a ascensão capilar torna-se dependente das características específicas de cada situação construtiva (Oliveira, 2021).

2.1.2 Efeitos da umidade ascendente em fundações

As manifestações decorrentes da umidade ascendente ocorrem principalmente nas paredes ligadas às fundações, onde a água migra pelos materiais porosos e atinge regiões superiores por meio de mecanismos capilares. Esse processo promove degradação progressiva dos revestimentos, favorecendo o surgimento de eflorescências, destacamentos e manchas, além de comprometer tanto o aspecto visual quanto a funcionalidade da edificação. Quando a origem do problema não é tratada adequadamente, a deterioração tende a evoluir de forma contínua, intensificando os danos a longo prazo (Souza, 2018 apud Silva, 2022).

Entre as manifestações mais frequentes associadas à umidade ascendente destaca-se a eflorescência, caracterizada pelo aparecimento de depósitos esbranquiçados sobre superfícies de alvenaria, argamassa e revestimentos. Esse fenômeno ocorre quando a água transporta sais solúveis presentes nos materiais ou no solo para a superfície dos elementos construtivos. Com a evaporação da água, esses sais cristalizam e tornam-se visíveis, podendo provocar

desagregação superficial, perda de aderência dos revestimentos e surgimento de microfissuras, comprometendo gradativamente a integridade das superfícies afetadas (Cornelius, 2024; Salvador et al., 2022).

A presença constante de umidade favorece a proliferação de fungos e mofo, especialmente em ambientes pouco ventilados. Essas manifestações surgem em superfícies úmidas, resultando no aparecimento de manchas escuras e alterações na salubridade dos ambientes internos. A permanência dessas condições também contribui para a deterioração gradual dos materiais de acabamento e para a redução do conforto ambiental dos usuários. Além dos prejuízos estéticos, o mofo pode comprometer os revestimentos e afetar a qualidade do ar, reduzindo a habitabilidade da edificação (Ribeiro; Perin, 2023). Nas Figuras 05 e 06, observam-se os efeitos da umidade ascendente na degradação de paredes e revestimentos.

Figuras 05 e 06 - Eflorescência e Mofo em Paredes.



Fonte: Silva, 2022; Righi, 2009 apud Azevedo; Pedrosa, 2025.

A evolução das patologias ocorre de forma sequencial e gradual, iniciando-se com o aparecimento de manchas e presença de umidade superficial, geralmente associadas à penetração e retenção de água nos elementos construtivos. Em seguida, pode ocorrer a formação de

sais cristalizados, a desagregação dos revestimentos e, em estágios mais avançados, o comprometimento da aderência e da integridade dos materiais. Com o avanço do processo, observa-se a intensificação dos danos, tornando as áreas afetadas mais vulneráveis e de recuperação mais complexa. Esse comportamento progressivo aumenta a dificuldade das intervenções corretivas e eleva os custos de recuperação a longo prazo (Saraiva, 2023).

Entre os principais danos observados estão manchas, bolhas, deslocamento de revestimentos e perda de estanqueidade, manifestações que tendem a evoluir continuamente e atingir níveis mais severos na presença constante de umidade, comprometendo a durabilidade dos sistemas construtivos. A ausência de impermeabilização adequada pode gerar impactos sanitários relacionados à proliferação de fungos e bactérias, afetando diretamente a qualidade do ar e as condições de habitabilidade (Saraiva, 2023; Ribeiro; Perin, 2023).

2.2 Argamassa Polimérica como Sistema Impermeabilizante Aplicado em Vigas Baldrame

A argamassa polimérica apresenta relevância por combinar matriz cimentícia e polímeros modificadores, resultando em uma camada aderente, contínua e de baixa permeabilidade. Essa composição contribui para reduzir a passagem de água, melhorar a ligação com o substrato e proteger superfícies cimentícias expostas à umidade constante. Sua aplicação é pertinente em vigas baldrame, fundações, áreas molhadas, reservatórios e piscinas, principalmente por auxiliar no controle da umidade ascendente e na preservação dos elementos construtivos. A presença de polímeros favorece a redução da porosidade capilar, amplia a flexibilidade e contribui para a manutenção da estanqueidade (Schumanski, 2021; Pereira et al., 2024).

A definição do tipo de argamassa polimérica deve considerar a capacidade de deformação do produto, a estabilidade do substrato e as condições de uso da área impermeabilizada. As formulações rígidas

são indicadas para bases estáveis e com baixa movimentação, enquanto as semiflexíveis, exemplificadas nas Figuras 07 e 08, atendem a locais sujeitos a pequenas variações, como baldrame, subsolos, paredes em contato com o solo, áreas frias e regiões com umidade de rodapé. As flexíveis apresentam maior capacidade de alongamento, sendo mais adequadas a reservatórios, piscinas, estruturas elevadas e superfícies submetidas a movimentações térmicas ou estruturais mais expressivas (Costa; Pacheco, 2025; Sika, 2025a).

Figuras 07 e 08 - Argamassa Polimérica Semiflexível.



Fonte: Sika, 2025; Inovacivil, 2024 apud Santos, 2025.

Do ponto de vista composicional, a argamassa polimérica pode ser apresentada em formulações monocomponentes e bicomponentes. Os sistemas monocomponentes possuem uso mais simples, podendo ser fornecidos prontos para aplicação ou preparados com adição de água, conforme a formulação do produto. Já os bicomponentes exigem a mistura entre o componente líquido e o componente em pó até a

formação de uma pasta homogênea e adequada ao uso. Em geral, o pó contém cimento, agregados minerais selecionados, cargas minerais e aditivos, enquanto a fase líquida reúne resinas ou polímeros responsáveis por melhorar aderência, flexibilidade, impermeabilidade e desempenho mecânico (Pessoni, 2024; Sika, 2025a).

O desempenho técnico da argamassa polimérica depende da correta interação entre produto, substrato e execução, pois sua eficiência exige uma camada contínua, aderente e com espessura compatível com a condição de exposição. Ao limitar a absorção de água e reduzir a passagem da umidade por capilaridade, o revestimento contribui para a estanqueidade de superfícies cimentícias em contato com o solo ou submetidas à umidade permanente. A redução da porosidade capilar e a resistência aos ciclos de molhagem e secagem reforçam a eficiência do sistema em elementos expostos à ação contínua da água (Schumanski, 2021; Machado, 2025).

A durabilidade da argamassa polimérica está vinculada à conservação da camada impermeabilizante e à manutenção de sua função protetora diante da umidade constante. A preservação da estanqueidade depende da especificação correta do produto, da compatibilidade com o local de aplicação, do controle da espessura, da cura adequada e da execução conforme os procedimentos técnicos. A escolha inadequada entre formulações rígidas, semiflexíveis ou flexíveis pode comprometer o desempenho em regiões sujeitas a movimentações incompatíveis com a capacidade de deformação do material. Quando a argamassa polimérica é executada corretamente, reduz a necessidade manutenções corretivas, prolonga a vida útil da edificação e preserva os elementos construtivos expostos à água (Machado, 2025; Sabo, 2024).

O preparo da base constitui etapa essencial para a aplicação da argamassa polimérica, pois a aderência e a continuidade da camada impermeabilizante dependem das condições do substrato. A superfície deve estar regularizada, coesa e livre de poeira, óleo, graxa, nata de cimento, pinturas, partículas soltas, desmoldantes, ninhos de concretagem e resíduos que prejudiquem a fixação do material. Antes da primeira demão, recomenda-se lavar a área, corrigir falhas

existentes e umedecer o substrato sem encharcamento, favorecendo a ligação entre a argamassa e a base cimentícia. A aplicação pode ser realizada com trincha, broxa, pincel, vassoura de pelos macios, desempenadeira, rolo ou projeção, conforme a orientação técnica do produto utilizado (Pessoni, 2024; Sika, 2025a).

Após o preparo da mistura, as demãos devem ser aplicadas de modo uniforme e cruzado, garantindo cobertura completa e continuidade da proteção impermeabilizante. Durante a execução, deve-se observar o *pot life*, entendido como o tempo em que a argamassa permanece em condição adequada de uso após o preparo e que, na prática da aplicação, está associado ao início da secagem, percebido quando a superfície deixa de manchar ao contato com o dedo. Para esse sistema, Sika (2025a) indica consumo de 1 kg/m² por demão, aplicação de 2 a 4 demãos, *pot life* de 30 minutos, intervalo de 3 a 6 horas entre demãos, cura úmida mínima de 3 dias e liberação após, no mínimo, 5 dias, garantindo condições adequadas para as etapas posteriores.

2.3 Emulsão Asfáltica como Sistema Impermeabilizante Aplicado em Vigas Baldrame

A emulsão asfáltica é amplamente utilizada como sistema impermeabilizante em fundações devido à facilidade de aplicação e ao baixo custo inicial. Trata-se de um material à base de betume disperso em água que, após a secagem, forma uma película contínua capaz de reduzir a penetração de umidade. Sua utilização é comum em obras de pequeno e médio porte, constituindo uma solução prática para elementos em contato com o solo (Saraiva, 2024).

Entre os fatores que contribuem para a utilização da emulsão asfáltica em fundações e elementos enterrados está a simplicidade de sua execução. O material é aplicado diretamente sobre o substrato previamente preparado, dispensando procedimentos mais complexos. Essa característica favorece sua adoção em diferentes condições de obra e contribui para sua ampla utilização em sistemas destinados ao controle da umidade proveniente do solo (Álvarez et al., 2021).

No contexto dos sistemas impermeabilizantes, o comportamento frente às solicitações estruturais é determinante para o desempenho em serviço. A emulsão asfáltica caracteriza-se como um sistema flexível, cuja eficiência está relacionada à capacidade de aderir ao substrato e reduzir a penetração de umidade. Esse comportamento permite sua aplicação em elementos sujeitos a pequenas variações dimensionais, contribuindo para a proteção de estruturas em contato com o solo (Azevedo; Pedrosa, 2025).

A composição da emulsão asfáltica permite sua aplicação a frio, característica que favorece a execução em campo e reduz a necessidade de equipamentos específicos. O material atua formando uma camada superficial, cuja eficiência depende da correta distribuição sobre o substrato. Estudos indicam que propriedades como viscosidade e estabilidade influenciam diretamente a aplicação e o desempenho do sistema, estando relacionadas às condições de construtibilidade e ao comportamento do revestimento em serviço (Álvarez et al., 2021).

Em termos de desempenho ao longo do tempo, a emulsão asfáltica pode apresentar limitações relacionadas à durabilidade, especialmente sob condições de umidade constante ou variações ambientais. A degradação do material está associada à perda de estabilidade, alterações no ligante residual e possíveis descontinuidades na película, o que pode comprometer a continuidade da camada impermeável. Esse comportamento reforça a necessidade de controle na aplicação e de inspeções periódicas para garantir a eficiência do sistema ao longo da vida em serviço (Álvarez et al., 2021; Salvador et al., 2022).

O preparo da superfície para a aplicação da emulsão asfáltica exige que a base esteja regularizada, seca, íntegra e livre de poeira, óleo, graxa, partículas soltas, restos de argamassa e demais impurezas. Quando necessário, devem ser feitas raspagem e limpeza da área, garantindo condições adequadas de aderência para a formação da película impermeabilizante. O sistema pode ser aplicado em substratos secos ou úmidos, desde que não haja empoçamento, sendo necessária a correção prévia de falhas, trincas e fissuras antes da impermeabilização. A aplicação ocorre a frio, com rolo de lã, pincel,

trincha ou broxa, favorecendo a execução em vigas baldrame, fundações e superfícies cimentícias em contato com o solo (Capraro et al., 2021; Azevedo; Pedrosa, 2025; Sika, 2025b).

Após o preparo da superfície, a emulsão deve ser homogeneizada antes e durante o uso, garantindo distribuição uniforme e melhor formação da película impermeabilizante. As demãos devem ser aplicadas de forma contínua e sucessiva, respeitando o intervalo de secagem entre elas, pois esse cuidado contribui para a aderência, a cobertura da superfície e a continuidade da barreira contra a umidade. O consumo aproximado indicado é de $0,650 \text{ L/m}^2$, com aplicação em 2 ou 3 demãos, intervalo de 4 horas entre demãos e cura total de 3 dias. O atendimento a esses parâmetros favorece a proteção das vigas baldrame e fundações contra a umidade ascendente (Sika, 2025b), conforme ilustrado nas Figuras 09 e 10.

Figuras 09 e 10 - Aplicação de Emulsão Asfáltica em Viga Baldrame.



Fonte: Leroy Merlin, 2023; Righi, 2009 apud Azevedo; Pedrosa, 2025

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Procedimentos Metodológicos

O presente estudo consistiu em uma revisão bibliográfica voltada à análise de produções científicas sobre a impermeabilização de vigas baldrames, com ênfase na argamassa polimérica e na emulsão asfáltica, considerando a necessidade de compreender o desempenho e a aplicação desses sistemas na construção civil. O procedimento metodológico para o levantamento bibliográfico partiu da busca em bases de dados acadêmicas, garantindo a obtenção de materiais relevantes e atualizados sobre a temática, permitindo a construção de uma base teórica consistente e assegurando maior confiabilidade às informações utilizadas.

A investigação foi conduzida por meio da análise de materiais obtidos em plataformas como Google Acadêmico, SciELO, CAPES, bibliotecas digitais institucionais e repositórios universitários, incluindo artigos científicos, revistas acadêmicas, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, normas da ABNT e livros especializados publicados entre os anos de 2021 e 2026, possibilitando uma ampla coleta de dados e contribuindo diretamente para a consolidação de um embasamento teórico sólido e coerente com os objetivos definidos.

Inicialmente, foram definidos como descritores principais “impermeabilização de vigas baldrames”, “argamassa polimérica” e “emulsão asfáltica”, estabelecendo um direcionamento claro para a busca dos estudos. Também foram considerados descritores em língua portuguesa, língua inglesa e língua espanhola, com a finalidade de ampliar o alcance das buscas e possibilitar a identificação de estudos pertinentes ao tema em diferentes contextos acadêmicos, contribuindo para uma análise mais abrangente da literatura e favorecendo a inclusão de abordagens técnicas relevantes.

A partir desse procedimento, foram selecionados 54 documentos, os quais foram analisados conforme os critérios estabelecidos pela pesquisa, considerando a aderência ao tema, a consistência técnica e a relevância das informações apresentadas. Os estudos passaram por leitura criteriosa, permitindo a compreensão dos objetivos, das abordagens metodológicas e dos principais resultados. Essa análise contribuiu para a seleção de materiais compatíveis com a

proposta da pesquisa, assegurando a qualidade do conteúdo utilizado nas etapas seguintes.

Posteriormente, realizou-se uma nova seleção dos documentos por meio da aplicação de critérios de exclusão, com o objetivo de promover um refinamento mais criterioso dos estudos. Nessa etapa, foram considerados aspectos relacionados à eficiência, durabilidade, aplicabilidade e viabilidade dos sistemas de impermeabilização. Esses critérios possibilitaram a identificação dos estudos mais alinhados aos objetivos da pesquisa.

Os documentos selecionados foram avaliados por meio de uma planilha Excel, obtida por meio de recursos Office. Esse recurso foi utilizado para organizar e sistematizar os dados extraídos, permitindo uma visualização mais clara dos resultados, conforme apresentado nas Figuras 11 e 12. O tratamento de dados foi realizado organizando os trabalhos conforme autor, ano, título, abordagem metodológica, país, idioma, tipo de estudo e objetivo, resultando na seleção final de 20 documentos com maior rigor técnico e relevância.

Figura 11 - Modelo da Planilha de Dados.

N°	AUTOR(ES):	ANO:	TÍTULO:	TIPO DE TRABALHO:	PAÍS / IDIOMA:	TIPO DE ESTUDO:	OBJETIVO PRINCIPAL:	ARGAMASSA POLIMÉRICA:	EMULSÃO ASFÁLTICA:
1	AZEVEDO; PEDROSA, 2025	2025	Análise da eficiência da impermeabilização de vigas baldrame com emulsão asfáltica	Artigo científico	Brasil / Português	Experimental e comparativo, com caráter descritivo	Avaliar a eficiência da emulsão asfáltica na impermeabilização de vigas baldrame submetidas à umidade ascendente por capilaridade.	não	sim
2	CAPRARO et al., 2021	2021	Análise de eficiência, aplicação e custo de três impermeabilizantes comerciais	Artigo científico	Brasil / Português	Experimental, comparativo e quantitativo, com caráter descritivo	Comparar três sistemas impermeabilizantes comerciais, incluindo emulsão asfáltica, quanto à eficiência, aplicação e custo.	não	sim
3	CARVALHO, 2022	2022	Elaboração de um catálogo demonstrativo dos métodos de impermeabilizar vigas baldrame	Trabalho de Conclusão de Curso	Brasil / Português	Descritivo, qualitativo e bibliográfico, com caráter demonstrativo e estudo de caso	Elaborar um catálogo demonstrativo com métodos de impermeabilização de vigas baldrame, abordando produtos e etapas executivas.	sim	sim

Fonte: Elaboração Própria (2026).

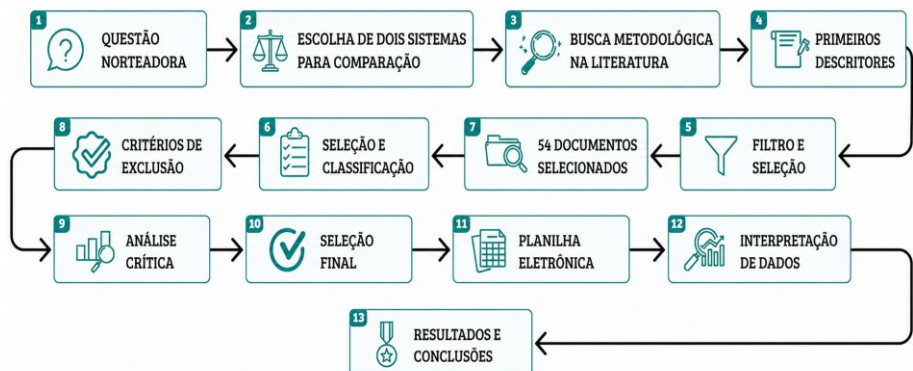
Figura 12 - Modelo da Planilha de Dados.

EFICIÊNCIA:	DURABILIDADE:	APLICABILIDADE:	VIABILIDADE ECONÔMICA:	PRINCIPAIS RESULTADOS:	CONCLUSÃO:	OBSERVAÇÕES:
O comportamento da amostra impermeabilizante evidenciou que a emulsão asfáltica apresentou desempenho eficiente na contenção da ascensão capilar da água. Durante os períodos de observação de 1 hora, 8 horas e 28 horas, a base impermeabilizante apresentou desempenho satisfatório no controle da absorção de água pelo concreto. Após 72 horas de exposição à água, o sistema não apresentou sinais de deterioração.	A permeabilidade da base seca ao longo do ensaio permitiu relacionar a emulsão asfáltica ao aumento da durabilidade por ter mantido a base impermeabilizada sem sinais visíveis de umidade até o final do ensaio, após 28 horas de exposição. Esse resultado indica que o sistema contribui para reduzir a absorção de água pelo concreto.	Pela simplicidade do procedimento executivo, o sistema apresenta fácil aplicação em vigas baldrames, podendo ser utilizado a frio e aplicado diretamente sobre o concreto, de forma semelhante a uma pintura. A execução ocorre em pelo menos duas demãos, com a segunda em menos de 24 horas.	No âmbito econômico-preventivo, o material configura-se como uma alternativa de custo acessível dentro do mercado de impermeabilizantes, o que favorece sua adoção em obras que necessitam de proteção contra a umidade ascendente sem elevar significativamente os custos iniciais. Nesse	A comparação entre a base protegida e a base sem proteção demonstrou que a emulsão asfáltica apresentou desempenho satisfatório na impermeabilização da base analisada, pois a amostra controlada apresentou um aumento da absorção de água de 4,0 a 5,0 kg/m², no experimento analisado, o consumo real foi de 4,23 kg/m². Com base nesse	Os resultados obtidos permitem afirmar que a emulsão asfáltica apresentou desempenho satisfatório na impermeabilização de vigas baldrames, pois manteve a base protegida contra a ascensão capilar da água durante o período analisado. Os resultados	A relevância do estudo está no fato de que ele contribui diretamente para a análise da impermeabilização de vigas baldrames, pois avalia a emulsão asfáltica em condições associadas à
Os ensaios de exposição à água indicaram que a emulsão asfáltica apresentou desempenho satisfatório no controle da absorção de água pelo concreto. Após 72 horas de exposição à água, o sistema não apresentou sinais de deterioração.	A vida útil informada para o sistema reforça que a emulsão asfáltica apresenta vida útil de projeto (VUP) de 8 anos, valor que representa o período estimado para que o sistema mantenha seu desempenho quando executado em condições adequadas. Essa durabilidade, porém, está	A execução do sistema demanda controle técnico, pois a emulsão asfáltica é apresentada como um sistema de aplicação a frio, executado em 2 a 3 demãos, com intervalo de 12 horas entre as aplicações e tempo de secagem de 5	O levantamento financeiro apresentado mostra que a emulsão asfáltica apresenta preço médio de mercado de R\$8,72/kg. Para sua aplicação, a ficha técnica indica consumo entre 4,0 e 5,0 kg/m², no experimento analisado, o consumo real foi de 4,23 kg/m². Com base nesse	O conjunto dos dados técnicos e financeiros evidencia que a emulsão asfáltica apresentou comportamento satisfatório como sistema impermeabilizante, especialmente pela baixa	Ao final da análise, entende-se que a emulsão asfáltica apresenta desempenho funcional para impermeabilização, pois reduz a absorção de água e contribui para a proteção do concreto. Entretanto, sua	Por reunir dados experimentais e de custo, o documento é relevante por apresentar dados experimentais e financeiros sobre a emulsão asfáltica,
A análise conjunta dos materiais mostra que a argamassa polimérica e a emulsão asfáltica são apresentadas como sistemas capazes de reduzir a passagem da umidade ascendente em vigas baldrames, porém com formas de atuação diferentes. A argamassa polimérica é descrita como um	A proteção contra a umidade ascendente é o ponto central pelo qual a argamassa polimérica e a emulsão asfáltica são relacionadas ao aumento da durabilidade da viga baldrame porque atuam na proteção do elemento contra a umidade ascendente. A argamassa polimérica é apresentada como um revestimento impermeabilizante que contribui para a	A preparação da superfície aparece como condição indispensável, uma vez que a argamassa polimérica e a emulsão asfáltica são apresentadas como sistemas aplicáveis diretamente em vigas baldrames, desde que a superfície esteja limpa, regularizada e preparada para receber o impermeabilizante. A	A economia é discutida pela lógica da prevenção, pois a viabilidade financeira é tratada de forma preventiva, pois a impermeabilização da viga baldrame é apresentada como uma etapa capaz de evitar gastos futuros com correções de patologias provocadas pela umidade ascendente, como trincas, fissuras, mofo, deslocamento de	O principal resultado da comparação está no fato de que a argamassa polimérica e a emulsão asfáltica são alternativas aplicáveis à impermeabilização de vigas baldrames, principalmente por atuarem contra a umidade ascendente por	A partir da função desempenhada por cada sistema, conclui-se que tanto a argamassa polimérica quanto a emulsão asfáltica podem contribuir para a proteção das vigas baldrames contra a umidade proveniente do solo, desde que aplicadas de forma adequada. A argamassa polimérica apresenta melhor	O ponto mais significativo do documento consiste em mostrar que sua principal contribuição está em mostrar que a escolha do material não é suficiente por si só, pois o desempenho da argamassa polimérica e

Fonte: Elaboração Própria (2026).

Para facilitar a compreensão das etapas da pesquisa, a Figura 13 apresenta o percurso metodológico adotado. Essa organização permite visualizar de forma clara as fases do estudo, que se iniciam com a definição da questão norteadora, passando pela escolha dos sistemas analisados, pelos procedimentos de busca, seleção e classificação dos estudos, até a análise crítica e a interpretação dos dados, evidenciando a lógica estruturada que orientou a condução da investigação e a consolidação dos resultados obtidos.

Figura 13 - Fluxograma de Procedimentos Metodológicos.



Fonte: Elaboração Própria (2026).

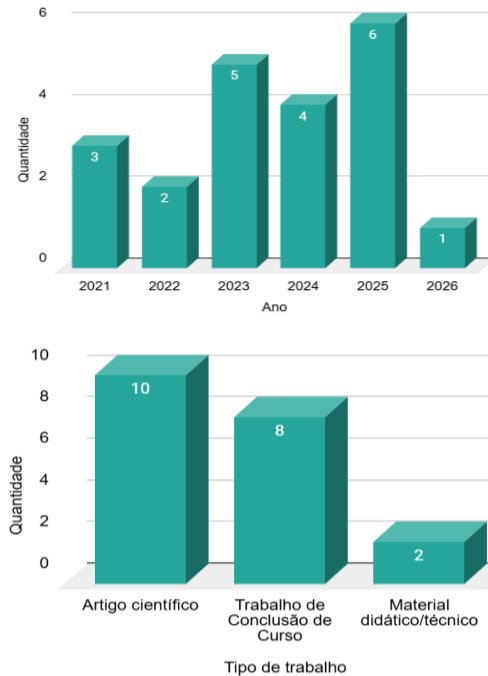
3.2 Resultados e Discussão

3.2.1 Caracterização dos tipos de trabalhos e das abordagens metodológicas

A distribuição temporal apresentada na Figura 14 indica maior concentração de publicações entre 2023 e 2025, período que reúne 14 documentos, correspondentes a 70,0% da amostra. Esse resultado evidencia a atualidade do tema, sobretudo diante da relevância das discussões relacionadas às patologias decorrentes da umidade ascendente nas edificações. Além disso, a análise da distribuição por país e idioma demonstra o predomínio de publicações brasileiras em língua portuguesa, representando 95,0% da composição documental da pesquisa, ou seja, 19 dos 20 documentos analisados. Esse cenário reforça a aderência do estudo ao contexto nacional da construção civil e evidencia a importância de investigações voltadas às condições técnicas, construtivas e normativas brasileiras.

A caracterização dos tipos de trabalhos, representada na Figura 15, demonstra que os artigos científicos e os TCCs representam, em conjunto, 85,7% dos documentos analisados. Essa composição evidencia uma base documental de caráter predominantemente acadêmico, sustentada por produções voltadas à investigação, à comparação e à sistematização técnica dos sistemas impermeabilizantes. A presença de materiais didáticos/técnicos e teses complementa essa estrutura, pois contribui para ampliar a compreensão normativa, metodológica e prática sobre a argamassa polimérica e a emulsão asfáltica na impermeabilização de edificações.

Figuras 14 e 15 - Documentos Analisados Por Ano de Publicação e Tipo de Trabalho.



Fonte: Elaboração Própria (2026).

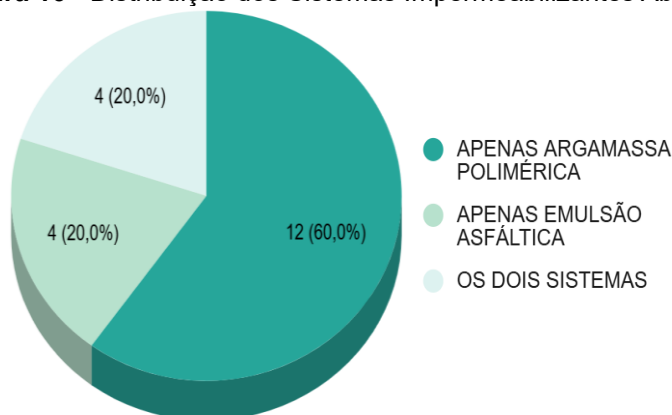
A análise dos documentos quanto ao tipo de estudo revela que a amostra reúne diferentes formas de investigação, abrangendo produções comparativas, experimentais, quantitativas, descritivas e bibliográficas. Essa diversidade metodológica amplia a compreensão do tema, pois permite observar os sistemas impermeabilizantes sob perspectivas relacionadas ao desempenho, à execução, à aplicabilidade e às condições de uso na construção civil. A maior incidência foi verificada nos estudos comparativos, com representatividade de 19 documentos, favorecendo uma análise mais técnica e criteriosa. Esse resultado reforça a predominância de abordagens voltadas à avaliação entre sistemas e ao confronto de critérios técnicos. A análise dos documentos quanto às áreas de aplicação evidencia maior recorrência dos sistemas impermeabilizantes

em elementos diretamente expostos à umidade ou ao contato com o solo.

As paredes e alvenarias, juntamente com os pisos térreos, apresentaram maior incidência, correspondendo a 60,00% da amostra analisada. Em seguida, destacam-se as vigas baldrame e as edificações residenciais ou prediais, ambas com 50,00%, demonstrando a relevância da impermeabilização em componentes associados à base da construção e à proteção de ambientes habitáveis. Também foram identificadas aplicações em fundações, subsolos, cortinas, muros de contenção, áreas molhadas, reservatórios, lajes e piscinas, o que reforça a abrangência dos sistemas impermeabilizantes em diferentes elementos construtivos. Esse panorama evidencia a importância desses sistemas na prevenção de patologias relacionadas à umidade e na preservação do desempenho, da durabilidade e da funcionalidade das edificações.

No que se refere aos materiais impermeabilizantes, a Figura 16 demonstra a predominância da argamassa polimérica, correspondente a 60,0% da base analisada. Esse resultado evidencia maior atenção técnica ao material, sobretudo por sua relação com áreas sujeitas à umidade, proteção de elementos construtivos e desempenho em sistemas de impermeabilização. A emulsão asfáltica, por sua vez, está presente em 20,0% dos estudos, indicando menor recorrência documental em comparação à argamassa polimérica. Além disso, apenas 20,0% dos documentos contemplam simultaneamente os dois sistemas, evidenciando que a comparação direta entre argamassa polimérica e emulsão asfáltica ainda é restrita. Esse cenário reforça a necessidade de ampliar estudos comparativos que avaliem, de forma integrada, critérios como eficiência, durabilidade, aplicabilidade e viabilidade técnica.

Figura 16 - Distribuição dos Sistemas Impermeabilizantes Abordados.



Fonte: Elaboração Própria (2026).

3.2.2 Análise dos critérios abordados

A sistematização dos critérios de eficiência, durabilidade, aplicabilidade e viabilidade econômica foi realizada a partir da leitura técnica das informações qualitativas da planilha, considerando como cada documento abordava os sistemas impermeabilizantes. Para comparar a argamassa polimérica e a emulsão asfáltica, os dados foram organizados em desempenho alto, moderado e baixo. Essa classificação foi aplicada somente aos estudos diretamente relacionados ao material avaliado e ao critério correspondente, evitando a inclusão de informações genéricas na análise comparativa. Com isso, buscou-se maior rigor metodológico e melhor vinculação dos resultados às evidências compatíveis com o objetivo da pesquisa.

Nos casos em que os documentos não apresentavam informações suficientes sobre determinado critério, ou quando a abordagem era superficial, indireta ou inconclusiva, o dado foi classificado como não informado. Essa decisão metodológica teve como finalidade reduzir interpretações subjetivas e impedir que dados incompletos interferissem na comparação entre os sistemas impermeabilizantes. A adoção dessa categoria permitiu diferenciar a ausência de informação da existência de desempenho baixo,

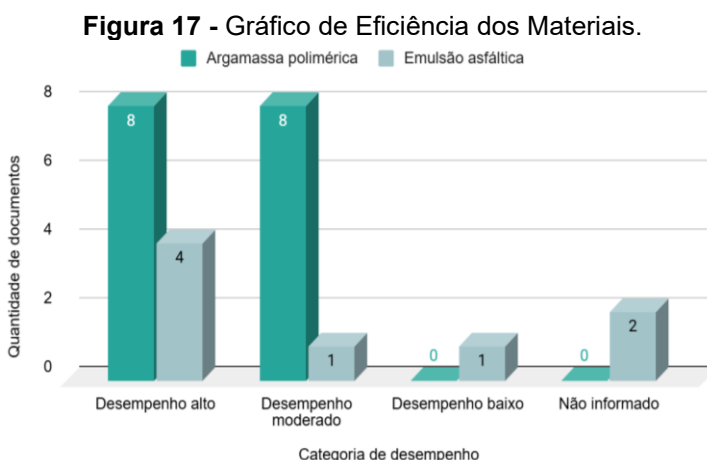
preservando a coerência da análise e a confiabilidade dos resultados. Assim, a organização dos dados possibilitou uma leitura mais consistente da planilha e maior clareza na identificação do comportamento técnico da argamassa polimérica e da emulsão asfáltica.

3.2.2.1 Avaliação técnica da eficiência dos sistemas impermeabilizantes

A eficiência dos sistemas impermeabilizantes foi analisada pela capacidade de reduzir a passagem de água, controlar a umidade ascendente e preservar a estanqueidade dos elementos construtivos. Na análise documental, a argamassa polimérica apresentou desempenho associado à formação de uma camada contínua e aderente, capaz de reduzir a permeabilidade de superfícies cimentícias expostas à umidade e contribuir para a proteção das áreas impermeabilizadas. A emulsão asfáltica também demonstrou atuação relevante, sobretudo em vigas baldrame e fundações, por formar uma barreira protetora entre a estrutura e a água proveniente do solo. Esses resultados indicam que ambos os sistemas respondem de modo adequado conforme a função técnica esperada, desde que corretamente especificados e aplicados conforme as condições do substrato e da exposição à umidade, como observado em Carvalho (2022) e Vieira et al. (2022).

Nos estudos voltados à argamassa polimérica, a eficiência foi analisada pela capacidade do sistema de limitar a passagem de umidade e formar uma barreira impermeabilizante contínua em superfícies cimentícias. Schumanski (2021) relaciona esse desempenho ao controle da umidade, desde que a aplicação garanta aderência ao substrato, continuidade da camada, preparo adequado da base e execução conforme os procedimentos técnicos. Na mesma perspectiva, Pinheiro et al. (2025) indicam que a argamassa polimérica contribui para a proteção contra infiltrações, especialmente em estruturas expostas à presença constante de água, reforçando sua relevância em situações que exigem maior estanqueidade.

Em relação à emulsão asfáltica, a eficiência foi observada principalmente na contenção da umidade ascendente, aspecto relevante para elementos próximos ao solo. Azevedo e Pedrosa (2025) verificaram menor avanço da umidade na amostra impermeabilizada em comparação à amostra sem tratamento, evidenciando sua contribuição na proteção de vigas baldrameas contra a capilaridade. Capraro et al. (2021) e Kmick et al. (2021) também registraram desempenho satisfatório em ensaios de absorção e estanqueidade, demonstrando a capacidade do sistema de reduzir a passagem de água. A partir desses resultados, a Figura 17 indica desempenho técnico relevante e comportamento semelhante entre os sistemas analisados.



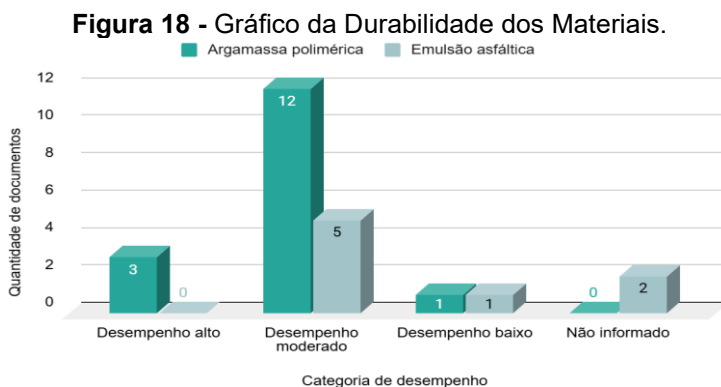
Fonte: Elaboração Própria (2026).

3.2.2.2 Desempenho dos sistemas impermeabilizantes quanto à durabilidade

A durabilidade dos sistemas impermeabilizantes foi analisada pela capacidade de conservar a proteção diante da umidade e dos ciclos de molhagem e secagem. Na argamassa polimérica, esse critério foi associado à estabilidade da camada impermeabilizante e à

preservação da estanqueidade. Schumanski (2021) relaciona esse desempenho ao controle da umidade, enquanto Machado (2025) destaca a relação entre durabilidade, vida útil estimada e manutenção preventiva. Sabo (2024) reforça que a escolha do sistema interfere no desempenho estrutural e no conforto dos usuários.

Quanto à emulsão asfáltica, a durabilidade foi compreendida pela conservação de sua função impermeabilizante, principalmente em elementos sujeitos à umidade ascendente. Esse desempenho esteve relacionado à manutenção da barreira contra a passagem de água, embora possa ser reduzido quando o sistema é submetido a ciclos de molhagem, secagem e envelhecimento. Kmick et al. (2021) registraram diminuição do desempenho após envelhecimento acelerado, enquanto Capraro et al. (2021) identificaram resultados satisfatórios nos ensaios iniciais. A Figura 18 demonstra predominância de desempenho moderado em ambos os sistemas.



Fonte: Elaboração Própria (2026).

3.2.2.3 Comportamento dos sistemas impermeabilizantes quanto à aplicabilidade

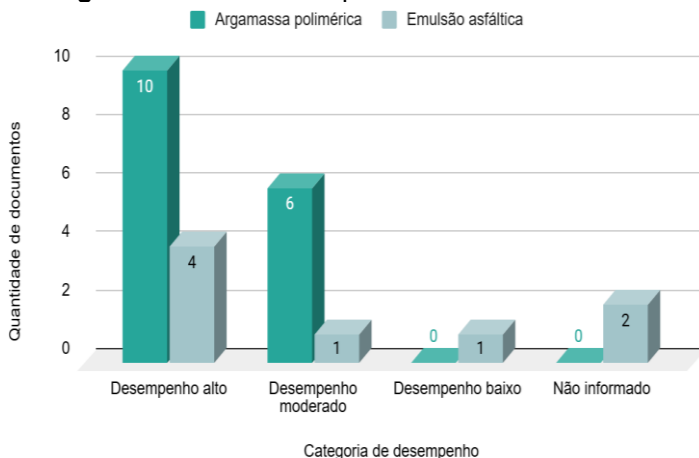
Quanto à aplicabilidade, a argamassa polimérica apresentou ampla utilização em elementos sujeitos à umidade, como reservatórios, piscinas, áreas molhadas, subsolos e fundações. Seu emprego exige

que a superfície esteja limpa, regularizada, coesa e livre de partículas soltas, favorecendo a aderência do sistema e reduzindo falhas executivas. Segundo Schumanski (2021) e Machado (2025), o desempenho da argamassa polimérica está relacionado ao preparo adequado do substrato, ao controle da espessura aplicada e ao respeito ao tempo de cura. De forma semelhante, Pessoni (2024) destaca que o correto preparo da base é essencial para a formação da camada impermeabilizante e para a eficiência do sistema diante da umidade.

Em relação à emulsão asfáltica, sua aplicação esteve associada principalmente à impermeabilização de vigas baldrame, fundações e superfícies em contato direto com o solo, em razão de sua praticidade executiva e capacidade de formar uma camada protetora. Segundo Azevedo e Pedrosa (2025), o produto é aplicado a frio, geralmente em duas ou mais demãos, formando uma película contínua capaz de dificultar a ascensão da umidade por capilaridade. Capraro et al. (2021) ressaltam que a superfície deve estar seca e limpa para garantir a adequada aderência do material, enquanto Kmick et al. (2021) destacam a necessidade de respeitar os períodos de secagem entre as aplicações para assegurar a uniformidade e a continuidade da barreira impermeabilizante.

Com base nessas características, observa-se que ambos os sistemas apresentam aplicabilidade compatível com as exigências da impermeabilização na construção civil, porém com procedimentos executivos distintos. Enquanto a argamassa polimérica requer maior atenção ao preparo do substrato e à cura do revestimento, a emulsão asfáltica se destaca pela simplicidade de aplicação e pelo uso frequente em elementos enterrados. A Figura 19 demonstra a predominância de classificações elevadas para ambos os materiais quanto à aplicabilidade, evidenciando sua adequação técnica quando corretamente especificados e executados.

Figura 19 - Gráfico de Aplicabilidade dos Materiais.



Fonte: Elaboração Própria (2026).

3.2.2.4 Análise da viabilidade econômica dos sistemas impermeabilizantes

A viabilidade econômica dos sistemas impermeabilizantes foi abordada nos estudos analisados principalmente sob a perspectiva da prevenção de patologias e da redução de custos futuros de manutenção. Embora os autores não apresentem valores monetários específicos para os materiais avaliados, há consenso de que a escolha do sistema deve considerar não apenas o investimento inicial, mas também sua capacidade de preservar o desempenho da edificação ao longo do tempo. Nesse sentido, a impermeabilização é compreendida como um investimento associado à durabilidade, à redução de retrabalhos e à minimização de intervenções corretivas decorrentes da ação da umidade (Santos, 2023; Costa; Pacheco, 2025).

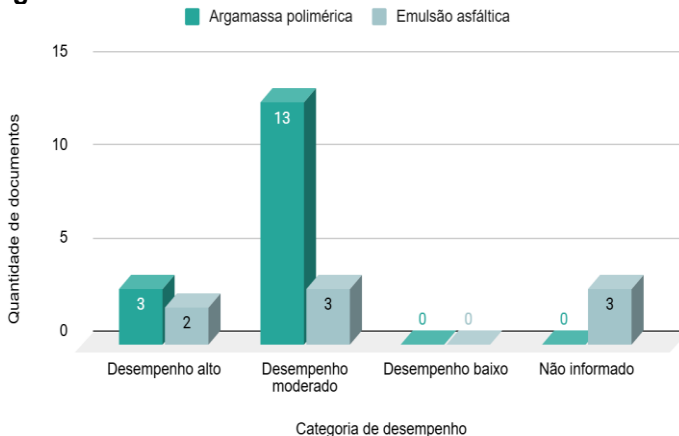
No caso da argamassa polimérica, a viabilidade econômica é frequentemente relacionada à sua elevada eficiência técnica e à capacidade de prolongar a vida útil dos elementos construtivos. Apesar de apresentar custo inicial mais elevado quando comparada a soluções convencionais, a literatura destaca que sua aplicação contribui para reduzir a ocorrência de infiltrações, fissuras e demais manifestações

patológicas associadas à umidade. Costa e Pacheco (2025) ressaltam que a análise econômica desse sistema deve ser realizada considerando todo o ciclo de vida da edificação, enquanto Pessoni (2024) e Schumanski (2021) associam seu uso à diminuição da necessidade de manutenções corretivas, fator que favorece sua viabilidade em aplicações de longo prazo.

A emulsão asfáltica, por sua vez, é apresentada como uma alternativa economicamente atrativa em razão da simplicidade de aplicação e do menor investimento inicial exigido para sua utilização. Os estudos destacam que esse sistema é amplamente empregado em fundações, vigas baldrame e demais elementos sujeitos ao contato com o solo, nos quais atua como barreira contra a umidade ascendente. Capraro et al. (2021) verificaram desempenho satisfatório desse material em ensaios de impermeabilização, enquanto Azevedo e Pedrosa (2025) evidenciam sua contribuição para a prevenção de patologias relacionadas à capilaridade. Melo e Barcellos (2026) complementam que a utilização adequada da emulsão asfáltica favorece a conservação das estruturas e reduz gastos futuros com reparos e recuperações.

A comparação entre os dois sistemas evidencia que a viabilidade econômica depende das necessidades de aplicação, das condições de exposição e do desempenho esperado para a edificação. A emulsão asfáltica se destaca pelo menor custo inicial e pela praticidade executiva, sendo recorrente como solução preventiva em elementos sujeitos à umidade. Já a argamassa polimérica apresenta vantagens relacionadas à durabilidade e à menor necessidade de manutenção ao longo da vida útil da estrutura. Essa tendência é observada na Figura 20, que relaciona a argamassa polimérica aos benefícios de longo prazo e a emulsão asfáltica ao menor custo de implantação (Pessoni, 2024; Schumanski, 2021).

Figura 20 - Gráfico da Viabilidade Econômica dos Materiais.



Fonte: Elaboração Própria (2026).

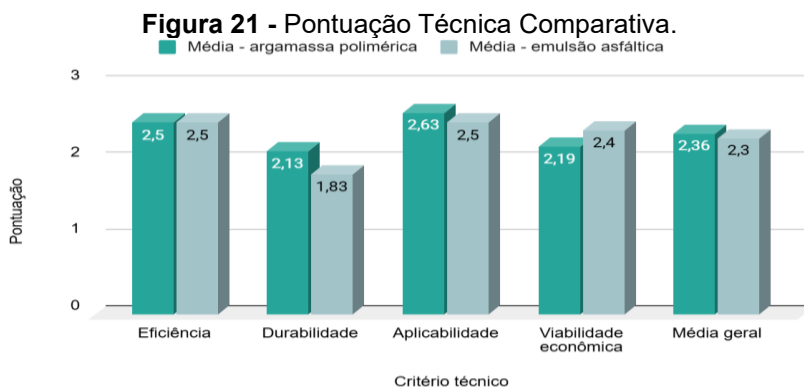
3.3 Avaliação do Desempenho Técnico da Argamassa Polimérica e da Emulsão Asfáltica

A avaliação do desempenho técnico dos sistemas impermeabilizantes foi conduzida a partir da consolidação dos resultados obtidos nos critérios de eficiência, durabilidade, aplicabilidade e viabilidade econômica. Com o propósito de permitir uma análise comparativa entre materiais de naturezas distintas, as classificações qualitativas identificadas nos estudos selecionados foram convertidas em uma escala numérica de desempenho. Para essa etapa, foi adotado um método de pontuação no qual foram atribuídos 1 ponto para desempenho baixo, 2 pontos para desempenho moderado, 3 pontos para desempenho alto e 0 ponto para informações não informadas.

A média de desempenho foi definida por meio de um cálculo que relaciona a pontuação atribuída a cada categoria com a quantidade de documentos classificados em cada uma delas, $P = \sum \frac{(D * n)}{N}$, considerando não apenas a pontuação atribuída a cada categoria de

desempenho, mas também sua recorrência no conjunto analisado. Nessa fórmula, “P” representa a pontuação média, “D” corresponde à categoria de desempenho, “n” indica o número de documentos enquadrados em determinada categoria de desempenho e “N” representa o total de documentos analisados para cada sistema impermeabilizante. Assim, foi possível converter as classificações qualitativas em valores numéricos, permitindo uma comparação mais clara e justa entre a argamassa polimérica e a emulsão asfáltica.

A aplicação desse método permitiu reunir evidências provenientes de diferentes pesquisas e favorecer uma interpretação mais abrangente acerca do comportamento técnico da argamassa polimérica e da emulsão asfáltica. Os resultados obtidos encontram-se sintetizados na Figura 21, que apresenta as médias atribuídas a cada sistema nos critérios avaliados. De modo geral, ambos os materiais apresentaram desempenho satisfatório, com valores próximos entre si, evidenciando potencial de aplicação em sistemas de impermeabilização. A distribuição das pontuações, porém, revela diferenças entre os critérios analisados.



Fonte: Elaboração Própria (2026).

A distribuição das pontuações mostra que a argamassa polimérica apresentou melhor desempenho nos critérios de durabilidade e aplicabilidade, fatores que contribuíram para a maior média geral entre os sistemas avaliados. Schumanski (2021) destaca a

resistência do material à ação contínua da umidade, enquanto Personi (2024) relaciona seu desempenho à preservação dos elementos construtivos ao longo do tempo. Pinheiro et al. (2025) ressaltam características como estanqueidade e aderência ao substrato, ao passo que Santos (2023) evidencia a baixa absorção de água como fator favorável à durabilidade do sistema.

Por outro lado, a emulsão asfáltica também apresentou resultados relevantes, principalmente nos critérios de eficiência e viabilidade econômica. Azevedo e Pedrosa (2025) destacam sua eficiência no controle da umidade ascendente por capilaridade, enquanto Capraro et al. (2021) apontam desempenho satisfatório em aplicações submetidas à ação da água. De forma semelhante, Kmick et al. (2021) reforçam a eficiência do sistema em condições de exposição à umidade, e Melo e Barcellos (2026) ressaltam sua simplicidade de aplicação e seu caráter preventivo. Apesar dos resultados positivos observados para ambos os materiais, a argamassa polimérica apresentou desempenho técnico ligeiramente superior na avaliação global.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida ao longo desta pesquisa evidenciou a relevância da impermeabilização de vigas baldrame como medida essencial para a prevenção da umidade ascendente e para a preservação da durabilidade das edificações. A comparação entre a argamassa polimérica e a emulsão asfáltica permitiu identificar características específicas de cada sistema, demonstrando que ambos podem atender às exigências técnicas da impermeabilização quando corretamente especificados e executados. Os resultados reforçam que a escolha do sistema impermeabilizante deve considerar as condições de exposição, o desempenho esperado e as necessidades técnicas da edificação.

Os estudos analisados indicaram que a argamassa polimérica apresentou desempenho mais favorável em alguns casos,

especialmente nos critérios relacionados à durabilidade e à aplicabilidade. Características como elevada aderência ao substrato, baixa absorção de água e capacidade de manter a estanqueidade ao longo do tempo contribuem para sua eficiência em situações que exigem maior resistência e desempenho técnico. Assim, sua utilização pode favorecer a redução de manifestações patológicas decorrentes da umidade, contribuindo para a conservação dos elementos construtivos e para o aumento de sua vida útil.

A emulsão asfáltica, por sua vez, demonstrou resultados positivos principalmente nos critérios de eficiência e viabilidade econômica, devido à simplicidade de aplicação e à capacidade de atuar como barreira contra a umidade proveniente do solo. Embora possa apresentar limitações relacionadas à durabilidade em determinadas condições de exposição, permanece como alternativa tecnicamente adequada, sobretudo em aplicações que demandam soluções mais simples, acessíveis e de execução prática. Dessa forma, sua utilização também se mostra relevante na proteção das edificações contra os efeitos da umidade ascendente.

Portanto, observa-se que cada material apresenta aplicabilidade específica, não sendo adequado definir uma solução única para todas as situações. A argamassa polimérica tende a ser mais indicada em casos que exigem maior desempenho técnico, resistência e durabilidade, enquanto a emulsão asfáltica pode ser mais apropriada para aplicações preventivas, de menor complexidade executiva e com maior viabilidade econômica. Assim, a escolha entre os sistemas deve ser realizada de forma criteriosa, considerando as condições do substrato, o ambiente de exposição, o custo, a durabilidade esperada e as exigências do projeto.

REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ, L. F. A.; GADLER, F.; SAVASINI, K. V.; BERNUCCI, L. L. B. **Caracterização de emulsões asfálticas brasileiras a partir do protocolo Emulsion Performance Grade (EPG)**. Transportes, v. 29, n. 1,

p. 247–263, 2021. Disponível em: <https://transportes.anpet.org.br/anpet/article/view/1977>. Acesso em: 18 mar. 2026.

AZEVEDO, C. H. P.; PEDROSA, M. S. **Análise da eficiência da impermeabilização de vigas baldrame com emulsão asfáltica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIFACIG, Pirapora, 2025. Disponível em: <https://pensaracademico.unifacig.edu.br/index.php/repositoriottcc/article/view/4456>. Acesso em: 26 jan. 2026.

CAPRARO, A. P. B.; KMICK, R. dos S.; GAZOLLA, M. G.; SILVA JUNIOR, R. M. da; CREMONEZ, C. **Análise de eficiência, aplicação e custo de três impermeabilizantes comerciais**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 6, n. 1, p. 64–72, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348801007_Analise_de_Eficiencia_Aplicacao_e_Custo_de_Tres_Impermeabilizantes_Comerciais. Acesso em: 04 fev. 2026.

CARVALHO, L. E. H. B. de. **Elaboração de um catálogo demonstrativo dos métodos de impermeabilizar vigas baldrame**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Católica do Tocantins, Palmas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.to.catolica.edu.br/jspui/handle/123456789/109>. Acesso em: 12 mar. 2026.

CORNELIUS, M. **Influência dos impermeabilizantes em relação à umidade ascendente por efeito de capilaridade: análise experimental**. Ijuí: UNIJUÍ, 2024. Disponível em: <https://bibliodigital.unijuí.edu.br/items/ddaea8b6-b64d-4bcb-be67-07227b81ce45>. Acesso em: 09 jan. 2026.

COSTA, C.; PACHECO, C. P. **Estudo comparativo da viabilidade técnica e econômica dos sistemas de impermeabilização com argamassa polimérica, membrana de poliuretano e mantas asfálticas: estudos de casos em Vitória e Vila Velha-ES**. Ciência na Prática, v. 4, n. 1, 2025. Disponível em: <https://unisaesdigital.com.br/ojs/index.php/CienciaPratica/article/view/104>. Acesso em: 21 fev. 2026.

FERNANDES, H. E.; FERNANDES, Í. C. R.; ROSA, D. de J. Q. **A necessidade de impermeabilização na construção civil: estudo de caso na cidade de Contagem, MG**. Paramétrica, [S. l.], v. 14, n. 2, 2022.

Disponível em: <https://www.periodicos.famig.edu.br/index.php/parametrica/article/view/296>. Acesso em: 03 mar. 2026.

GONÇALVES, P. D.; SILVA, F. de A. E. da. **Manifestações patológicas causadas pela falta de impermeabilização em edificação residencial**. Congresso Técnico-Científico da Engenharia e Agronomia (CONTECC), 2021. Disponível em: <https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/Contecc2021/Civil/MANIFESTA%C3%87%C3%95ES%20PATOL%C3%93GICAS%20CAUSADAS%20PELA%20FALTA%20DE%20IMPERMEABILIZA%C3%87%C3%83O%20EM%20EDIFICA%C3%87%C3%83O%20RESIDENCIAL.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2026.

JM ENGENHARIA DIAGNÓSTICA. **Umidade, deterioração do reboco e da pintura em regiões inferiores da parede?** Entenda os motivos. JM Engenharia Diagnóstica, 13 jun. 2020. Atualizado em: 10 abr. 2021. Disponível em: <https://www.jmengdiagnostica.com.br/post/umidade-deterioracao-do-reboco-e-da-pintura-em-regi%C3%B5es-inferiores-da-parede-entenda-os-motivos>. Acesso em: 06 mar. 2026.

JORNAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Obras sem dor de cabeça:** impermeabilização corretiva pode custar até 10 vezes mais que a preventiva. Jornal da Construção Civil, 3 maio 2022. Disponível em: <https://www.jornaldaconstrucao civil.com.br/2022/05/03/obras-sem-dor-de-cabeca-impermeabilizacao-corretiva-pode-custar-ate-10-vezes-mais-que-a-preventiva/>. Acesso em: 28 fev. 2026.

KMICK, R. dos S.; GAZOLLA, M. G.; SILVA JUNIOR, R. M. da; CAPRARO, A. P. B.; MOREIRA, K. A. W. **Análise comparativa da eficácia e eficiência de três sistemas impermeabilizantes**. Revista ALCONPAT, v. 11, n. 1, p. 34–47, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348158279_Analise_comparativa_da_eficacia_e_eficiencia_de_tres_sistemas_impermeabilizantes. Acesso em: 04 fev. 2026.

LEROY MERLIN. **Impermeabilizar baldrame:** como fazer passo a passo. Blog Leroy Merlin, 2023. Disponível em: <https://blog.leroymerlin.com.br/impermeabilizar-baldrame-como-fazer-passo-a-passo/>. Acesso em: 19 jan. 2026.

MACHADO, P. M. B. **Estudo comparativo entre os sistemas de impermeabilização utilizados em uma obra de alto padrão:** vida útil

estimada e custos. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), 2025. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/28080>. Acesso em: 17 mar. 2026.

MELO, J. R. D. de; BARCELLOS, D. S. F. de. **Impermeabilização pelo sistema de emulsão asfáltica e sua importância.** Revista Brasileira de Negócios e Desenvolvimento Regional, v. 12, n. 1, e145, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.23900/rbndr.v12n1-002>. Acesso em: 11 jan. 2026.

OLIVEIRA, L. A. A. de. **Estudo da infiltração por umidade ascendente em residências unifamiliares.** UFERSA, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstreams/3c2b7972-f63b-44f0-8c59-e0580df35498/download>. Acesso em: 23 fev. 2026.

PEREIRA, R. N.; HOSKEN, C. M.; SOARES, T. R. de P.; SILVA, G. dos S.; FAGUNDES, B. E. O.; LAZARONI, F. R. L. **Estudo da argamassa polimérica como controle de umidade por capilaridade ascendente.** Tudo é Ciência: anais, 2024. Disponível em: <https://conferencias.unifoa.edu.br/tc/article/view/1972>. Acesso em: 06 mar. 2026.

PESSONI, M. **Estudo comparativo entre manta asfáltica e argamassa polimérica.** Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal Goiano, 2024. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/4773/1/tcc_Murilo%20Personi.pdf. Acesso em: 30 jan. 2026.

PINHEIRO, A. T.; SANCHES, A. E.; PINHEIRO, É. C. N. M.; CARVALHO, J. M. de. **Impermeabilização com argamassa polimérica em uma construção civil em Manaus: estudo de caso.** Revista FT, v. 29, n. 145, 2025. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/998524252/Impermeabilizacao-Com-Argamassa-Polimerica-Em-Uma-Construcao-Civil-Em-Manaus-Estudo-de-Caso>. Acesso em: 19 fev. 2026.

RIBEIRO, C. G. M.; PERIN, J. **Estudo da manifestação patológica umidade ascendente nas edificações.** Faculdade Anhanguera, 2023. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/51898/1/CARLA_GABRIELLE_MELO_RIBEIRO.pdf. Acesso em: 25 mar. 2026.

SABO, K. R. **Comparativo de custo e vida útil de sistemas de impermeabilização em lajes técnicas, áreas molhadas e áreas molháveis.** Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), 2024. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10923/27024>. Acesso em: 14 fev. 2026.

SALVADOR, A. C.; ROSA, A. L.; FONTES, D.; MANEU, G. O. **Medidas de prevenção à umidade em alvenaria e avaliação de custo da impermeabilização de baldrame.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 18, n. 2, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/download/66799/39265/358197>. Acesso em: 08 jan. 2026.

SANT, L. C.; SILVA, A. **Impermeabilização: patologias e soluções, uma revisão literária.** Revista FT, 2023. Disponível em: https://revistaft.com.br/impermeabilizacao-patologias-e-solucoes-uma-revisao-literaria/?utm_source. Acesso em: 12 mar. 2026.

SANTOS, J. M. B. dos. **Análise de manifestações patológicas devido à ausência ou falha no sistema de impermeabilização:** estudos de casos em Boa Ventura-PB. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal, 2023. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/31577>. Acesso em: 02 fev. 2026.

SANTOS, N. F. **Estudo de caso:** avaliação das tomadas de decisão sobre diferentes sistemas de impermeabilização para áreas externas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2025. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/289893>. Acesso em: 22 jan. 2026.

SARAIVA, O. L. da C. **Impermeabilização: método corretivo de patologias.** GETEC: Revista de Tecnologia, 2023. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/3123/1944>. Acesso em: 20 jan. 2026.

SARAIVA, O. L. C. **A importância da impermeabilização na prevenção de patologias em fundações.** Revista GETEC, v. 14, p. 135–155,

2024. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/ge-tec/article/view/3122>. Acesso em: 06 mar. 2026.

SCHUMANSKI, D. **Análise do uso da argamassa polimérica como impermeabilizante**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná (UFPR), Pontal do Paraná, 2021. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/75865>. Acesso em: 27 jan. 2026.

SIKA. **SikaTop®-107**: ficha técnica de produto. Osasco: Sika, 2025a. Disponível em: https://bra.sika.com/dam/dms/br01/j/sikatop_-107.pdf. Acesso em: 26 jan. 2026.

SIKA. **Igol® ECO Asfalto**: ficha técnica de produto. Osasco: Sika, 2025b. Disponível em: <https://bra.sika.com/dam/dms/br01/t/igol-asfalto-eco.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2026.

SILVA, M. A. **Impermeabilização de fundações rasas como prática preventiva ao surgimento de eflorescências na construção civil**: estudo de caso na cidade de Cupira-PE. Caruaru: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/45040>. Acesso em: 13 mar. 2026.

VIEIRA, C.; MINARI JUNIOR, C. F.; FLORIAN, F. **Sistemas de impermeabilização**. RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar, v. 3, n. 1, e3122465, 2022. Disponível em: <https://recima21.com.br/recima21/article/view/2465>. Acesso em: 05 jan. 2026.

CAPÍTULO 6

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO MERCADO PÚBLICO DE PIRACURUCA – PI

CASE STUDY: ANALYSIS OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS IN THE PUBLIC MARKET OF PIRACURUCA – PI

Loren Carvalho Cerqueira de Sousa

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri - PI

<https://orcid.org/0009-0001-7617-4838>
lorencerqueira2015@gmail.com

Wemerson Luan Cardoso de Melo

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0006-8446-7485>
wemersonluan165@gmail.com

Laysa Cruz Machado

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-1748-7316>
englaysacruz@gmail.com

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-4577-2173>
marcilio@chrisfapi.com.br

Josielle Castelo Branco Fontenele Ramos

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0002-4490-8216>
josiellecastelobranco@hotmail.com

Wanderson Rocha Carvalho

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0001-5278-1329>

wanderson_vitoria2010@hotmail.com

Thalia Ohana Monteiro Lima

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0001-5914-2527>

ohanamtr@outlook.com

Kellson Barros de Oliveira

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-3746-7523>

kellsonb@hotmail.com

RESUMO

A gestão e manutenção do patrimônio edificado representam desafios técnicos e econômicos cruciais na engenharia civil contemporânea, uma vez que a incidência de manifestações patológicas reduz drasticamente a vida útil e o desempenho das construções. Diante disso, este trabalho teve como objetivo central realizar uma inspeção predial técnica na edificação do Mercado Público Municipal da cidade de Piracuruca-PI, visando identificar, classificar e hierarquizar o estado de conservação de seus subsistemas para a elaboração de um relatório técnico normatizado. A fundamentação metodológica baseou-se nas diretrizes da ABNT NBR 16747 (2020), com suporte técnico da Norma Nacional de Inspeção Predial do IBAPE/SP (2025) e preceitos da engenharia diagnóstica. O procedimento envolveu pesquisa de campo no imóvel de, aproximadamente, 770 m², construído na década de 1990 em estrutura de concreto armado, alvenaria de vedação e cobertura metálica. Realizou-se o levantamento de dados preliminares com os gestores, seguido de inspeções visuais sensoriais, mapeamento térmico com câmera termográfica e ensaios não destrutivos. Como resultados, foram diagnosticadas diversas desconformidades estruturais, elétricas e funcionais organizadas por níveis de urgência e subdividindo-as em ordem de urgência e prioridade. Conclui-se que o relatório técnico cumpre um papel indispensável ao subsidiar a gestão

municipal com uma ferramenta assertiva para a priorização de tomadas de decisão, viabilizando um plano de ação corretivo e preventivo direcionado à mitigação de riscos e à salvaguarda da segurança e habitabilidade dos usuários.

Palavras-chave: Engenharia Diagnóstica. Inspeção Predial. Patologia. ABNT NBR 16747. Pesquisa de Campo.

ABSTRACT

The management and maintenance of built assets represent crucial technical and economic challenges in contemporary civil engineering, since the incidence of pathological manifestations drastically reduces the lifespan and performance of buildings. Given this context, this study aimed to perform a technical building inspection on the Municipal Public Market edifice in the city of Piracuruca-PI, aiming to identify, classify, and prioritize the conservation status of its subsystems for the elaboration of a standardized technical report. The methodological framework was based on the guidelines of ABNT NBR 16747 (2020), with technical support from the National Building Inspection Standard of IBAPE/SP (2025) and tenets of diagnostic engineering. The procedure involved field research on the property of approximately 770 m², built in the 1990s using a reinforced concrete structure, masonry infill walls, and a metallic roof. A preliminary data collection was conducted with managers, followed by sensory visual inspections, thermal mapping with a thermographic camera, and non-destructive testing. As results, several structural, electrical, and functional non-conformities were diagnosed, which were organized by urgency levels and subdivided into order of urgency and priority. It is concluded that the technical report plays an indispensable role in assisting municipal management with an assertive tool for prioritizing decision-making, enabling a corrective and preventive action plan aimed at mitigating risks and safeguarding the safety and habitability of users.

Keywords: Diagnostic Engineering. Building Inspection. Pathology. ABNT NBR 16747. Field Research.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem passado por transformações significativas, deslocando parte de seu foco da execução de novos empreendimentos para a gestão e manutenção do patrimônio já

edificado. Nesse contexto, a manutenção e a preservação das estruturas representam um dos maiores desafios técnicos e econômicos da engenharia civil contemporânea. Conforme estabelecido pela NBR 16747 (ABNT, 2020), a inspeção predial configura-se como um processo fundamental de auxílio à gestão da edificação, atuando como uma ferramenta diagnóstica essencial para mitigar riscos e evitar a perda prematura de desempenho dos sistemas construtivos. Quando realizada de forma sistêmica, essa atividade permite constatar o estado real de conservação e funcionamento da edificação, garantindo que as condições de segurança, habitabilidade e durabilidade sejam mantidas ao longo de sua vida útil.

O surgimento de manifestações patológicas, termo que designa as anomalias e falhas que comprometem a integridade de uma obra, é um fenômeno frequentemente associado ao envelhecimento natural. Contudo, tal processo é severamente acelerado por falhas de projeto, utilização de materiais de baixa qualidade, execução inadequada ou, como ocorre na maioria dos casos brasileiros, pela ausência de uma cultura de manutenção preventiva. Segundo os preceitos de Gomide, Gullo e Belo (2019), a inspeção predial insere-se no campo da engenharia diagnóstica, um ramo que busca a melhoria da qualidade das construções por meio de exames, vistorias, diagnósticos e prognósticos tecnicamente fundamentados.

A análise sensorial e técnica conduzida pelo inspetor permite a classificação das irregularidades encontradas em dois grandes grupos: as anomalias, que podem ter origem endógena, exógena ou funcional; e as falhas, que decorrem diretamente de deficiências no uso, operação e manutenção de edificações. A correta identificação desses sintomas, como a corrosão de armaduras, fissurações excessivas ou infiltrações, é o primeiro passo crítico para a elaboração de um plano de recuperação. É através desse diagnóstico que se estabelecem os patamares de urgência, priorizando intervenções que visam a segurança estrutural e a estanqueidade dos sistemas.

A relevância deste estudo intensifica-se ao observar que a negligência com a saúde das edificações tem culminado em episódios críticos de colapsos estruturais, reforçando a necessidade de

dispositivos legais que tornem a vistoria periódica mandatória. Portanto, a inspeção predial transcende a verificação visual superficial, configurando-se como um instrumento de responsabilidade social e técnica, essencial para a salvaguarda dos usuários e a valorização do ativo imobiliário. A escolha por este tema justifica-se pela necessidade de avaliar o desempenho real das edificações sob a luz da NBR 16747 (ABNT, 2020), confrontando a teoria da patologia das construções com os problemas identificados em campo.

Desse modo, o trabalho está estruturado de forma progressiva. Esta introdução estabelece a delimitação do problema, a hipótese e os objetivos da pesquisa, servindo de base para o referencial teórico subsequente, que permite demonstrar como o diagnóstico assertivo de falhas e anomalias orienta gestores na tomada de decisões fundamentadas, evitando o agravamento de danos. Posteriormente, é apresentada a identificação das anomalias na prática por meio de ensaios não destrutivos. A metodologia empregada configura-se como um estudo de caso com abordagem qualitativa e exploratória, buscando consolidar o conhecimento existente e oferecer diretrizes técnicas na engenharia civil brasileira. Assim, a pesquisa teve como objetivo central realizar uma inspeção predial técnica na edificação do mercado público municipal da cidade de Piracuruca-PI, localizada a cerca de 200 km da capital do estado, identificando o estado de conservação de seus subsistemas para a elaboração de um estudo técnico normatizado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para analisar a integridade da edificação, é imprescindível recorrer aos preceitos da engenharia diagnóstica e ao rigor das normas técnicas brasileiras, que definem não apenas os termos e classificações, mas também os parâmetros de desempenho e manutenção esperados ao longo da vida útil do imóvel.

2.1 A Engenharia Diagnóstica e a Inspeção Predial

A inspeção predial é tratada como um dos instrumentos fundamentais da engenharia diagnóstica, área que, conforme a literatura técnica especializada, busca a melhoria da qualidade e durabilidade das edificações por meio de investigações técnicas. Diferente de uma vistoria isolada, a inspeção é conduzida como um processo sistêmico que avalia o estado de conservação, segurança e funcionamento dos subsistemas construtivos.

De acordo com a NBR 16747 (ABNT, 2020), o objetivo principal da inspeção é auxiliar na gestão da edificação, fornecendo dados para que o gestor possa mitigar riscos técnicos e econômicos. A inspeção não é vista apenas como um ato punitivo, mas como um exame clínico que permite o acompanhamento da vida útil do projeto.

2.2 Manifestações Patológicas: Conceitos e Tipologias

As manifestações patológicas são compreendidas como expressões externas de mecanismos de degradação que indicam a perda de desempenho de componentes. Para a correta caracterização no estudo de caso, as irregularidades são distinguidas, conforme a NBR 16747, em: anomalias, que são irregularidades classificadas como endógenas (com origem no projeto ou na execução), exógenas (causadas por fatores externos) ou funcionais (decorrentes do envelhecimento natural); e falhas, que consistem em irregularidades decorrentes de uso, operação ou manutenção inadequados após a entrega da obra.

2.3 Identificação de Manifestações Patológicas e Métodos de Investigação

Para o diagnóstico preciso das anomalias encontradas, pode-se utilizar métodos de investigação que permitem identificar a extensão dos danos sem comprometer a integridade dos elementos estruturais.

A investigação baseia-se na análise visual sistemática complementada por ensaios não destrutivos (END).

2.3.1 Classificação das falhas e anomalias

De acordo com o IBAPE (2012) e a ABNT NBR 16747 (2020), anomalias e falhas são não conformidades que reduzem o desempenho e a vida útil das edificações, comprometendo a segurança e o conforto estabelecidos pela NBR 15575. As anomalias são classificadas como endógenas, quando originadas por erros de projeto ou execução, exógenas, se causadas por fatores externos, terceiros ou funcionais, quando decorrem do envelhecimento natural. Já as falhas derivam exclusivamente de deficiências no uso, operação ou manutenção.

2.3.2 Recomendações técnicas de correção

Seguindo os preceitos estabelecidos pela NBR 16747 (ABNT, 2020), as medidas corretivas voltadas às irregularidades identificadas devem ser comunicadas de maneira clara e objetiva ao gestor municipal. Para garantir a viabilidade técnica das intervenções, é fundamental que as orientações sejam acompanhadas por referências normativas, manuais de uso e recursos visuais, como ilustrações ou fotos. Essa abordagem visa facilitar a compreensão das ações necessárias, assegurando que os procedimentos de reparo e manutenção sejam implementados de forma assertiva e segura no imóvel.

2.3.3 Ordem de urgência

Segundo a NBR 16747 (ABNT, 2020), a determinação dos níveis de urgência deve considerar as limitações da inspeção sensorial e os riscos potenciais aos usuários, ao patrimônio e ao meio ambiente. A norma estabelece uma hierarquia de intervenção organizada em três patamares, sendo esses os presentes no quadro 01:

Quadro 01 – Ordem de urgência.

Ordem de urgência	Limitações
Prioridade 1	Casos de perda acentuada de desempenho que comprometam a segurança ou elevem drasticamente os custos de reparo
Prioridade 2	Situações de degradação precoce e perda parcial de funcionalidade, porém sem risco iminente ou interrupção de sistemas
Prioridade 3	Danos estéticos ou ações passíveis de planejamento a longo prazo, por não apresentarem riscos

Fonte: Os autores (2026).

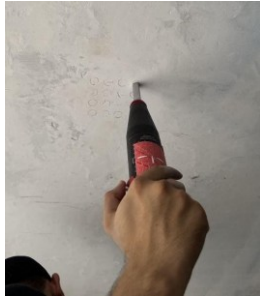
2.3.4 Análise visual e sensorial

A análise visual constitui uma etapa inicial e fundamental da inspeção. Por meio da observação direta, é possível realizar o mapeamento de danos e a caracterização morfológica das falhas. Conforme proposto por Thomaz (2020), esta etapa permite identificar a orientação de fissuras, manchas de umidade e deslocamento cerâmico, servindo como base técnica para a análise de causas.

2.3.5 Esclerometria

O ensaio de esclerometria é empregado para determinar a dureza superficial do concreto endurecido. A partir dos valores do índice esclerométrico, podem ser obtidas estimativas da uniformidade do concreto e de sua resistência à compressão, conforme as diretrizes da NBR 7584 (ABNT, 2012).

Figura 01 – Ensaio de Esclerometria. Figura 02 – Esclerômetro.



Fonte: Os autores (2026).



Fonte: Os autores (2026).

2.3.6 Pacometria (Localização de Armaduras)

A detecção das armaduras é comumente realizada com o auxílio de um pacômetro, equipamento digital de alta precisão que permite localizar os elementos metálicos e estimar o diâmetro das barras. Contudo, para fins deste estudo, é utilizado um *scanner* de parede, embora apresente uma sensibilidade distinta em comparação ao pacômetro, o dispositivo demonstra-se plenamente eficaz para os objetivos desta pesquisa, atendendo aos requisitos necessários para a identificação dos elementos estruturais analisados.

Figura 03 – Ensaio com *scanner* de parede.



Fonte: Os autores (2026).

Figura 04 – *Scanner* de parede.



Fonte: Os autores (2026).

2.3.7 Monitoramento e mensuração de fissuras

Este ensaio é aplicado para quantificar a abertura superficial de discontinuidades e analisar a evolução dos danos estruturais no concreto. Utilizando um fissurômetro (graduado ou do tipo comparador),

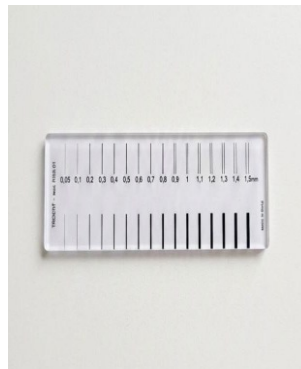
o procedimento consiste na sobreposição da escala técnica sobre a fissura para a determinação de sua espessura em milímetros. A utilização deste instrumento é fundamental para classificar a gravidade das aberturas presentes, fornecendo dados essenciais para o diagnóstico do nível de comprometimento da peça estrutural examinada.

Figura 05 – Mensuração de Fissuras.



Fonte: Os autores (2026).

Figura 06 – Fissurômetro.



Fonte: Os autores (2026).

2.3.8 Vistoria remota por veículo aéreo não tripulado (VANT/Drone)

O uso de drones na inspeção predial configura-se como uma técnica de sensoriamento remoto que potencializa a análise visual de áreas de difícil acesso. Nos estudos de manifestações patológicas, essa ferramenta é primordial para a inspeção minuciosa do sistema de cobertura, permitindo a visualização zenital de patologias em telhas metálicas, calhas e rufos sem a necessidade de exposição do inspetor ao risco de queda.

Esta tecnologia permite alcançar pontos críticos da estrutura e da cobertura metálica que seriam inacessíveis por meios convencionais sem o uso de andaimes ou plataformas elevatórias. Além disso, através dessas imagens é possível identificar falhas de estanqueidade no telhado, servindo como base para o mapeamento de danos. Ressalta-se que a utilização segue os preceitos de documentação fotográfica

previstos na NBR 16747, garantindo a rastreabilidade das anomalias identificadas durante o processo de inspeção técnica.

Figura 07 – VANT/Drone.



Fonte: Os autores (2026).

Figura 08 – Captura registrada pelo Drone.



Fonte: Os autores (2026).

2.3.9 Termografia infravermelha

A termografia infravermelha caracteriza-se como um ensaio não destrutivo (END) que permite a medição de temperaturas e a visualização de padrões de distribuição térmica na superfície dos componentes. Essa técnica torna-se eficaz para identificar anomalias invisíveis a olho nu em dois subsistemas principais. Primeiramente, na identificação de infiltrações e umidade, onde a evaporação da água em áreas saturadas gera um resfriamento evaporativo; isso permite que a câmera termográfica identifique "pontos frios" nas paredes de vedação. Além disso, a técnica é utilizada para a inspeção de sistemas elétricos, visando detectar aquecimentos em quadros de energia, fiações e dispositivos de segurança, conhecidos como pontos quentes, configura-se como um indicador crítico de sobrecarga ou mau contato, sendo fundamental para prevenir riscos de incêndio e garantir a segurança operacional da edificação conforme as diretrizes de manutenção preventiva.

Figura 09 – Ensaio com Câmera Termográfica. Figura 10 – Câmera Termográfica.



Fonte: Os autores (2026).



Fonte: Os autores (2026).

2.4 Hierarquização de Irregularidades e Patamares de Urgência

A realização da inspeção predial exige a classificação das anomalias e falhas quanto ao seu grau de risco. Seguindo as diretrizes normativas, a organização ocorre por patamares de urgência:

Figura 11 – Esquema de prioridades na manutenção predial.



Fonte: IA, Gemini (2026).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Procedimentos Metodológicos

A fundamentação metodológica deste estudo baseou-se nas prescrições da NBR 16747 (ABNT, 2020), com o suporte técnico da Norma Nacional de Inspeção Predial (IBAPE/SP, 2025). Adicionalmente, as diretrizes propostas na obra Inspeção Predial Total (GOMIDE et al., 2019) foram incorporadas para garantir o rigor técnico das análises.

A análise baseou-se em uma pesquisa de campo com o propósito de identificar as manifestações patológicas da estrutura de estudo. A edificação analisada, o mercado público da cidade de Piracuruca-PI, foi construído na década de 1990, sendo um amplo espaço utilizado pela população local para a instalação de vários empreendimentos, como lojas, comércios e farmácias, bem como espaços para refeições.

Figuras 12 e 13 – Localização Geográfica Do Objeto De Estudo.



Fonte: Google Maps adaptada, 2026



Fonte: Os autores (2026).

A construção possui uma área de aproximadamente 770 m², sendo em estrutura de concreto armado e alvenaria de vedação, com cobertura em estrutura metálica, onde compõe treliças e perfis metálicos para sustentação das telhas de aço. O espaço é dividido em pontos

comerciais diversos e a área interna é exclusivamente destinada como praça de alimentação, contendo banheiros masculino e feminino, com área de 309,55 m², sendo esse o local de análise e estudo.

Figuras 14 e 15 – Mercado Público Municipal de Piracuruca.



Fonte: Os autores (2026).

A proposta iniciou-se pela coleta de dados, etapa na qual ocorre a solicitação e triagem da documentação técnica, seguida pela investigação preliminar mediante questionários com os gestores. Posteriormente, realizou-se o levantamento de campo com vistorias e registros fotográficos, permitindo um diagnóstico preciso para identificar e classificar anomalias através de análise visual e ensaios não destrutivos. Com essas informações, procedeu-se à hierarquização das intervenções por urgência, integrando-as a uma análise de desempenho que avalia o estado de conservação e o histórico de manutenção. Por fim, foi elaborado um plano de ação com as medidas preventivas e corretivas, culminando na conclusão com a redação final da pesquisa e do relatório fotográfico detalhado.

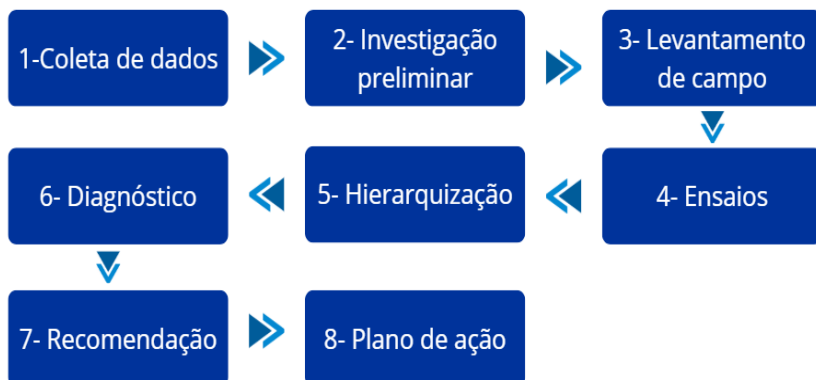
A fase inicial compreendeu a requisição e análise da documentação técnica e administrativa disponível. Nesta etapa, foi buscada a obtenção do prontuário da edificação, incluindo plantas estruturais e históricos de reformas. Conforme destaca Andrade (2026), o entendimento da evolução temporal da estrutura é crucial para correlacionar o estado de conservação atual da edificação.

A metodologia do trabalho prosseguiu com a aplicação de entrevistas junto aos gestores e permissionários do mercado municipal, estratégia utilizada para resgatar o histórico de ocorrências sob a ótica dos usuários e validar as evidências físicas observadas. Subsequentemente, realizou-se a etapa de campo, considerada o cerne do estudo, que consistiu em vistorias técnicas detalhadas em todos os subsistemas acessíveis, com o auxílio de checklists estruturados e registros fotográficos para o mapeamento de danos conforme os critérios da NBR 16747.

Com os dados coletados, procedeu-se à identificação e classificação técnica das irregularidades, analisadas sob a ótica da NBR 6118 (ABNT, 2023) para tipificar anomalias e falhas quanto à sua origem e severidade. Esse diagnóstico permitiu o estabelecimento de ordens de prioridade para as intervenções, hierarquizando as correções de acordo com o nível de urgência para garantir a segurança dos usuários e a gestão eficiente dos recursos públicos.

Na fase conclusiva, as práticas de uso e conservação da edificação foram confrontadas com as exigências normativas, resultando na prescrição de medidas técnicas para recuperação e manutenção preventiva baseadas em literatura especializada de reabilitação estrutural. O processo metodológico encerrou-se com a redação final da avaliação de inspeção predial e do relatório fotográfico, consolidando todos os achados em um documento técnico que serve como guia para a preservação do patrimônio edificado de Piracuruca.

Diagrama 01 : Fluxograma das Etapas de Caracterização do Estudo.



Fonte: Os autores (2026).

3.2. Resultados e Discussões

3.2.1 Dados gerais da Edificação

A edificação objeto deste estudo corresponde ao Mercado Público Municipal, localizado na Rua Senador Gervásio, nº 484, município de Piracuruca, estado do Piauí, sob coordenadas geográficas de latitude 3,9332° S e longitude 41,7090° W. Inaugurado no ano de 1993, o empreendimento constitui um importante equipamento público destinado às atividades comerciais e ao abastecimento da população local. A inspeção predial foi iniciada em 25 de abril de 2026, contemplando levantamentos visuais, registros fotográficos e avaliações técnicas dos sistemas construtivos passíveis de verificação em campo. A caracterização da edificação e a identificação de seus elementos constituintes representam etapa fundamental para a compreensão das condições de desempenho, conservação e manutenção do imóvel, fornecendo subsídios para a análise das manifestações patológicas observadas e para a elaboração do diagnóstico técnico apresentado nas seções subseqüentes.

Conforme os preceitos metodológicos de inspeção predial estabelecidos pela NBR 16747, realizou-se uma busca ativa e detalhada pela relação de documentos administrativos e técnicos da edificação analisada. Essa documentação abrange desde manuais de operação, vistorias, alvarás e licenças ambientais, até relatórios de rotina e de manutenção de sistemas específicos, que são de caráter essencial e indispensável para garantir a segurança jurídica, a integridade operacional e a correta gestão da infraestrutura predial. Contudo, constatou-se que nenhum dos documentos requisitados estava disponível, resultando em uma ausência absoluta tanto de entrega quanto de análise prévia de tais registros, o que evidencia uma lacuna crítica na gestão documental e na manutenção preventiva do objeto de estudo.

3.2.1.1 identificação e localização

Quadro 02 – Dados da Edificação.

Nome:	Mercado Público Municipal (novo)
Endereço:	Rua Senador Gervásio, 484, Piracuruca - PI, 64240-000
Coordenadas:	-3,9332S -41,7090W
CNPJ:	06.553.887/0001-21
Ano de inauguração	1993
Data de Inspeção	Início em: 25/04/2026

Fonte: O autor (2026).

3.2.2. Sistemas inspecionados

Durante o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso, procedeu-se à realização de inspeções técnicas prediais e vistorias *in loco*, visando a análise sistêmica dos elementos que

integram a edificação. As avaliações concentraram-se nos seguintes subsistemas:

- Sistemas de elementos estruturais passíveis de verificação visual;
- Sistemas de vedação e revestimentos;
- Sistemas de instalações passíveis de verificação visual;
- Cobertura;
- Reservatórios;
- Sistema de instalação de água;
- Instalações elétricas de baixa tensão;

3.2.3. Listagens de verificação dos sistemas

As listagens de verificação dos sistemas constituem instrumentos fundamentais para a realização da inspeção predial, pois possibilitam o registro organizado e sistemático das condições observadas nos diversos elementos da edificação. Por meio desses checklists, torna-se possível avaliar o estado de conservação, identificar manifestações patológicas, verificar a conformidade dos sistemas construtivos e levantar informações necessárias para o diagnóstico técnico da edificação. Dessa forma, as verificações realizadas servem como base para a análise das anomalias encontradas, contribuindo para a elaboração de recomendações de manutenção, recuperação e conservação do imóvel. A seguir são apresentados os checklists utilizados na inspeção predial.

3.2.3.1 sistemas de elementos estruturais passíveis de verificação visual

O diagnóstico do sistema estrutural e dos elementos de vedação associados revelou um quadro de manifestações patológicas decorrentes de fatores mecânicos, térmicos e ambientais. Para garantir maior clareza, cada uma das anomalias, serão analisadas individualmente a seguir, correlacionando seus sintomas, causas prováveis e impactos na durabilidade da estrutura.

3.2.3.1.1 irregularidades estruturais

A avaliação do sistema estrutural do pórtico de entrada revelou um quadro de interdependência patológica entre falhas de dimensionamento, cobrimento inadequado e exposição ambiental severa. Nas lajes de cobertura, identificaram-se fissuras transversais que denunciavam insuficiência na armadura de flexão. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), tais aberturas surgem quando as tensões de tração superam a capacidade resistente do concreto. O ensaio de esclerometria, utilizado apenas como parâmetro qualificador, demonstrou resistência superficial satisfatória, apresentando uma média de resistência de 29,84 MPa, confirmando que a gênese do problema reside no déficit estrutural frente aos esforços de tração e não na qualidade intrínseca do concreto (CASCUDO; CARASEK, 2021).

Figuras 16 e 17 – Imagem Das Fissuras da Laje e Imagem do Gabarito do Ensaio de Esclerometria.



Fonte: Os autores (2026).

Nos pilares de sustentação, constatarem-se aberturas verticais expressivas com estufamento e desprendimento do concreto. O mapeamento com fissurômetro e a medição com paquímetro refutaram a hipótese de esmagamento por sobrecarga mecânica pura, ratificando um processo corrosivo da armadura longitudinal. Conforme Cascudo e Carasek (2021), a oxidação do aço gera um produto de corrosão expansionista que cria pressões internas superiores à resistência à

tração do concreto, provocando a fissura vertical e a delaminação do cobrimento. Essa degradação viola as diretrizes de durabilidade da NBR 6118 (ABNT, 2023), e a redução da seção útil da barra penaliza a capacidade de carga do pilar.

Figuras 18 – Paquimetria na Laje e 19 – Paquimetria no Pilar.



Fonte: Os autores (2026).

O avanço desse estado de deterioração estende-se ao restante do conjunto estrutural por meio de um ciclo de corrosão eletroquímica por umidade contínua. Em uma das lajes, identificou-se armadura longitudinal exposta e severas manchas de infiltração. Sob a perspectiva de Souza (2018), a água decorrente da falha de impermeabilização atua como eletrólito e transporta agentes agressivos que despassivam o aço; o produto expansivo rompe o concreto e expõe a barra, cuja perda de massa e seção transversal foi quantificada com paquímetro, apresentando diâmetro de 9,5 mm. De forma análoga e simétrica, esse mesmo padrão de degradação por corrosão exposta e oxidação longitudinal foi registrado em um dos pilares de sustentação, complementando o diagnóstico de fissuração anterior. Ambas as situações descumprem os critérios de durabilidade e cobrimento mínimo de 2,5 cm de espessura para áreas urbanas conforme a NBR 6118 (ABNT, 2023).

Figuras 20 e 21 – Infiltração na Laje.



Fonte: Os autores (2026).

Adicionalmente, esse quadro patológico estende-se aos elementos de vedação adjacentes através do surgimento de eflorescências, alterações cromáticas (manchas) e intensa colonização biológica (bolor). Na base das alvenarias, o fenômeno decorre comprovadamente de umidade ascensional originada do solo por capilaridade. Por sua vez, o surgimento desses problemas, associa-se ao fenômeno de condensação ambiental por deficiência de ventilação localizado. Além disso, há infiltração de água pluvial por percolação direta através de fissuras existentes na própria alvenaria e nos revestimentos externos. Esses fenômenos tratam-se, portanto, de uma convergência de vetores de umidade que compromete a salubridade dos ambientes e cuja resolução integra o plano de intervenções corretivas imediatas.

Figuras 22 – Manchas de Infiltração Interna e 23 – Manchas de Infiltração Externa.



Fonte: Os autores (2026).

3.2.3.1 sistemas de vedação, pisos e revestimentos

O diagnóstico do sistema de vedação vertical e horizontal revelou um quadro de manifestações patológicas que comprometem a estética, a funcionalidade e a segurança habitacional da edificação. A inspeção abrangeu a análise detalhada dos pisos, das paredes internas e externas, além dos revestimentos cerâmicos aplicados nas fachadas. Foram identificadas anomalias decorrentes de movimentações térmicas, falhas executivas e desgaste de materiais, destacando-se a presença de fissuras em alvenarias, patologias em pavimentos e pontos críticos de deslocamento cerâmico. Com o objetivo de fundamentar a pesquisa, cada um desses problemas será tratado individualmente a seguir, correlacionando seus sintomas às prováveis causas técnicas.

3.2.3.1.1 fissura

Na análise das fissuras, a inspeção identificou aberturas inclinadas e verticais nas paredes extensas e altas das áreas internas e externas.

As fissuras inclinadas decorrem da concentração de tensões provocadas por pequenas deformações estruturais, como a deflexão de vigas de apoio. Conforme explicam Thomaz e Johnstone (2016), quando a estrutura se movimenta, a vedação sofre esforços de cisalhamento para os quais não possui capacidade resistente, resultando em rupturas diagonais que cortam blocos e juntas.

Já as fissuras verticais nessas paredes altas estão ligadas à retração e à variação térmica. Segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2021), grandes panos de alvenaria sem juntas de dilatação ou dessolidarização adequadas acumulam tensões decorrentes dos ciclos de temperatura, superando a resistência do material e gerando alívios lineares na vertical. Tais fissuras apresentaram aberturas na faixa de 1,2 a 1,4 mm.

Figuras 24 e 25 – Ensaio com Fissurômetro.



Fonte: Os autores (2026).

3.2.3.2.2 danos estruturais de piso

Dando continuidade ao sistema, identificou-se a quebra de peças do piso de pedra nas áreas internas da edificação. O mapeamento visual registrou fraturas pontuais, enquanto o ensaio de percussão confirmou som cavo (vazio sob o pavimento). A associação desses dados indica que o dano mecânico nas pedras foi provocado pelo recalque ou acomodação do solo de base ou por falhas no assentamento das peças.

Essa manifestação ocorre pela perda de suporte rígido do pavimento. Segundo Gomide et al. (2018), quando o solo sob o contrapiso cede devido ao adensamento ou falha de compactação.

Essa situação descumpre os requisitos de segurança e desempenho da NBR 15575-3 (ABNT, 2021) e os critérios de estabilidade de bases da NBR 13753 (ABNT, 1996).

Figuras 26 e 27 – Registros do Piso.



Fonte: Os autores (2026).

3.2.3.2.3 deslocamento de revestimento

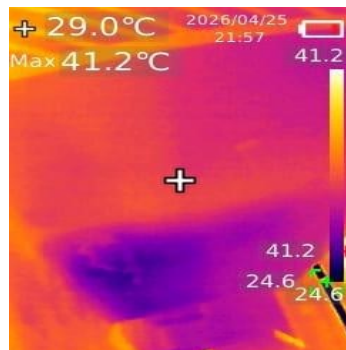
Avançando na avaliação do sistema de vedação, identificou-se um quadro crítico de deslocamento cerâmico nas fachadas externas da edificação. O mapeamento técnico revelou que aproximadamente 70% de todo o revestimento sofreu descolamento ou arrancamento total. A distribuição espacial do dano mostra-se nitidamente mais severa nas fachadas orientadas no sentido Leste e Oeste, as quais sofrem incidência solar direta e contínua. O diagnóstico aponta que a anomalia decorre da fadiga por choque térmico associada à especificação incorreta da argamassa colante inadequada para as exigências de exposição climática de fachadas, além da ausência de rejuntamento em diversas partes, o que eliminou a proteção do sistema.

O fenômeno é explicado pelas tensões de cisalhamento geradas pela movimentação térmica diferencial entre os componentes do sistema, agravadas pela penetração de água. De acordo com

Medeiros e Sabbatini (2019), a exposição direta à radiação solar eleva a temperatura das placas cerâmicas, provocando sua expansão geométrica durante o dia e retração à noite. A falta do rejunte deixa o tardo da cerâmica vulnerável à entrada de águas pluviais; essa umidade, combinada com os ciclos severos de calor, acelera a degradação da argamassa que, por não possuir a flexibilidade necessária, perde a aderência e rompe a interface de fixação, resultando no estufamento e posterior queda do revestimento.

Este cenário configura uma grave desconformidade com os parâmetros de segurança, durabilidade e manutenção estabelecidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2021) e descumpre as diretrizes de execução de revestimentos externos da NBR 13755 (ABNT, 2017). O elevado percentual de deslocamento (70%) gera um risco iminente de acidentes por impacto físico em pedestres devido à queda de fragmentos, além de deixar a alvenaria de vedação desprotegida contra a ação de águas pluviais, o que acelera a degradação interna do sistema.

Figura 28– Fachada e Figura 29– Fachada com a Câmera Termográfica.



Fonte: Os autores (2026).

Figura 30 – Falha de rejuntamento e figura 31 – Registros de Deslocamento Cerâmico.



Fonte: Os autores (2026).

3.2.3.3 sistemas de cobertura

O diagnóstico do sistema de cobertura revelou um quadro de manifestações patológicas que comprometem diretamente a estanqueidade, o desempenho térmico e a proteção estrutural da edificação. A inspeção técnica concentrou-se na avaliação detalhada das telhas metálicas por meio da utilização de um drone, tecnologia que permitiu o mapeamento aéreo de alta resolução de toda a extensão do telhado com segurança e precisão. Através desse levantamento, foram identificadas anomalias decorrentes da ação climática contínua, falhas de fixação e ausência de manutenção preventiva. Entre os principais problemas identificados, destacam-se pontos de perfuração nas chapas, deslocamento de elementos do plano de cobertura, infiltrações associadas a esses pontos críticos, desgaste superficial do material e a presença de frestas entre as telhas. Com o objetivo de fundamentar o diagnóstico pericial, cada uma dessas manifestações será detalhada individualmente a seguir, correlacionando os danos observados às suas respectivas causas técnicas e normativas.

3.2.3.3.1 perfurações e deslocamentos nas telhas

A primeira anomalia identificada no sistema de cobertura refere-se ao alargamento dos furos de fixação das telhas metálicas, acompanhado pelo deslocamento e deformação leve das peças. O mapeamento visual por drone registrou folgas excessivas no contorno dos parafusos, além de empenamentos localizados nas bordas das telhas que resultaram na abertura de frestas visíveis entre as sobreposições. O diagnóstico aponta que esse conjunto de danos decorre da fadiga do material, induzida por movimentações termomecânicas e pela ação dinâmica do vento sobre a estrutura.

Essa condição viola os requisitos da NBR 15575-5 (ABNT, 2021) e da NBR 16329 (ABNT, 2014). O alargamento dos furos e a abertura dessas frestas inutilizam a vedação original das arruelas de elastômero e o encaixe estanque do telhado, atuando como a causa direta de infiltrações que permitem a entrada de água pluvial no interior da edificação, gerando gotejamentos e severo desconforto habitacional para os usuários e proprietários. Além disso, a perda de eficiência na fixação associada ao deslocamento das peças reduz a rigidez do conjunto, elevando o risco de arrancamento total das telhas durante ventos fortes.

Figuras 32 e 33 – Imagens do Telhado Internas/ Imagens do Drone.



Fonte: Os autores (2026).

3.2.3.4 sistema de reservatório

O diagnóstico do reservatório de armazenamento de água indicou que o conjunto mantém as suas condições funcionais de estanqueidade e operação, não tendo sido registradas anomalias estruturais ou falhas de integridade física consideráveis durante a inspeção. Entretanto, a avaliação concentrou-se na análise visual direta dos componentes externos da estrutura. O principal aspecto técnico observado restringiu-se ao desgaste superficial e à depreciação estética dos materiais protetivos decorrentes do decurso do tempo e do fim do ciclo de vida útil do material. Para fundamentar a análise, os parâmetros de conservação e o estado de depreciação visual do sistema serão detalhados a seguir.

3.2.3.4.1 desgaste

Com base na análise visual realizada, identificou-se que o reservatório existente é composto por fibrocimento e apresenta depreciação superficial e obsolescência devido ao fim do seu ciclo de vida útil. No cenário normativo brasileiro, os reservatórios antigos desse material utilizavam amianto crisotila, fibra cujo uso e comercialização foram declarados inconstitucionais pelo STF (Supremo Tribunal Federal) devido aos riscos à saúde pública por inalação de fibras em caso de desgaste ou quebra.

Sob a ótica técnica e sanitária, a NBR 5626 (ABNT, 2020) determina que os reservatórios devem possuir superfícies internas lisas e impermeáveis para garantir a potabilidade da água e impedir a deposição de detritos. O reservatório avaliado sofre com a porosidade progressiva decorrente da carbonatação e do desgaste mecânico, criando uma superfície rugosa que favorece a fixação de biofilmes (lodo e bactérias), o que viola os requisitos de higiene da NBR 15575- 6 (ABNT, 2021).

Figuras 34 e 35 – Imagens do Reservatório.



Fonte: Os autores (2026).

2.2.3.5 sistema de instalação de água

O diagnóstico do sistema de instalações prediais de água fria, consistiu na avaliação das condições de integridade, estanqueidade e desempenho operacional de toda a rede de distribuição hidráulica. A inspeção técnica concentrou-se na vistoria direta e no mapeamento dos sistemas de tubulações, com o objetivo de verificar a conformidade do layout executado em relação às boas práticas de engenharia e às diretrizes normativas vigentes.

Por meio desse levantamento focado na malha de condutos forçados, analisou-se o estado de conservação dos materiais e a eficiência dos fluxos de abastecimento da edificação.

Com base na análise visual direta realizada nos trechos expostos da rede de distribuição concentrada principalmente na região de saída do reservatório e nos barriletes, constatou-se a ausência de manifestações patológicas visíveis ou falhas operacionais aparentes. A avaliação indicou que os componentes acessíveis das instalações prediais de água fria atendem às condições de integridade técnica esperadas para o sistema.

Como as tubulações seguem embutidas ao longo das estruturas e paredes da edificação, a verificação dos trechos não expostos foi realizada de forma indireta. Durante a inspeção física das superfícies

de alvenaria e dos elementos de vedação que recobrem o caminhamento da rede, não foram identificadas quaisquer evidências de infiltrações, manchas de umidade, eflorescências ou vazamentos ativos.

Dessa forma, a partir do escopo visual executado, conclui-se que o sistema de tubulações apresenta um estado de conservação satisfatório e regular, sem indícios superficiais que apontem para o descumprimento dos requisitos de estanqueidade e desempenho preconizados pela NBR 5626 (ABNT, 2020) e pela NBR 15575-6 (ABNT, 2021).

3.2.3.6 instalações elétricas de baixa tensão

O diagnóstico do sistema de instalações elétricas consistiu na avaliação das condições de segurança, conservação e desempenho operacional dos componentes da rede de energia da edificação. A inspeção técnica concentrou-se na vistoria visual direta e na análise física dos elementos acessíveis, tais como os quadros de distribuição, dispositivos de proteção, condutores aparentes e pontos de consumo, com o objetivo de verificar a conformidade do sistema em relação às diretrizes normativas de segurança e engenharia.

Por meio desse levantamento, buscou-se identificar possíveis desconformidades que pudessem representar riscos de sobrecarga, curtos-circuitos ou choques elétricos, comprometendo a integridade do patrimônio e dos usuários. Com o objetivo de fundamentar esta pesquisa, o panorama técnico e as constatações observadas ao longo do sistema elétrico serão detalhados individualmente a seguir.

3.2.3.5 Sobrecarga e aquecimento

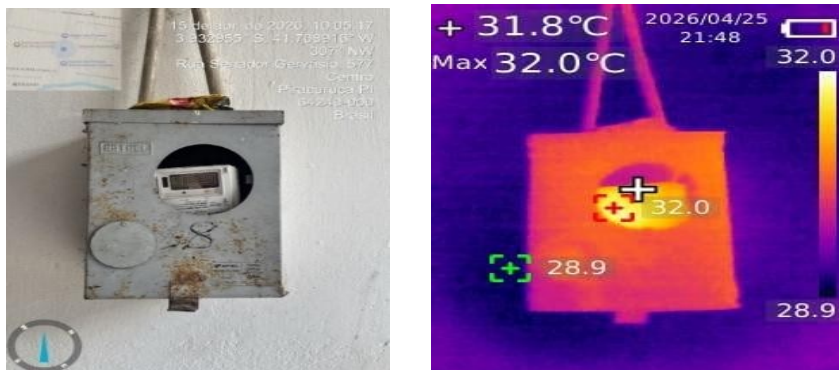
Com base na inspeção visual direta e no mapeamento térmico realizado com o auxílio de uma câmera termográfica no quadro de distribuição de força e luz, identificou-se uma manifestação patológica de natureza térmica e dimensional, evidenciada pela elevação de

temperatura que ultrapassa os 31°C e pontos de calor excessivo concentrados nos condutores elétricos e nas conexões dos componentes. Os relatos técnicos coletados junto aos usuários do espaço confirmaram que o disjuntor sofre desarmes intermitentes sempre que os aparelhos domésticos operam simultaneamente em regime de plena carga.

O diagnóstico da análise aponta para uma desconformidade por sobrecarga no dimensionamento do circuito, decorrente de uma incompatibilidade entre a carga instalada (demanda real) e a capacidade de condução de corrente do conjunto. Verificou-se que o disjuntor magnético instalado de 25A possui capacidade nominal de condução inferior à corrente de demanda exigida pelos equipamentos comerciais em funcionamento. No entanto, o aumento simples da capacidade de corrente (amperagem) do disjuntor é tecnicamente inviável na configuração atual: o dispositivo de proteção existente já se encontra no limite máximo da capacidade de condução de corrente contínua do fio condutor que possui seção de 2,5 mm².

Como o fio condutor atual possui uma seção transversal insuficiente para a demanda real do imóvel, ele opera sob efeito Joule, que é a dissipação de calor por resistência elétrica, o que justifica o aquecimento e os pontos quentes registrados na termografia. A permanência dessa situação acelera a degradação térmica do isolamento polimérico dos cabos, elevando exponencialmente o risco de curtos-circuitos e sinistros por incêndio, além de violar as exigências de segurança e habitabilidade da NBR 15575-1 (ABNT, 2021).

Figuras 36- Caixa de Energia e 37 – Caixa de Energia pela Câmera Termográfica.



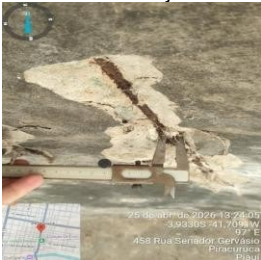
Fonte: Os autores (2026).

3.3 Análise das Anomalias e das Falhas

As patologias e anomalias encontradas durante a vistoria foram registradas com base em sua origem e severidade, conforme os parâmetros explicados nas seções 2.3.1 e 2.3.3. As manifestações foram organizadas em Fichas de Manifestação Patológica (FMP), padronizadas em três blocos de prioridade, contendo a identificação técnica, a descrição da anomalia ou falha, a causa provável e a medida corretiva recomendada.

3.3.1 Prioridade 1 – intervenção imediata

FICHA FMP-01	PRIORIDADE 1 • INTERVENÇÃO IMEDIATA
Corrosão com perda de seção em pilar	

Figura 38 – Corrosão com perda de seção em pilar  Fonte: Os autores (2026).	IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA Classificação: Anomalia Origem: Endógena Sistema: Estrutural Local: Sistema estrutural – pilares dos portões de acesso Descrição das manifestações: Corrosão da armadura com perda de seção transversal do aço, estufamento e desprendimento do cobrimento de concreto.
MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA	
Escarificar concreto deteriorado e remover produto de corrosão. Aplicar primer anticorrosivo nas armaduras expostas e recompor cobrimento com argamassa de reparo estrutural conforme NBR 6118 (ABNT, 2023). Solicitar avaliação por engenheiro estrutural para verificar capacidade resistente residual e dimensionar reforço. Aplicar proteção impermeabilizante após cura.	
FICHA FMP-02 PRIORIDADE 1 • INTERVENÇÃO IMEDIATA	
Armadura exposta e corrosão em laje	
Figura 39 – Armadura exposta e corrosão em laje  Fonte: Os autores (2026).	IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA Classificação: Anomalia Origem: Endógena Sistema: Estrutural Local: Sistema estrutural – laje de cobertura da área interna Descrição das manifestações: Armadura longitudinal exposta com corrosão avançada e perda de seção do aço, acompanhada de manchas de infiltração ativas na laje.
MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA	

Escarificar concreto solto e remover produto de corrosão da armadura. Aplicar primer anticorrosivo e reconstituir cobrimento com argamassa de reparo estrutural. Executar nova impermeabilização sobre a laje conforme NBR 9574 (ABNT, 2008) e NBR 9575 (ABNT, 2010). Solicitar diagnóstico de engenheiro estrutural sobre capacidade residual e necessidade de reforço.

FICHA FMP-03

PRIORIDADE 1 • INTERVENÇÃO IMEDIATA

Deslocamento cerâmico nas fachadas

Figura 40 – Deslocamento cerâmico nas fachadas



Fonte: Os autores (2026).

IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA

Classificação: Anomalia

Origem: Exógena

Sistema: Vedação e Revestimentos

Local: Sistema de vedação e revestimentos – fachadas externas (faces Leste e Oeste)

Descrição da manifestação: Deslocamento e arrancamento de revestimento cerâmico em aproximadamente 70% das fachadas externas, com risco iminente de queda de fragmentos sobre pedestres.

MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA

Sinalizar e isolar imediatamente as áreas de risco. Remover revestimento sem aderência e regularizar alvenaria com emboço compatível. Assentar novo revestimento com argamassa colante AC-III (flexível para fachada), juntas de movimentação e rejuntamento completo conforme NBR 13755 (ABNT, 2017) e NBR 15575-4 (ABNT, 2021). Aplicar selante elastomérico nas juntas.

FICHA FMP-04

PRIORIDADE 1 • INTERVENÇÃO IMEDIATA

Sobrecarga e aquecimento no sistema elétrico

Figura 41 – Sobrecarga e aquecimento no sistema elétrico  Fonte: Os autores (2026).	IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA Classificação: Falha Origem: Endógena Sistema: Instalações Elétricas Local: Instalações elétricas de baixa tensão – quadro de distribuição de força e luz Descrição da manifestação: Sobrecarga no circuito elétrico com pontos de aquecimento excessivo detectados por termografia nos condutores e conexões do quadro de distribuição de força e luz.
MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA Interditar circuito comprometido até conclusão do reparo. Contratar engenheiro eletricista com ART para redimensionamento completo da instalação: substituição dos condutores por bitola compatível com a demanda, instalação de disjuntor de proteção adequado e dispositivos diferencial residual (DR). Instalar quadro de distribuição com identificação dos circuitos conforme NBR 5410 (ABNT, 2004) e NBR 15575-1 (ABNT, 2021).	

3.3.2 Prioridade 2 – intervenção a curto prazo

FICHA FMP-05 PRIORIDADE 2 • CURTO PRAZO	
Infiltração ativa em lajes de cobertura	
Figura 42 – Infiltração ativa em lajes de cobertura  Fonte: Os autores (2026).	IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA Classificação: Anomalia Origem: Funcional Sistema: Estrutural Local: Sistema estrutural – lajes de cobertura das áreas internas Descrição da manifestação: Infiltração de água pluvial com manchas e gotejamentos ativos em lajes de cobertura das áreas internas, sendo uma em estado crítico de umidade.

MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA

Readequar impermeabilização das lajes afetadas conforme NBR 9574 (ABNT, 2008) e NBR 9575 (ABNT, 2010). Verificar e corrigir caimento para garantir escoamento eficiente. Raspar e lixar superfície e executar nova camada impermeabilizante com proteção mecânica. Monitorar eliminação das infiltrações após intervenção.

FICHA FMP-06

PRIORIDADE 2 • CURTO PRAZO

Fissuras transversais nas lajes de entrada

Figura 43 – Fissuras transversais nas lajes de entrada



Fonte: Os autores (2026).

IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA

Classificação: Anomalia **Origem:** Endógena

Sistema: Estrutural

Local: Sistema estrutural – lajes sobre os portões de acesso

Descrição da manifestação: Fissuras transversais em duas das quatro lajes sobre os portões de acesso, com abertura medida por fissurômetro indicando deficiência de armadura de flexão.

MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA

Mapear e monitorar fissuras com fissurômetro. Vedar aberturas com selante elástico compatível com a movimentação estrutural. Solicitar avaliação por engenheiro estrutural para verificar necessidade de reforço de armadura ou capa estrutural conforme NBR 6118 (ABNT, 2023). Executar impermeabilização sobre as lajes para bloquear entrada de agentes agressivos.

FICHA FMP-07

PRIORIDADE 2 • CURTO PRAZO

Fissuras inclinadas e verticais em alvenaria

Figura 44 – Fissuras inclinadas e verticais em alvenaria  Fonte: Os autores (2026).	IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA Classificação: Anomalia Origem: Endógena Sistema: Vedação e Revestimentos Local: Sistema de vedação e revestimentos – paredes internas e externas Descrição da manifestação: Fissuras inclinadas e verticais expressivas em paredes internas e externas de grande dimensão, indicando deformações por cisalhamento e movimentações térmicas nos panos de alvenaria.
MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA	
Mapear e monitorar fissuras com fissurômetro para determinar atividade. Corrigir fissuras ativas com selante elástico compatível; para passivas, aplicar argamassa de reparo e recompor acabamento. Executar juntas de dilatação nos grandes panos de alvenaria conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2021). Avaliar necessidade de dessolidarização da alvenaria em relação à estrutura.	

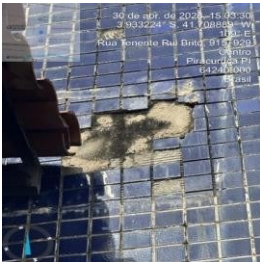
FICHA FMP-08 PRIORIDADE 2 • CURTO PRAZO	
Perfurações e deslocamentos nas telhas metálicas	
Figura 45 – Perfurações e deslocamentos nas telhas metálicas  Fonte: Os autores (2026).	IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA Classificação: Anomalia Origem: Exógena Sistema: Cobertura Local: Sistema de cobertura – telhado metálico Descrição da manifestação: Alargamento dos furos de fixação, deslocamento de telhas metálicas, abertura de frestas entre sobreposições e infiltrações associadas, identificados por inspeção com drone.
MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA	

Substituição completa do telhado como solução mais eficaz e duradoura. A medida elimina falhas recorrentes de fixação, vedação e alinhamento das telhas, reduzindo o risco de infiltrações. A nova cobertura deve ser executada conforme as normas ABNT NBR 15575-5 (2021) e ABNT NBR 16329 (2014). Recomenda-se ainda a realização de inspeções preventivas periódicas para garantir seu desempenho e durabilidade

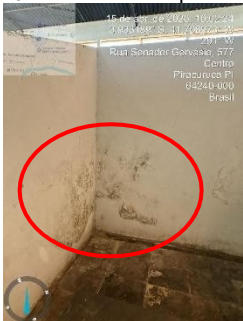
FICHA FMP-09		PRIORIDADE 2 • CURTO PRAZO
Danos no piso com som cavo		
Figura 46 – Danos no piso com som cavo  Fonte: Os autores (2026).		IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA Classificação: Anomalia Origem: Endógena Sistema: Vedação e Revestimentos Local: Sistema de vedação e revestimentos – piso das áreas internas Descrição da manifestação: Quebra de peças do piso de pedra com confirmação de som cavo (vazio sob o pavimento) ao ensaio de percussão, indicando perda de suporte da base e risco de acidentes.
MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA		
Demolir peças de piso afetadas e investigar extensão do recalque de base. Compactar e regularizar contrapiso, preenchendo eventuais vazios com argamassa de enchimento. Asentar novas peças de piso compatíveis com as existentes respeitando critérios de estabilidade da NBR 13753 (ABNT, 1996) e requisitos de desempenho da NBR 15575-3 (ABNT, 2021).		

3.3.3 Prioridade 3 – Intervenção a Médio/Longo Prazo

FICHA FMP-10	PRIORIDADE 3 • MÉDIO/LONGO PRAZO
Desgaste e obsolescência do reservatório	

Figura 47 – Desgaste e obsolescência do reservatório  Fonte: Os autores (2026).	IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA Classificação:Anomalia Origem: Funcional Sistema: Hidrossanitário Local: Sistema de reservatório – caixa d'água Prazo de atendimento: 90 dias
DESCRIÇÃO DA MANIFESTAÇÃO	
Depreciação superficial e obsolescência do reservatório de fibrocimento, com suspeita de composição em amianto crisotila, material cuja comercialização foi declarada inconstitucional pelo STF.	
MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA	
Realizar inspeção interna do reservatório verificando integridade das superfícies e presença de biofilme. Substituir por modelo certificado em polietileno ou fibra de vidro com certificação INMETRO conforme NBR 5626 (ABNT, 2020) e NBR 15575-6 (ABNT, 2021). Garantir limpeza, desinfecção e análise de potabilidade da água após a substituição.	
FICHA FMP-11 PRIORIDADE 3 • MÉDIO/LONGO PRAZO	
Ausência de rejuntamento nas fachadas	
Figura 48 – Ausência de rejuntamento nas fachadas  Fonte: Os autores (2026).	IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA Classificação: Anomalia Origem: Endógena Sistema: Vedação e Revestimentos Local: Sistema de vedação e revestimentos – fachadas externas Descrição da manifestação: Ausência de rejuntamento em diversas juntas das fachadas externas, deixando o tardo do revestimento vulnerável à penetração de água e acelerando o processo de deslocamento.

MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA
Realizar raspagem manual ou mecânica do rejunte degradado. Limpar juntas e aplicar novo rejuntamento com produto flexível compatível com a exposição climática de fachada em toda a extensão das fachadas conforme NBR 13755 (ABNT, 2017). Atenção: esta intervenção é complementar à recuperação principal do revestimento (Prioridade 1).

FICHA FMP-12 PRIORIDADE 3 • MÉDIO/LONGO PRAZO	
Manchas nas paredes	
Figura 49 – Manchas nas paredes  Fonte: Os autores (2026).	IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA Classificação: Anomalia Origem: Endógena Sistema: Vedação e Revestimentos Local: Sistema de vedação e revestimentos – paredes internas e externas Descrição da manifestação: Falha na impermeabilização da base, penetração de água de chuva por fissuras na fachada e deficiência na ventilação.
MEDIDA CORRETIVA RECOMENDADA	
Estancar a entrada de água (tratar as fissuras externas), realizar a impermeabilização corretiva da base, remover mecanicamente o reboco contaminado, aplicar solução fungicida para eliminar os esporos e refazer o revestimento com aditivos impermeabilizantes.	

3.4 Ordem de Prioridade das Irregularidades Identificadas

A síntese dessas informações encontra-se detalhada no Quadro 09, exposto abaixo, onde agrupa as irregularidades identificadas de acordo com seu nível de urgência, servindo como uma ferramenta de

suporte para que a gestão municipal priorize as tomadas de decisão e planeje as correções necessárias.

Quadro 09 – Organização das Irregularidades de Acordo com o Patamar de Urgência.

Patamar de Urgência	Anomalia / Falha	Nº da Figura
Prioridade 1	Corrosão com perda de seção, estufamento e desprendimento do cobrimento em pilar.	Figura 38
Prioridade 1	Armadura longitudinal exposta com corrosão avançada e perda de seção do aço em laje.	Figura 39
Prioridade 1	Desplacamento cerâmico em 70% das fachadas externas com risco de queda de fragmentos.	Figura 40
Prioridade 1	Sobrecarga elétrica com aquecimento excessivo no quadro de distribuição (falha).	Figura 41
Prioridade 2	Infiltração ativa de água pluvial em lajes de cobertura das áreas internas.	Figura 42
Prioridade 2	Fissuras transversais em lajes sobre portões de acesso – deficiência de armadura de flexão.	Figura 43
Prioridade 2	Fissuras inclinadas e verticais em paredes internas e externas de grande dimensão.	Figura 44
Prioridade 2	Alargamento de furos, deslocamento de telhas metálicas e frestas no telhado.	Figura 45
Prioridade 2	Quebra de peças do piso com som cavo confirmado ao ensaio de percussão.	Figura 46
Prioridade 3	Desgaste e obsolescência do reservatório de fibrocimento (possível amianto).	Figura 47
Prioridade 3	Ausência de rejuntamento em diversas juntas das fachadas externas.	Figura 48

Prioridade 3	Falha na impermeabilização da base, penetração de água de chuva por fissuras na fachada e deficiência de trocas de ar ventilação.	Figura 49

Fonte: Os autores (2026).

3.5. Estudo da Edificação

Os estudos da manutenção e do uso do Mercado Público Municipal a seguir foram realizados conforme os parâmetros estabelecidos pela NBR 16747 (ABNT, 2020).

3.5.1 Estudo da manutenção

Ao examinar a possível existência de documentação, constatou-se que a edificação não possui um plano, diretriz ou manual de manutenção preventiva que preveja as ações necessárias para a conservação dos seus sistemas. Além disso, ao longo da inspeção predial, verificou-se que as intervenções realizadas no imóvel ao longo de sua existência foram exclusivamente de caráter paliativo e corretivo, acionadas apenas após a manifestação evidente de falhas ou degradações. Essa abordagem puramente reativa corrobora para a constatação da ausência de manutenções rotineiras e programadas, tornando evidente que as recomendações estabelecidas pela NBR 5674/2012 (Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção) não são atendidas na edificação.

3.5.2 Estudo do uso

Ao examinar as condições operacionais e a rotina de ocupação do imóvel, constatou-se que a edificação mantém suas atividades dentro dos limites previstos para a sua tipologia. Todavia, a ausência

de um acompanhamento técnico preventivo e a execução de reformas puramente reativas geram um cenário de vulnerabilidade.

A longo prazo, a falta de intervenções planejadas e a permanência das desconformidades observadas podem induzir riscos potenciais ao sistema estrutural principal da edificação. Embora tais riscos requeiram atenção e exijam a implementação de medidas corretivas e tratamentos técnicos especializados para a sua plena mitigação, o quadro atual demonstra que o sistema ainda é passível de recuperação, desde que sanadas as falhas de conservação identificadas.

3.6. Consequências da Ausência de Conservação nos Sistemas Prediais

O panorama técnico obtido por meio da inspeção predial evidencia que a escassez de ações preventivas e a carência de um plano de gestão de manutenção resultaram no surgimento de falhas que afetam a durabilidade física e a segurança operacional do imóvel. A postura reativa frente aos desgastes naturais e às demandas da edificação gerou um quadro de sobrecargas elétricas, pontos de calor excessivo e vulnerabilidades no sistema estrutural principal, configurando a desconformidade com as diretrizes normativas vigentes e elevando a exposição dos ocupantes a riscos de acidentes.

A negligência quanto às rotinas programadas de reparo compromete de forma direta a vida útil de projeto dos componentes e degrada a qualidade do ambiente ocupado pelos comerciantes e usuários. Esse cenário reforça a urgência na adoção de procedimentos corretivos especializados e na estruturação de diretrizes consistentes de manutenção, visando reestabelecer o desempenho, a habitabilidade e a estabilidade técnica das instalações.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa realizou uma inspeção predial técnica no Mercado Público Municipal de Piracuruca-PI sob as diretrizes da NBR 16747, utilizando investigação preliminar, vistorias em campo, registros fotográficos e ensaios não destrutivos, como esclerometria, mapeamento de fissuras, escaneamento de armaduras, termografia infravermelha e sensoriamento remoto por drone, para avaliar com precisão técnica elementos estruturais, vedações, revestimentos, cobertura, reservatório e instalações hidrossanitárias e elétricas. O diagnóstico enfrentou um sério entrave devido à total ausência por parte da gestão municipal de todos os documentos solicitados (incluindo projetos executivos, Habite-se, AVCB e manual de operação), o que contraria a NBR 14037 e obrigou a fundamentação do estudo estritamente em evidências físicas de campo, depoimentos e literatura, expondo uma desconformidade administrativa que prejudica o histórico do imóvel.

A análise em campo mapeou dez tipos de manifestações patológicas divididas em três níveis de urgência: a Prioridade 1 para riscos graves, como corrosão de pilar com perda de seção, armadura exposta em laje, fissuras verticais, deslocamento cerâmico severo e sobrecarga com aquecimento elétrico; a Prioridade 2 engloba infiltrações na cobertura, danos no telhado, pisos com som cavo e fissuras estruturais e em alvenarias; enquanto a Prioridade 3 abrange o desgaste do reservatório e falta de rejuntamento, bem como manchas e bolores nas paredes. Esse cenário de degradação avançada reflete uma postura histórica puramente reativa de reparos paliativos pós-colapso, ressaltando que a preservação do patrimônio depende da transição para um modelo de manutenção planejada conforme a NBR 5674. Conclui-se, portanto, que a recuperação do mercado exige tanto a execução urgente das correções físicas apontadas quanto a implantação imediata de um plano de manutenção predial formalizado para garantir a redução dos custos, prolongar a vida útil dos sistemas, a integridade do patrimônio e a segurança dos usuários.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. C. de; GOMIDE, T. L. F.; GULLO, M. A. **Inspeção predial total**: diretrizes e procedimentos técnicos. 3. ed. São Paulo: PINI, 2019.

ANDRADE, T. **Agressividade ambiental e a durabilidade das estruturas de concreto armado no semiárido**. Teresina: Editora Universitária, 2026.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C876-22**: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. West Conshohocken: ASTM International, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Sistemas prediais de água fria e água quente: projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações: requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: Concreto endurecido: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: Concreto endurecido: determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574**: Execução de impermeabilização. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575**: Impermeabilização: seleção e projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13753**: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755**: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14037**: Diretrizes para o estabelecimento, apresentação e instrução de manuais de uso, operação e manutenção das edificações: requisitos para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14751**: Chapas onduladas de fibrocimento sem amianto e seus acessórios: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais: desempenho. Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais: desempenho. Parte 3: requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais: desempenho. Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas: SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais: desempenho. Parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15575-6**: Edificações habitacionais: desempenho. Parte 6: requisitos para os sistemas de instalações hidrossanitárias. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16329**: Coberturas de chapas metálicas onduladas e trapezoidais: sistemas de fixação. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747**: Inspeção predial: diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16818**: Ensaio não destrutivo: termografia infravermelha: procedimento para aplicações do método da termografia infravermelha. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

CASCUDO, O.; CARASEK, C. **Inspeção e ensaios não destrutivos em estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2021.

GOMIDE, T. L. F. et al. **Engenharia diagnóstica em edificações**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2018.

GOMIDE, T. L. F.; GULLO, M. A.; BELO, J. C. **Inspeção predial total**: diretrizes técnicas e ferramentas práticas de engenharia diagnóstica. 4. ed. São Paulo: PINI, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO. **Norma de inspeção predial**. São Paulo: IBAPE-SP, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. **Norma nacional de inspeção predial**. São Paulo: IBAPE, 2025.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Revestimentos de fachada por placas cerâmicas**: tecnologia de produção e patologias. São Paulo: USP, 2019.

SOUZA, V. C. M. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 3. ed. São Paulo: PINI, 2018.

TEIXEIRA, Renato Lück. **Inspeção predial**: o caso do Edifício Julius. 2024. 63 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

THOMAZ, É. **Trincas em edifícios**: causas, prevenção e recuperação. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

THOMAZ, É.; JOHNSTONE, M. **Configurações morfológicas de fissuras em vedações de alvenaria**. São Paulo: IPT, 2016.

VITÓRIO, P. C.; VITÓRIO, B. S. **Recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 2. ed. Recife: Ed. do Autor, 2024.

CAPÍTULO 7

GESTÃO DE OBRAS: ANÁLISE DE QUAIS FERRAMENTAS E PRÁTICAS DE GESTÃO DE CUSTOS SÃO UTILIZADAS NO TERRITÓRIO DOS COCAIS

**CONSTRUCTION MANAGEMENT: ANALYSIS OF WHICH COST MANAGEMENT
TOOLS AND PRACTICES ARE USED IN THE COCAIS TERRITORY**

Francisco das Chagas Lopes de Assis

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0008-1287-0501>
franciscoquerido@gmail.com

Luís Gustavo de Melo Silva

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0007-2585-3981>
meloluisgustavo8@gmail.com

Maysa Memória Martins

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0003-0964-7700>
maysa_memoria@hotmail.com

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-4577-2173>
marcilio@chrisfapi.com.br

Guilherme de Carvalho Amaral

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0007-6082-3614>
guilhermecarvalhoaz9@gmail.com

Palloma Alves de Assis

Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

Teresina – PI

<https://orcid.org/0009-0002-6820-7190>

pallomassis@gmail.com

Thalia Ohana Monteiro Lima

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0001-5914-2527>

ohanamtr@outlook.com

Danielle Maria Barroso de Sousa

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0002-2849-4463>

danimaria547@gmail.com

RESUMO

A gestão de obras desempenha papel fundamental no desempenho das empresas da construção civil, especialmente no controle de custos, otimização de recursos e aumento da produtividade. Este estudo teve como objetivo analisar as ferramentas e práticas de gestão utilizadas por empresas de pequeno e médio porte da construção civil no Território dos Cocais, identificando suas contribuições para a eficiência operacional. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, com aplicação de questionários a engenheiros civis e gestores de obras. Os resultados demonstraram que as empresas utilizam recursos tecnológicos como planilhas eletrônicas, aplicativos de comunicação, sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) e ferramentas BIM (*Building Information Modeling*). Contudo, custos de implantação, limitações financeiras e falta de capacitação técnica ainda dificultam a adoção mais ampla dessas tecnologias. Além disso, a escassez de mão de obra qualificada e desafios logísticos também afetam o desempenho dos empreendimentos. Conclui-se que a integração entre planejamento, controle de custos

e ferramentas tecnológicas contribui para a redução de desperdícios, aumento da produtividade e fortalecimento da competitividade das empresas, evidenciando a importância da modernização da gestão para o desenvolvimento sustentável do setor.

Palavras-chave: Gestão de obras; Construção civil; Gestão de custos; Planejamento; ERP (*Enterprise Resource Planning*); BIM (*Building Information Modeling*).

ABSTRACT

Construction management plays a fundamental role in the performance of construction companies, especially in cost control, resource optimization, and productivity improvement. This study aimed to analyze the management tools and practices used by small and medium-sized construction companies in the Cocais Territory, identifying their contributions to operational efficiency. The research adopted a qualitative approach through the application of questionnaires to civil engineers and construction managers. The results showed that companies use technological resources such as spreadsheets, communication applications, Enterprise Resource Planning (ERP) systems, and Building Information Modeling (BIM) tools. However, implementation costs, financial limitations, and the lack of technical training still hinder the broader adoption of these technologies. In addition, the shortage of qualified labor and logistical challenges were identified as factors that negatively affect project performance. It was concluded that the integration of planning, cost control, and technological tools contributes to reducing waste, increasing productivity, and strengthening the competitiveness of companies, highlighting the importance of modernizing management processes for the sustainable development of the construction sector.

Keywords: Construction management; Construction industry; Cost management; Planning; Enterprise Resource Planning (ERP); Building Information Modeling (BIM).

1 INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha papel essencial no desenvolvimento econômico e social, sendo responsável pela geração de empregos, crescimento da infraestrutura urbana e fortalecimento de diversos setores produtivos. No Brasil, o setor possui grande relevância estratégica por contribuir diretamente para áreas como habitação, mobilidade urbana, saneamento e desenvolvimento industrial. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2023), a construção civil é uma das atividades econômicas que mais impulsionam o desenvolvimento regional devido à sua capacidade de movimentar diferentes cadeias produtivas e gerar oportunidades de trabalho.

Apesar de sua importância, a construção civil caracteriza-se por apresentar elevada complexidade operacional. Cada empreendimento possui particularidades relacionadas ao projeto, às condições do terreno, à disponibilidade de mão de obra, aos materiais utilizados e às variáveis externas que influenciam diretamente a execução das atividades. Conforme Oliveira e Souza (2022), a gestão eficiente das obras depende de planejamento adequado, acompanhamento contínuo e capacidade de adaptação diante das mudanças que surgem durante a execução do empreendimento.

A gestão de obras torna-se fundamental para garantir organização, produtividade e eficiência nos processos construtivos. A gestão de obras pode ser compreendida como o conjunto de práticas administrativas, técnicas e operacionais utilizadas para planejar, coordenar e controlar todas as etapas da execução de uma obra. Segundo Kerzner (2022), a gestão eficiente busca integrar pessoas, recursos e processos de forma estratégica, promovendo maior controle operacional e melhoria no desempenho dos empreendimentos.

A gestão de obras moderna não se limita apenas à fiscalização das atividades executadas no canteiro. Atualmente, ela envolve uma visão ampla do empreendimento, integrando planejamento, logística, gestão de pessoas, controle de qualidade, segurança do trabalho e acompanhamento da produtividade. De acordo com Silva et al. (2021),

a eficiência na gestão das obras está diretamente relacionada à capacidade de coordenação entre os diversos setores e profissionais envolvidos no processo construtivo.

Entre os principais pilares da gestão de obras destaca-se o planejamento, considerado essencial para a organização das atividades construtivas. Conforme Mattos (2021), o planejamento permite antecipar problemas, organizar cronogramas, melhorar o fluxo das atividades e reduzir desperdícios durante a execução da obra. Além disso, um planejamento eficiente contribui para diminuir improvisações e aumentar a produtividade das equipes no canteiro de obras.

Segundo Bernardes e Santos (2022), o planejamento na construção civil deve ser entendido como um processo contínuo, no qual as decisões precisam ser constantemente revisadas de acordo com o andamento do empreendimento. Isso ocorre porque a construção civil apresenta elevada variabilidade operacional, exigindo constante monitoramento das atividades executadas.

Outro aspecto importante dentro da gestão de obras refere-se à gestão de pessoas. A construção civil depende fortemente da mão de obra, tornando indispensável a coordenação eficiente das equipes de trabalho. Conforme Chiavenato (2021), a gestão de pessoas influencia diretamente a motivação, o desempenho e a produtividade dos profissionais dentro das organizações.

Além disso, o gerenciamento de materiais e suprimentos também exerce forte influência sobre o desempenho das obras. Segundo Ballou e Srivastava (2021), a logística eficiente permite melhorar o fluxo de materiais, reduzir perdas e otimizar os processos operacionais. Na construção civil, a falta de controle no armazenamento e distribuição de materiais pode ocasionar atrasos, desperdícios e baixa produtividade.

Com o avanço da tecnologia, novas ferramentas passaram a auxiliar a gestão de obras, proporcionando maior integração das informações e melhoria dos processos construtivos. Nesse cenário, os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) ganharam destaque como importantes ferramentas de gestão empresarial aplicadas à construção civil. Segundo Laudon e Laudon (2023), os sistemas ERP

permitem integrar diferentes setores da empresa em uma única plataforma, facilitando o compartilhamento de informações e melhorando o processo de tomada de decisões.

Na construção civil, os sistemas ERP são utilizados para integrar áreas como planejamento, compras, estoque, contratos, financeiro e acompanhamento operacional das obras. Essa integração possibilita maior controle das atividades executadas e melhora a comunicação entre escritório e canteiro de obras. Além disso, o ERP permite acompanhar informações em tempo real, contribuindo para maior organização dos processos internos e redução de falhas operacionais.

De acordo com Ferreira e Almeida (2024), a utilização de sistemas integrados de gestão na construção civil favorece maior eficiência administrativa e operacional, permitindo melhor controle das informações relacionadas à execução das obras. Dessa forma, o ERP tornou-se uma ferramenta estratégica para empresas que buscam aumentar a produtividade, melhorar a gestão dos processos e fortalecer sua competitividade no mercado.

Entre as plataformas utilizadas no setor da construção civil destaca-se o Sienge, sistema desenvolvido para atender às necessidades específicas das empresas do segmento. O *software* possibilita integrar áreas como orçamento, compras, estoque, financeiro, contratos e acompanhamento das obras, permitindo maior controle das informações e melhor organização dos processos internos. Além disso, a utilização do sistema contribui para o monitoramento das atividades em tempo real, favorecendo a redução de falhas operacionais e o aumento da eficiência administrativa.

Além dos sistemas ERP, outras tecnologias também vêm sendo aplicadas na gestão de obras. Entre elas destaca-se o BIM (*Building Information Modeling*), metodologia utilizada para integrar informações de projeto e execução, proporcionando maior compatibilização e redução de retrabalhos. Conforme Eastman et al. (2021), o BIM representa importante avanço tecnológico na construção civil por permitir melhor visualização e gerenciamento das etapas construtivas.

Mesmo diante da evolução das tecnologias e metodologias de gestão, muitas empresas da construção civil ainda enfrentam

dificuldades relacionadas à falta de planejamento, baixa qualificação técnica, resistência à inovação e ausência de controle operacional eficiente. Esses fatores impactam diretamente a produtividade e a competitividade das organizações.

Diante desse contexto, torna-se fundamental aprofundar os estudos relacionados à gestão de obras e às ferramentas tecnológicas aplicadas à construção civil. Dessa forma, o presente estudo busca analisar de que maneira a aplicação de práticas gerenciais e a utilização de sistemas integrados de gestão podem contribuir para a melhoria do desempenho operacional das empresas da construção civil, promovendo maior organização dos processos, aumento da produtividade, redução de desperdícios e maior eficiência na execução das obras.

Diante do exposto, o questionário foi organizado em nove seções e aplicado com o propósito de identificar práticas, desafios e oportunidades relacionadas à gestão de obras no Território dos Cocais, esse território, localizado no norte do estado do Piauí, possui características sociais, econômicas e geográficas próprias, reunindo diferentes municípios com demandas relacionadas ao desenvolvimento da infraestrutura, melhorias urbanas e execução de obras públicas e privadas. As perguntas contemplaram informações sobre o perfil dos profissionais, características das obras, utilização de ferramentas tecnológicas, processos de planejamento, controle de custos, comunicação e acompanhamento das atividades executadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Construção Civil e sua Importância Socioeconômica

A construção civil é amplamente reconhecida como um dos setores mais relevantes para o desenvolvimento econômico e social, especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. Sua importância não se limita apenas à execução de obras, mas também à

capacidade de impulsionar o crescimento urbano, gerar empregos e dinamizar diferentes cadeias produtivas (CBIC, 2023; IBGE, 2024).

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2023), o setor apresenta elevado potencial de geração de emprego e renda, absorvendo mão de obra com diferentes níveis de qualificação profissional, configurando-se como um importante instrumento de inclusão social, fortalecimento econômico e redução das desigualdades sociais.

Além disso, a construção civil desempenha papel estratégico na composição do Produto Interno Bruto (PIB), contribuindo significativamente para a estabilidade econômica e para a recuperação de períodos de crise, em razão de sua elevada capacidade de mobilização de investimentos e geração de empregos diretos e indiretos (IBGE, 2024).

2.2 Efeito Multiplicador e Impactos Econômicos

Além da geração direta de empregos, a construção civil possui expressivo efeito multiplicador sobre a economia. Suas atividades impactam diretamente setores como indústria de materiais, transporte, logística, comércio e serviços especializados, contribuindo para o fortalecimento de diversas cadeias produtivas e para o dinamismo econômico regional e nacional (CBIC, 2023).

Esse efeito multiplicador amplia a relevância do setor, uma vez que os investimentos em construção civil tendem a estimular o consumo, a produção industrial e a circulação de capital. Dessa forma, o setor atua como importante agente de desenvolvimento econômico, favorecendo tanto o crescimento urbano quanto a expansão da infraestrutura nacional.

2.3 Infraestrutura Urbana e Qualidade de Vida

A construção civil também desempenha papel fundamental na consolidação da infraestrutura urbana e na melhoria da qualidade de vida da população. A execução de obras como habitações, escolas, hospitais, rodovias, sistemas de saneamento básico e mobilidade urbana evidencia sua relevância para o desenvolvimento sustentável e para o bem-estar social (IPEA, 2022).

Além disso, investimentos em infraestrutura contribuem para a redução das desigualdades regionais, promovendo maior acesso da população aos serviços essenciais e favorecendo o desenvolvimento equilibrado das cidades e regiões brasileiras (IBGE, 2024).

2.4 Desafios Estruturais da Construção Civil

Apesar de sua relevância econômica e social, o setor da construção civil ainda enfrenta desafios significativos relacionados à baixa produtividade, elevados índices de desperdícios, deficiência no planejamento e limitações na adoção de tecnologias e práticas modernas de gestão (MATTOS, 2021).

Além disso, fatores como informalidade, baixa qualificação profissional, resistência à inovação e dificuldades na gestão operacional comprometem o desempenho das empresas e reduzem a competitividade do setor no mercado nacional (SOUZA; FERREIRA, 2023).

Outro desafio relevante refere-se à necessidade de modernização dos processos construtivos, considerando as exigências atuais relacionadas à sustentabilidade, eficiência operacional e transformação digital das organizações.

2.5 Gestão de Obras na Construção Civil

A gestão de obras constitui elemento essencial para o sucesso dos empreendimentos, sendo responsável por integrar planejamento, execução, monitoramento e controle das atividades construtivas. Seu principal objetivo é garantir que os projetos sejam executados dentro dos parâmetros estabelecidos de prazo, custo, qualidade e segurança (PMI, 2021).

De acordo com Mattos (2021), a crescente complexidade dos empreendimentos exige uma abordagem gerencial mais estratégica e estruturada. A atuação do gestor de obras torna-se fundamental, exigindo competências técnicas, administrativas e gerenciais que permitam coordenar de forma eficiente recursos, equipes e processos ao longo de todo o ciclo de vida da obra.

Além disso, a gestão eficiente favorece a redução de falhas operacionais, melhora a produtividade e contribui para maior controle dos riscos envolvidos nos processos construtivos.

2.6 Planejamento e Orçamento de Obras

O planejamento é considerado uma das etapas mais importantes da gestão de obras, pois estabelece as diretrizes que orientarão o desenvolvimento do empreendimento. Falhas nessa fase estão entre as principais causas de atrasos, retrabalhos e desvios orçamentários nas obras (MATTOS, 2021).

O orçamento, por sua vez, deve ser compreendido como uma ferramenta dinâmica de controle gerencial, auxiliando no acompanhamento financeiro e na tomada de decisões durante todas as etapas da execução da obra (TCPO, 2023).

Além disso, a integração entre planejamento e orçamento proporciona maior previsibilidade dos resultados, permitindo identificar riscos antecipadamente e adotar medidas corretivas de maneira mais eficiente, contribuindo para melhor desempenho operacional e financeiro dos empreendimentos.

2.7 Controle de Obras e Gestão de Custos

O controle de obras envolve o monitoramento contínuo das atividades executadas e a comparação entre o planejado e o realizado, utilizando indicadores de desempenho que auxiliam na tomada de decisões gerenciais (PMI, 2021).

A gestão de custos assume papel central, pois está diretamente relacionada à viabilidade econômica dos empreendimentos. Problemas como desperdícios de materiais, retrabalhos, baixa produtividade e falhas de execução impactam negativamente os resultados financeiros das obras (FORMOSO et al., 2021).

Dessa forma, a adoção de práticas sistemáticas de controle contribui para maior transparência na gestão, melhoria contínua dos processos construtivos e aumento da eficiência operacional das empresas do setor.

2.8 Tecnologias Aplicadas à Gestão e Controle de Obras

O avanço tecnológico tem promovido importantes transformações na construção civil, especialmente na gestão e no controle de obras. Ferramentas digitais, *softwares* de gerenciamento e sistemas integrados permitem maior controle das informações, melhoria na comunicação entre equipes e acompanhamento em tempo real das atividades executadas no canteiro de obras (LAUDON; LAUDON, 2023).

Entre as principais tecnologias utilizadas destaca-se o *Building Information Modeling* (BIM), metodologia que integra informações de planejamento, orçamento, cronograma e execução em um ambiente digital compartilhado. Além de auxiliar na compatibilização de projetos, o BIM contribui para o controle físico e financeiro da obra, reduzindo retrabalhos, desperdícios e falhas operacionais (EASTMAN et al., 2021).

O *Building Information Modeling* (BIM) vem sendo cada vez mais utilizado na gestão de obras por possibilitar a centralização e o

compartilhamento das informações do empreendimento em um ambiente digital integrado. A ferramenta permite acompanhar etapas relacionadas ao planejamento, orçamento, cronograma e execução da obra de maneira mais organizada e precisa (EASTMAN et al., 2021).

No gerenciamento das obras, o BIM auxilia no controle das atividades executadas, na análise dos custos e na identificação antecipada de incompatibilidades construtivas, contribuindo para a redução de desperdícios, retrabalhos e atrasos. Além disso, a utilização dessa tecnologia favorece maior integração entre os profissionais envolvidos no empreendimento, melhorando a comunicação e apoiando a tomada de decisões ao longo da execução da obra.

Os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) têm adquirido grande importância na construção civil por possibilitarem a integração das informações e o gerenciamento dos diversos processos envolvidos na execução das obras. Essas plataformas permitem reunir dados relacionados ao planejamento, orçamento, compras, estoque, contratos, financeiro e acompanhamento operacional em um único sistema, proporcionando maior organização administrativa e melhor controle das atividades (LAUDON; LAUDON, 2023).

Na gestão de obras, os sistemas ERP contribuem para o monitoramento dos custos, controle de materiais, acompanhamento da produtividade das equipes e análise do desempenho dos empreendimentos. Além disso, a integração das informações em tempo real favorece maior precisão na tomada de decisões, reduzindo falhas operacionais, desperdícios e retrabalhos durante a execução das atividades.

Outro aspecto relevante refere-se à melhoria da comunicação entre escritório e canteiro de obras, permitindo maior agilidade no fluxo de informações e melhor acompanhamento dos processos construtivos. Dessa forma, os sistemas ERP tornam-se ferramentas estratégicas para aumentar a eficiência operacional, otimizar recursos e fortalecer a competitividade das empresas da construção civil (SOUZA; FERREIRA, 2023).

2.9 Inovação Tecnológica e Eficiência Operacional

Além do BIM e dos sistemas ERP, outras tecnologias vêm sendo incorporadas à construção civil, como drones, aplicativos de acompanhamento de serviços, sensores inteligentes e plataformas em nuvem. Essas ferramentas permitem monitoramento mais preciso das atividades, coleta de dados em tempo real e maior controle da execução das obras.

Outro recurso importante refere-se aos dashboards e indicadores de desempenho, que auxiliam no acompanhamento de custos, produtividade, qualidade e segurança das obras.

Apesar dos avanços tecnológicos, muitas empresas ainda enfrentam dificuldades relacionadas à implantação dessas ferramentas, principalmente devido aos custos, à resistência à inovação e à necessidade de qualificação profissional (SOUZA; FERREIRA, 2023). Mesmo assim, a transformação digital tornou-se fundamental para aumentar a competitividade, melhorar a produtividade e otimizar os resultados na construção civil.

2.10 Utilização do Sienge na Gestão da Construção Civil

O Sienge é uma plataforma de gestão desenvolvida para atender às necessidades das empresas da construção civil, auxiliando no controle e na organização das atividades relacionadas às obras. O sistema permite integrar informações de setores como orçamento, compras, estoque, contratos e financeiro, proporcionando maior agilidade nos processos administrativos e operacionais.

Na execução das obras, a ferramenta contribui para o acompanhamento dos custos, controle de materiais e monitoramento das etapas construtivas, permitindo melhor organização das informações e apoio à tomada de decisões. Além disso, a centralização dos dados favorece a comunicação entre os setores da empresa, reduzindo falhas operacionais e contribuindo para maior eficiência na gestão dos empreendimentos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa foram definidos de maneira a garantir alinhamento entre os objetivos do estudo e os métodos empregados para a obtenção das informações, contribuindo para a credibilidade e a organização dos resultados apresentados.

O estudo caracterizou-se como uma pesquisa de campo, desenvolvida com a finalidade de compreender aspectos relacionados à gestão de custos em obras da construção civil. Para a obtenção dos dados, utilizou-se a aplicação de questionários direcionados a profissionais que atuam no setor, entre eles engenheiros, gestores de obras e colaboradores envolvidos nas atividades de planejamento, execução e acompanhamento financeiro dos empreendimentos. A utilização desse instrumento possibilitou identificar práticas de gerenciamento, dificuldades encontradas no controle de custos e estratégias adotadas pelas empresas para otimizar os processos construtivos.

A coleta das informações ocorreu por meio de dados primários, obtidos diretamente com os participantes da pesquisa. O questionário foi estruturado com perguntas objetivas e descritivas, elaboradas de forma a permitir uma análise mais ampla sobre os métodos de planejamento, controle financeiro e utilização de ferramentas voltadas à gestão de obras. A escolha dos participantes levou em consideração a experiência profissional, a atuação no segmento da construção civil e a relação direta com os objetivos propostos neste estudo.

Após a etapa de coleta, os dados foram organizados e analisados por meio da técnica de análise de conteúdo, fundamentada nos estudos de Laurence Bardin. Esse procedimento permitiu classificar e interpretar as informações de forma sistemática, facilitando a identificação de categorias temáticas relacionadas ao controle de custos, planejamento de obras, uso de tecnologias de gestão, como

sistemas ERP e modelagem BIM, além de práticas voltadas à melhoria da eficiência operacional nos empreendimentos.

Por fim, a interpretação dos resultados ocorreu sob uma abordagem qualitativa, buscando relacionar as respostas obtidas nos questionários com os referenciais teóricos utilizados na pesquisa. Com base nessa análise, foram desenvolvidas considerações e sugestões voltadas ao aperfeiçoamento da gestão de custos em obras da construção civil, especialmente em empresas de pequeno e médio porte, visando maior eficiência nos processos, redução de desperdícios e fortalecimento do controle financeiro das obras.

O fluxograma 1 apresenta os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa, demonstrando as etapas de levantamento, coleta, análise e interpretação dos dados. Inicialmente, realizou-se uma pesquisa de campo com profissionais da construção civil por meio da aplicação de questionários. Em seguida, os dados obtidos foram organizados e analisados utilizando a técnica de análise de conteúdo, considerando aspectos relacionados ao planejamento, controle de obras, gestão de custos e uso de tecnologias.

Fluxograma 1



Fonte: Autoria própria (2026).

3.2. Resultados e Discussão

A presente pesquisa contou com a participação de 52 engenheiros civis atuantes no Território dos Cocais, possibilitando uma análise acerca das práticas de gestão empregadas na construção civil regional. De acordo com o Gráfico 1 os dados obtidos permitiram compreender aspectos relacionados ao perfil profissional dos participantes, à utilização de ferramentas tecnológicas, às dificuldades enfrentadas na gestão de obras e ao nível de maturidade digital das empresas do setor.

Gráfico 1 – Municípios de Atuação no Território dos Cocais

Municípios de atuação predominante no território dos Cocais



Fonte: Autoria própria (2026).

De maneira geral, observou-se que a construção civil na região vem passando por um processo gradual de modernização, impulsionado principalmente pela crescente adoção de recursos tecnológicos voltados ao planejamento, controle operacional e acompanhamento de obras. Entretanto, ainda permanecem desafios relevantes, especialmente no que se refere à qualificação da mão de obra, à integração das informações e à implementação de sistemas gerenciais mais avançados.

Conforme apresentado no Gráfico 2, observa-se que a amostra da pesquisa foi composta, em sua maioria, por profissionais com experiência consolidada na área da construção civil. Verifica-se que 50% dos participantes possuem entre 3 e 8 anos de atuação profissional, representando o grupo predominante entre os respondentes. Além disso, 23,1% informaram possuir mais de 8 anos de experiência no setor, enquanto 26,9% declararam atuar na área há menos de três anos. Esse cenário demonstra que a pesquisa foi composta majoritariamente por profissionais experientes, capazes de fornecer percepções consistentes sobre a realidade da gestão de obras na região estudada.

Gráfico 2 - Tempo de Experiência na Construção Civil



Fonte: Autoria própria (2026).

Conforme apresentado no Gráfico 3, em relação às áreas de atuação, observou-se que os profissionais desempenham múltiplas funções simultaneamente. A elaboração de projetos foi citada por 61,5% dos participantes, seguida pela responsabilidade técnica das obras (59,6%), gestão de obras (48,1%). Esse resultado evidencia uma característica comum em municípios do interior, nos quais os engenheiros frequentemente acumulam atribuições administrativas, técnicas e operacionais, demandando maior capacidade de organização e gerenciamento das atividades.

Gráfico 3 – Principais Funções Atuais

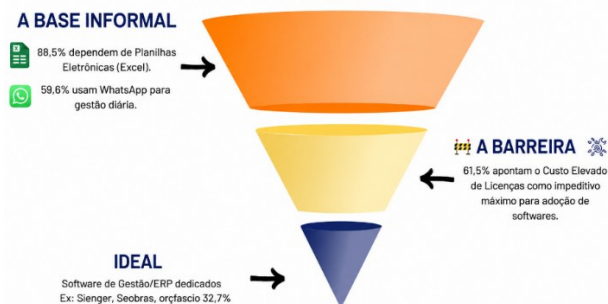


Fonte: Autoria própria (2026).

Quanto ao porte das obras gerenciadas, os resultados indicam significativa participação dos profissionais em empreendimentos de médio e grande porte. Cerca de 31,3% afirmaram gerenciar entre duas e três obras simultaneamente, enquanto igual percentual declarou administrar mais de seis obras ao mesmo tempo. Em relação aos valores financeiros dos empreendimentos, 31,3% atuam em obras com orçamento entre R\$ 1 milhão e R\$ 2 milhões, ao passo que 25,0% trabalham em obras superiores a R\$ 2 milhões. Esses dados demonstram a necessidade de utilização de ferramentas eficientes de planejamento e controle, considerando a complexidade envolvida na condução simultânea de múltiplos empreendimentos.

Conforme apresentado no Diagrama 1, as planilhas eletrônicas representam a ferramenta digital mais utilizada pelos profissionais participantes da pesquisa, sendo mencionadas por 88,5% dos respondentes. Em seguida, destacam-se os aplicativos de mensagens instantâneas, utilizados por 59,6% dos participantes, evidenciando a importância da comunicação digital no acompanhamento e na gestão das obras. Observou-se que 32,7% fazem uso de sistemas ERP e softwares integrados de gestão. Além disso, 61,5% apontam o custo elevado de licenças como impeditivo máximo para a adoção de softwares.

Diagrama 1 - Funil de diagnóstico



Fonte: Autoria própria (2026).

Os resultados demonstram que o processo de transformação digital já está presente na construção civil regional, embora ainda exista forte dependência de ferramentas mais simples e acessíveis financeiramente. As planilhas eletrônicas permanecem como principal recurso de controle devido à facilidade de utilização, baixo custo de implementação e ampla disseminação entre os profissionais do setor.

Quando analisadas as principais barreiras para adoção de tecnologias mais avançadas, observou-se que o elevado custo das licenças de *softwares* especializados constitui o principal obstáculo, sendo apontado por 62,5% dos entrevistados. A falta de treinamento técnico foi mencionada por 25,0% dos participantes, enquanto parte da amostra considera que as ferramentas atualmente utilizadas já atendem às necessidades existentes. Esses resultados indicam que as limitações financeiras ainda representam um fator relevante para a ampliação da maturidade digital na construção civil regional. Além disso, reforçam a necessidade de investimentos em capacitação profissional, visando ampliar o uso de sistemas integrados de gestão e tecnologias voltadas ao aumento da produtividade.

Os indicadores relacionados à maturidade digital apresentaram resultados expressivos. Aproximadamente 75,0% dos participantes afirmaram utilizar frequentemente ferramentas digitais na gestão das obras, enquanto 78,1% relataram utilizar planilhas estruturadas para

controle operacional. A comunicação digital apresentou índice ainda mais elevado, alcançando 96,9% dos respondentes. Contudo, apenas 56,3% afirmaram atualizar informações em tempo real, evidenciando limitações relacionadas à integração entre escritório, equipes de campo e sistemas gerenciais.

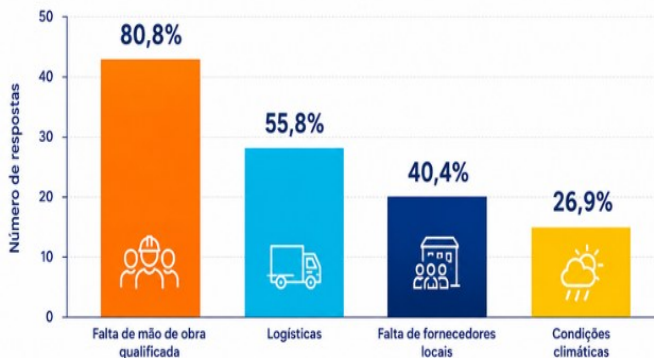
Percebe-se que os profissionais participantes da pesquisa demonstram preocupação significativa com o planejamento e o acompanhamento das atividades desenvolvidas nas obras. Os resultados indicam que 71,9% dos respondentes afirmam seguir regularmente o planejamento previamente definido, evidenciando a valorização da organização no processo construtivo. Observa-se também que 78,1% realizam controle integrado envolvendo custos, materiais e prazos, demonstrando a adoção de práticas gerenciais voltadas ao monitoramento das diferentes etapas da obra. Além disso, 68,8% informaram utilizar relatórios e indicadores como instrumentos de apoio à tomada de decisões, contribuindo para maior controle e eficiência na execução dos serviços.

Esse resultado evidencia que as práticas de organização, monitoramento e acompanhamento das obras vêm sendo cada vez mais incorporadas à rotina dos profissionais da construção civil, contribuindo para maior eficiência na gestão de obras.

Em relação ao desempenho dos empreendimentos, os participantes apresentaram percepção predominantemente positiva. Aproximadamente 75,0% afirmaram conseguir cumprir os prazos planejados com frequência, enquanto 81,3% relataram manter os custos próximos ao orçamento previsto. Além disso, 78,2% declararam identificar gargalos operacionais antecipadamente e 71,9% avaliaram positivamente a produtividade das equipes.

De acordo com o Gráfico 4, os profissionais apontaram fatores que ainda impactam diretamente os custos e os prazos das obras. A escassez de mão de obra qualificada foi identificada como o principal problema, sendo mencionada por 80,8% dos respondentes. Em seguida, destacam-se questões relacionadas à logística e transporte de materiais (55,8%), ausência de fornecedores locais (40,4%) e condições climáticas (26,9%).

Gráfico 4 – Principais Fatores que Impactam Custo e Prazo



Fonte: Autoria própria.

A análise qualitativa das respostas abertas reforçou os resultados quantitativos obtidos na pesquisa. As principais dificuldades relatadas pelos participantes envolvem a escassez de profissionais qualificados, elevada rotatividade da mão de obra, falhas de planejamento, atrasos no fornecimento de materiais e problemas de comunicação entre equipes. Além disso, foram apresentadas sugestões relacionadas à ampliação do uso de *softwares* integrados, BIM, inteligência artificial e aplicativos específicos para gestão de obras, indicando tendência de fortalecimento da transformação digital no setor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa permitiu compreender a realidade da gestão de obras na construção civil no Território dos Cocais, analisando aspectos relacionados ao planejamento, controle de custos, utilização de ferramentas tecnológicas e principais desafios enfrentados pelos profissionais do setor. Os resultados demonstraram que a maior parte dos participantes possui experiência intermediária ou consolidada na área, embora muitos profissionais acumulem simultaneamente funções técnicas, administrativas e operacionais, além de gerenciarem múltiplas obras ao mesmo tempo. Esse cenário evidencia uma elevada

sobrecarga de responsabilidades, característica frequentemente observada em municípios do interior.

No que se refere à utilização de tecnologias, verificou-se que o processo de transformação digital já está presente na construção civil regional, principalmente por meio do uso de planilhas eletrônicas, aplicativos de comunicação instantânea e *softwares* de planejamento. Entretanto, observou-se que a gestão ainda permanece fortemente dependente de ferramentas mais simples, enquanto sistemas mais robustos, como plataformas BIM e *softwares* ERP integrados, apresentam menor índice de utilização. Os dados indicam que o alto custo das licenças e a falta de capacitação técnica representam os principais fatores que dificultam a ampliação da maturidade digital das empresas do setor.

Os resultados também demonstraram que os profissionais possuem preocupação significativa com o planejamento, acompanhamento de custos, controle de materiais e cumprimento de prazos. Contudo, ao relacionar os dados quantitativos e qualitativos, observou-se a existência de divergências entre a percepção positiva dos participantes e a realidade operacional das obras, considerando que grande parte dos empreendimentos ainda apresenta variações financeiras relevantes entre o orçamento inicial e o custo final executado. A pesquisa evidenciou que fatores externos exercem forte influência sobre o desempenho das obras no Território dos Cocais. A escassez de mão de obra qualificada, a ausência de fornecedores locais, os problemas logísticos e as condições climáticas foram apontados como obstáculos que impactam diretamente os custos, os prazos e a produtividade dos empreendimentos. Os resultados reforçam que parte das dificuldades enfrentadas pelas empresas não está relacionada apenas às práticas internas de gestão, mas também às limitações estruturais e econômicas da região.

Diante desse cenário, os próprios profissionais participantes apontaram alternativas importantes para o fortalecimento do setor, destacando a necessidade de políticas públicas voltadas à capacitação técnica da mão de obra, ampliação de parcerias entre instituições de ensino e entidades profissionais, fortalecimento do comércio local de

materiais de construção e incentivo à utilização de tecnologias acessíveis para micro e pequenas empresas. Dessa forma, conclui-se que o avanço da construção civil regional depende não apenas da adoção de ferramentas tecnológicas, mas também da integração entre qualificação profissional, melhoria da infraestrutura regional e modernização dos processos gerenciais, visando maior produtividade, controle financeiro e competitividade no setor.

REFERÊNCIAS

BALLOU, Ronald H.; SRIVASTAVA, Samir K. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.

BERNARDES, Maurício Moreira e Silva; SANTOS, Paulo Henrique. **Planejamento e controle de obras na construção civil**. São Paulo: Atlas, 2022.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Panorama da construção civil brasileira 2023**. Brasília: CBIC, 2023.

CHIAVENATO, Idalberto. **Gestão de pessoas: o novo papel da gestão do talento humano nas organizações**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

EASTMAN, Chuck et al. **BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers**. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2021.

FERREIRA, Lucas Henrique; ALMEIDA, Roberto Carlos. **Sistemas ERP aplicados à gestão da construção civil**. Revista Brasileira de Gestão e Inovação, v. 11, n. 2, p. 45-61, 2024.

FORMOSO, Carlos Torres et al. **Gestão da qualidade na construção civil: estratégias e melhorias de processos**. Porto Alegre: NORIE/UFRGS, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Contas nacionais trimestrais: indicadores econômicos da construção civil. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Infraestrutura e desenvolvimento regional no Brasil**. Brasília: IPEA, 2022.

KERZNER, Harold. **Gestão de projetos: as melhores práticas**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P. **Sistemas de informação gerenciais**. 17. ed. São Paulo: Pearson, 2023.

MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

OLIVEIRA, Marcos Vinicius; SOUZA, Rafael Pereira. **Gestão e produtividade na construção civil contemporânea**. Revista de Engenharia e Infraestrutura, v. 8, n. 1, p. 15-29, 2022.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). Guia PMBOK®: **um guia para o conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos**. 7. ed. Newtown Square: PMI, 2021.

SILVA, André Luiz; COSTA, Felipe Henrique; BARROS, Ricardo Mendes. **Coordenação e eficiência operacional em obras de construção civil**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 10, n. 5, p. 88-104, 2021.

SOUZA, Rafael Pereira; FERREIRA, Lucas Henrique. **Inovação tecnológica e desafios operacionais na construção civil brasileira**. Revista Brasileira de Gestão e Engenharia, v. 12, n. 3, p. 44-61, 2023.

TCPO. **Tabela de composições de preços para orçamentos**. 15. ed. São Paulo: PINI, 2023.

CAPÍTULO 8

INOVAÇÃO HABITACIONAL: O SISTEMA CONSTRUTIVO CASA EXPRESS EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL EM PIRI- PIRI-PI

*HOUSING INNOVATION: THE CASA EXPRESS CONSTRUCTION SYSTEM IN
SOCIAL HOUSING IN PIRIPIRI-PI*

Eliabe Oliveira Sousa

Centro Universitário Chrisfapi – Unichrisfapi
Piripiri/PI

<https://orcid.org/0009-0007-5025-4868>
eliabeo643@gmail.com

Nicole Évan de Sousa Medeiros

Centro Universitário Chrisfapi – Unichrisfapi
Piripiri/PI

<https://orcid.org/0009-0009-7579-0442>
nicolemedeiros481@gmail.com

Thalia Ohana Monteiro Lima

Centro Universitário Chrisfapi – Unichrisfapi
Piripiri/PI

<https://orcid.org/0009-0001-5914-2527>
Ohanamtr@outlook.com

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Centro Universitário Chrisfapi – Unichrisfapi
Piripiri/PI

<https://orcid.org/0000-0002-4577-2173>
marcilio@chrisfapi.com.br

Danielle Maria Barroso de Sousa

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0002-2849-4463>
danimaria547@gmail.com

Maysa Memória Martins

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0000-0003-0964-7700>
maysa_memoria@hotmail.com

Domingos Sávio do Nascimento

Centro Universitário Chrisfapi –UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-8580-8783>
saviomatem@yahoo.com.br

Gildene Fortes de Meneses Machado

Centro Universitário Chrisfapi –UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-0319-183x>
gildenemeneses@yahoo.com.br

Laysa Cruz Machado

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri-PI

<https://orcid.org/0000-0002-1748-7310>
englaysacruz@gmail.com

Jaqueline Passos dos Santos

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI
Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0000-9610-7256>
passosjaqueline151@gmail.com

RESUMO

O crescimento populacional e o déficit habitacional no Brasil demandam soluções rápidas, sustentáveis e economicamente viáveis para o setor da construção civil. Os métodos convencionais de construção têm demonstrado menor competitividade devido aos longos cronogramas, desperdício de materiais e elevados impactos ambientais. Diante deste

cenário, este trabalho analisa o potencial da construção modular industrializada e fabricada em ambiente controlado como alternativa tecnológica para a execução de habitações de interesse social. O objetivo geral deste estudo consistiu em avaliar a aplicabilidade técnica, a previsibilidade de custos e o desempenho do sistema modular direcionado à faixa de renda bruta familiar estipulada pelo Programa Minha Casa, Minha Vida no município de Piripiri-PI. Metodologicamente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica e documental, integrada a um estudo de caso local com levantamento de dados quantitativos e ensaios técnicos de confiabilidade de componentes (como lajes e blocos pré-moldados). **Palavras-chave:** Construção Modular; Habitação de Interesse Social; Industrialização; PBQP-H.

ABSTRACT

The population growth and the housing deficit in Brazil demand fast, sustainable, and economically viable solutions for the civil construction sector. Conventional construction methods have shown lower competitiveness due to long schedules, material waste, and high environmental impacts. Given this scenario, this study analyzes the potential of industrialized modular construction, manufactured in a controlled environment, as a technological alternative for the execution of Social Interest Housing. The general objective of this study was to evaluate the technical applicability, cost predictability, and performance of the modular system directed to the family gross income range stipulated by the Minha Casa, Minha Vida program in the municipality of Piripiri, Piauí. Methodologically, a bibliographical and documentary research was carried out, integrated into a local case study with quantitative data collection and technical reliability tests of components (such as precast slabs and blocks).

Keywords: Modular Construction; Social Interest Housing; Industrialization; PBQP-H.

1 INTRODUÇÃO

Em vista do crescimento contínuo do Brasil, atrelado, entre outros fatores, ao crescimento da indústria da construção civil com novos métodos e tecnologias, cresce também a demanda por habitações de qualidade produzidas em menor tempo. Com isso, os sistemas convencionais estão sendo substituídos progressivamente por sistemas inovadores, como a construção modular.

O setor da construção civil globalmente busca, de forma crescente, métodos que ofereçam mais agilidade, maior previsibilidade de custos e um desempenho superior em sustentabilidade. Os modelos construtivos tradicionais, com seus longos cronogramas e inerente imprevisibilidade tornam-se menos competitivos neste cenário.

Todavia, a implementação da construção modular necessita estar sob um novo olhar, exigindo novos conhecimentos de projetos e modelos de negócios. Cabe ressaltar, no mesmo contexto, uma nova perspectiva e criatividade na projeção de arquiteturas que atendam às necessidades e facilitem a aceitação do produto, de modo a satisfazer diferentes clientes em suas demandas com opções diversificadas.

A construção modular é um conceito que está redefinindo o futuro da construção civil. É um processo de industrialização no qual as estruturas são fabricadas *off-site* (fora do canteiro de obras) ou em pistas dentro do canteiro em ambiente fabril controlado em forma de módulos ou painéis para posterior montagem final.

No tipo de produto modular objeto de estudo em tela, todas as atividades de fábrica e de produção de painéis são realizadas e entregues no canteiro de obras ou em uma fábrica construída no local em que serão montadas, restando apenas a fixação do edifício à fundação.

A construção modular apresentará vantagens no que diz respeito a um processo controlado e organizado de produção, integrando tecnologias e proporcionando, além disso, uma construção enxuta, reciclagem e reutilização de materiais, e redução de resíduos,

tornando-se uma abordagem mais sustentável e eficiente (Da Silva et al., 2024).

Uma construção modular possui diferentes etapas que definem o projeto, tais como a fabricação e montagem, logística, transporte, capacidade e percursos adequados para uma maior agilidade e pós-construção (uso e manutenção). Em vista disso, nota-se a importância de compreender as características que definem o projeto para a adoção e aceitação da construção modular.

O agrupamento de uma edificação modular pode ser classificado em diferentes níveis de desagregação hierárquica, ou seja, um produto pode ser dividido em partes, e essas partes, em subpartes (Rocha; Koskela, 2020).

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), será necessário investir cerca de dois trilhões de reais nos próximos dez anos para sanar o déficit habitacional. Todo esse investimento visa à construção de 6,26 milhões de unidades habitacionais necessárias em 2023, além das 6,6 milhões de unidades adicionais previstas até 2033 (CBIC, 2024). Apesar disso, o setor construtivo do país ainda apresenta sistemas que não contribuem com a economia e rapidez necessárias para tal demanda de déficit habitacional, o que não se mostra vantajoso para tamanho investimento.

Sob a ótica da sustentabilidade, a construção civil é responsável pela maior geração de resíduos sólidos no país pela falta de um descarte adequado e pela ausência de implementação de obras enxutas, como as modulares, o que acarreta impactos negativos em grande escala. Segundo o Portal de Educação Ambiental (Brasil, 2026), o Brasil produziu aproximadamente 48 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição em 2021.

A realidade do setor da construção civil brasileiro motivou o surgimento do PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat), que é utilizado nas construções modulares. O PBQP-H foi instituído pelo Ministério do Planejamento e Orçamento através da Portaria nº 134, de 18 de dezembro de 1998, do Governo Federal. É um programa que consiste em um conjunto de sistemas:

Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil – SiAC; Sistema de Qualificação de Empresas de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos – SiMaC; e Sistema Nacional de Avaliação Técnica – SiNAT (Rocha; Koskela, 2020). Esses sistemas se conectam diretamente neste trabalho para a modernização no setor da construção e redução do déficit habitacional brasileiro. O PBQP-H tem como objetivo apoiar a modernização, promovendo maior produtividade do setor da construção habitacional juntamente com a redução de resíduos, com vistas a aumentar a competitividade de bens e serviços por ele produzidos (Brasil, 2021).

Diante desse panorama, o presente artigo objetiva analisar a aplicação de estruturas pré-moldadas com o sistema construtivo inovador “Casa Express”, através de pesquisas bibliográficas que foram utilizadas como embasamento teórico para a realização do artigo. Consideram-se aspectos como custo, tempo de execução, logística, durabilidade e sustentabilidade, justificando-se pela necessidade de soluções adaptadas às condições locais capazes de impulsionar o desenvolvimento urbano com eficiência, promovendo melhorias significativas na infraestrutura e na qualidade de vida da população.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Habitação de Interesse Social (HIS)

A moradia, no Brasil, retrata uma das principais disparidades sociais, sendo as famílias de baixa renda as mais afetadas. Mesmo com os avanços dos programas habitacionais, o país ainda enfrenta um déficit significativo. O crescimento das cidades sem o devido planejamento urbano e a insuficiência de políticas habitacionais, resultou em expansão dessa população de menor poder aquisitivo nas zonas periféricas. Diante disso, é de suma importância intensificar os estudos para ampliar o acesso à moradia digna por meio de novas soluções construtivas capazes de reduzir prazos e custos.

Por meio do Programa Minha Casa, Minha Vida tem sido possível observar a redução do déficit habitacional. O programa, que teve início em 2009 sob a gestão do Governo Federal, subsidia a aquisição da casa ou apartamento próprio para famílias com renda de até 1,8 mil reais (na época de sua criação). Vale destacar que a Emenda Constitucional nº 26/2000 incluiu o direito à moradia no art. 6º da Constituição da República. Ademais, em cumprimento aos artigos 182 e 183 da mesma Carta Magna, foi promulgada a Lei nº 10.257 de 2001 (o Estatuto da Cidade), responsável por instituir as diretrizes de execução das políticas públicas habitacionais do país (Brasil, 2023).

No ano de 2017, o Programa Minha Casa, Minha Vida sofreu algumas mudanças importantes. Inicialmente, o programa teve a inclusão da chamada "Faixa 1,5", intermediária entre as faixas 1 e 2. O programa também apresentou mudanças na renda máxima das faixas 1,5 e 2, aumentando o teto para até R\$ 2.600,00 na Faixa 1,5 e até R\$ 4.000,00 na Faixa 2.

Posteriormente, no ano de 2021, a iniciativa passou a se chamar Programa Casa Verde e Amarela, proporcionando avanços no combate ao déficit habitacional por atuar em diversas frentes. Além da produção de casas e apartamentos, o escopo passou a incluir regularização fundiária, melhoria de residências e outras ações pontuais, como a locação social.

Em 2023, a nomenclatura "Minha Casa, Minha Vida" retornou trazendo novas faixas de renda e foco em moradias gratuitas para beneficiários do Bolsa Família ou do BPC (Benefício de Prestação Continuada). Além disso, o novo formato trouxe uma série de melhorias como o aprimoramento das especificações dos imóveis, o aumento do limite máximo de renda para a Faixa 1, taxas de juros mais baixas e ampliação do subsídio. A qualidade de vida das famílias tornou-se prioridade, de modo que os imóveis contratados a partir de então passaram a ser projetados com varanda nos apartamentos, ganchos para redes e estrutura prevista para a instalação de ar-condicionado (Brasil, 2023). O programa também prioriza mulheres chefes de família, idosos e pessoas com deficiência, além de oferecer condições especiais para moradores das regiões Norte e Nordeste. Conforme figura 1.

Figura 1 – Linha do Tempo dos Governos



Fonte: Adaptado pelos autores, com base em Brasil, 2023.

2.2 Inovação Tecnológica na Construção Civil: Sistemas modulares e pré-fabricados

A construção modular funciona basicamente com a produção de módulos prontos feitos em fábrica seguindo um padrão, depois são levados para montagem. Já a alvenaria convencional segue o modelo mais tradicional, com execução de pilares e vigas em concreto armado e o fechamento feito com blocos cerâmicos.

De acordo com Santos et al. (2021), o desenvolvimento de novas tecnologias alternativas de construção mais rápidas, mais baratas e com mais qualidade, vem impondo muitas mudanças no cenário da indústria da construção civil, principalmente no que diz respeito à eficiência produtiva.

A construção civil é um setor que evolui constantemente, isso ocorre devido a crescente industrialização, seja ela de materiais ou de sistemas construtivos. Para isso, novas tecnologias aprimoram a

gestão e organização dos serviços, aumentando a produção e desempenho da atividade construtiva de forma geral. Nesse sentido, o modelo convencional de alvenaria apresenta gargalos técnicos estruturais que o próprio método é incapaz de solucionar, como a elevada taxa de retrabalho gerada pela necessidade de danificar paredes para instalações hidráulicas e elétricas, a falta de padronização geométrica dos componentes e a variabilidade na dosagem de argamassas inviabilizam a previsibilidade exata de insumos, perpetuando o histórico de perdas e desperdícios que caracteriza os canteiros tradicionais.

2.3 Sistema Construtivo Casa Express: Características e desempenho

O sistema construtivo Casa Express traz uma proposta para inovar o setor. A adoção de componentes industrializados e processos racionalizados tem o objetivo de reduzir prazos de construção, minorar desperdícios e garantir a qualidade final da obra. Apesar disso, o estudo dos benefícios práticos em habitações sociais ainda é pouco aprofundado, sobretudo quando comparado aos modelos tradicionais de edificação.

Trata-se de um sistema que tem como base a fabricação de painéis pré-moldados nos quais se integram a alvenaria e as instalações diretamente na linha de produção, a fim de reduzir o tempo de execução em canteiro e minimizar os resíduos. Além disso, sua fabricação é feita *in-loco*. Segundo Marques e Schmitz (2022), os sistemas pré-fabricados apresentam redução significativa no tempo de execução da obra, principalmente nas etapas de revestimentos, demonstrando potencial para superar as limitações dos sistemas predominantes no Brasil, como a alvenaria convencional. Assim, o sistema construtivo Casa Express surge como uma alternativa viável para a produção de Habitações de Interesse Social (HIS).

Segundo Barbosa e Ferreira (2020), é preciso considerar que a realidade da construção civil brasileira ainda é marcada por forte dependência de métodos convencionais, muitas vezes pouco eficientes em termos de produtividade e sustentabilidade. Nesse contexto,

analisar a viabilidade de alternativas como o Casa Express é também uma forma de contribuir para o desenvolvimento tecnológico e incentivar a modernização do setor.

Ao destacar as vantagens e limitações do sistema Casa Express, torna-se possível propor melhorias construtivas para sua futura adoção em programas habitacionais. O aperfeiçoamento de inovações construtivas nesse segmento pode significar o fortalecimento do direito à moradia digna e, conseqüentemente, a minoração das desigualdades sociais.

A Construção Modular (CM) vem sendo amplamente estudada por sua capacidade de reorganizar o fluxo de trabalho em obras, pois o processo de execução ocorre por meio de peças individuais produzidas de forma padronizada conforme as necessidades da edificação e montadas no local (Jorge, 2021). A repetitividade desse processo otimiza o tempo de execução resultando em expressivos ganhos de produtividade. Os sistemas modulares são altamente flexíveis, sustentáveis e oferecem uma execução rápida, tornando-se a escolha ideal para projetos que demandam agilidade e personalização (Silva et al., 2024).

Quanto a prazos e custos, o sistema construtivo Casa Express otimiza o cronograma físico financeiro, pois em edificações tradicionais as etapas da construção seguem uma sequência rígida, onde a alvenaria e os acabamentos dependem da cura e da conclusão das fundações e estruturas. Essa característica estende o cronograma físico e dilui os desembolsos financeiros ao longo de meses, causando ao orçamento riscos inflacionários e flutuações de preços de insumos.

A lógica industrial da construção modular utiliza a paralelização de atividades, como por exemplo, enquanto as obras de infraestrutura e preparação do terreno ocorrem no canteiro de obras, a fabricação das estruturas e painéis modulares se desenvolve simultaneamente em ambiente fabril controlado. Essa sobreposição de processos resulta em uma compressão significativa do cronograma físico total, pois reduz o tempo de entrega da obra.

Embora o sistema modular demande de um capital inicial mais concentrado para a produção de painéis, o retorno sobre o investimento

e a mitigação de custos indiretos como manutenção de canteiro, vigilância e locação de equipamentos compensam essa característica. Além disso, a previsibilidade fabril elimina os aditivos decorrentes de desperdícios e atrasos climáticos garantindo que o cronograma financeiro seja cumprido, fator indispensável para seguir o orçamento rígido de programas de habitação social.

Quanto à eficiência, o controle tecnológico do sistema construtivo Casa Express ganha ainda mais relevância frente às diretrizes atualizadas da ABNT NBR 15575:2024. A norma reforça as exigências aos critérios de desempenho estrutural, segurança ao fogo, desempenho térmico e acústico, estabelecendo parâmetros ainda mais rigorosos para garantir as condições de habitabilidade e durabilidade ao longo da vida útil de projeto. No Residencial Campo Bello, o ambiente industrializado e a precisão técnica dos ensaios laboratoriais diários foram fundamentais para mitigar as variabilidades características dos canteiros tradicionais, elevando a qualidade das Habitações de Interesse Social.

Dessa forma, o emprego da construção modular industrializada não apenas assegura o cumprimento do teto orçamentário e a celeridade exigidos pelo Programa Minha Casa, Minha Vida, mas garante a conformidade irrestrita com os novos requisitos mínimos de desempenho estipulados pela regulamentação técnica nacional vigente, elevando o patamar de qualidade das Habitações de Interesse Social (HIS)."

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Procedimentos Metodológicos

A pesquisa foi desenvolvida com uma abordagem qualitativa e descritiva, com o objetivo de analisar a aplicação do sistema construtivo Casa Express em Habitações de Interesse Social (HIS), buscando

compreender suas principais características, vantagens e limitações em relação aos métodos construtivos convencionais.

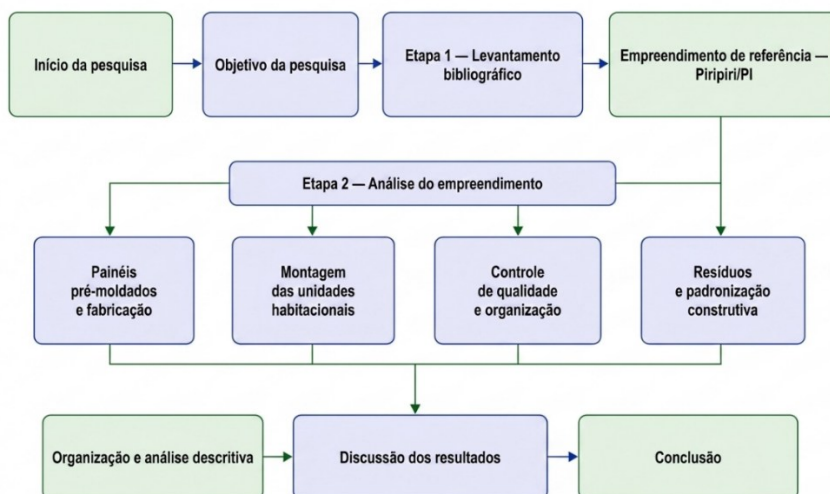
Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico relacionado à construção modular, aos sistemas pré-fabricados e às Habitações de Interesse Social (HIS). Essa etapa teve como finalidade reunir o embasamento teórico necessário sobre o funcionamento do sistema Casa Express, bem como compreender o panorama atual de inovação tecnológica no setor da construção civil.

Além da pesquisa bibliográfica, foi realizada a análise de um empreendimento habitacional localizado no município de Piri-piri – PI, executado com a utilização do sistema construtivo Casa Express. O empreendimento é composto por 256 unidades habitacionais vinculadas à Faixa 1 do Programa Minha Casa, Minha Vida, servindo como referência prática para observar a aplicação real desse sistema construtivo em obras de habitação social.

Durante o acompanhamento do empreendimento, observaram-se os aspectos relacionados ao processo de fabricação dos painéis pré-moldados, à organização da produção *in-loco*, ao processo de montagem das unidades habitacionais e ao controle de qualidade adotado no canteiro. Também foram considerados fatores práticos como a produtividade da equipe, a padronização das etapas construtivas e a redução de resíduos gerados ao longo da obra.

As informações obtidas foram organizadas e analisadas de forma descritiva, permitindo identificar como o sistema construtivo Casa Express contribui para o incremento da produtividade, o rigor no controle de qualidade e a redução do cronograma físico da obra. Conforme sistematizado no fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos



Fonte: Próprios autores, 2026.

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise prática do objeto de estudo confirma que a Construção Modular (CM) atua de forma disruptiva na reorganização do fluxo produtivo no canteiro de obras. Ao transferir a execução de elementos estruturais para processos padronizados e repetitivos, o sistema mitiga gargalos históricos da construção tradicional e viabiliza ganhos de escala substanciais impulsionando a eficiência e a agilidade do cronograma (Jorge, 2021).

No caso do sistema Casa Express, a inovação reside na manufatura de painéis pré-moldados que já integram as infraestruturas de alvenaria e instalações elétricas e hidráulicas na própria linha de produção. Essa integração minimiza significativamente as perdas por quebras e retrabalhos comuns em sistemas convencionais, falta de padronização geométrica dos componentes, a variabilidade na dosagem de argamassas que dificultam a previsibilidade de insumos, validando

a premissa de Marques e Schmitz (2022) sobre a redução do tempo de execução, especialmente nas frentes de acabamento e revestimento.

Como reflexo prático desse avanço tecnológico, destaca-se o empreendimento residencial estudado na cidade de Piripiri - PI. As 256 unidades habitacionais que estão sendo executadas pertencem à Faixa 1 do Programa Minha Casa, Minha Vida. Compreender os critérios dessa faixa é fundamental, visto que ela delimita o público de menor poder aquisitivo e concentra os maiores subsídios governamentais, exigindo do construtor o máximo de eficiência térmica, acústica e de custos para viabilizar as unidades dentro do teto orçamentário do programa.

Atualmente, a Faixa 1 do programa abrange famílias com renda bruta familiar de até R\$ 3.200,00 mensais. Nessa categoria, os beneficiários contam com taxas de juros reduzidas e subsídios habitacionais significativos que facilitam o acesso à moradia própria (Tenda, 2024). Conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1 - Faixas Minha Casa, Minha Vida

Faixa de Renda	Renda Bruta Familiar	Limite do Valor do Imóvel
Faixa 1	Até R\$ 3.200,00	Até R\$ 275 mil
Faixa 2	De R\$ 3.200,01 Até R\$ 5.000,00	Até R\$ 275 mil
Faixa 3	De R\$ 5.000,01 Até R\$ 9.600,00	Até R\$ 400 mil
Faixa 4	De R\$ 9.600,01 Até 13.000,00	Até R\$ 600 mil

Fonte: Adaptado pelos autores (2026).

Em apenas seis meses de trabalho no Residencial Campo Bello, mais de 150 unidades habitacionais foram fabricadas e montadas, incluindo a execução das lajes térreas e superiores. Esse volume representa mais de 50% do cronograma de montagem concluído. Tal

desempenho valida a velocidade do processo modular frente à alvenaria convencional, garantindo uma entrega acelerada por meio da padronização rigorosa das etapas de trabalho. Conforme Quadro 2 e na imagem aérea da Figura 3.

Quadro 2 - Comparação: Sistema Convencional x Sistema Modular

Critério	Sistema Convencional (SINAPI 2026)	Sistema Modular (Obra Estudada)	Ganho Obtido
Método construtivo	Alvenaria convencional	Painéis pré-moldados de concreto	—
Produtividade média da equipe	0,85 h/m²	0,42 h/m²	50,6%
Tempo estimado para execução de 50% das unidades	12 meses	6 meses	50% de redução no tempo por m²
Desperdício de materiais	Elevado	Reduzido	Aprox. 25% menor
Controle de qualidade	Executado em campo	Produção industrializada	Superior
Previsibilidade de custos	Média	Alta	Melhor controle
Custo de mão de obra por dia	R\$ 22,50/dia	R\$ 11,25/dia	Economia de 50%

Fonte: Adaptado do SINAPI (2026), dados da obra estudada e elaboração dos autores, 2026.

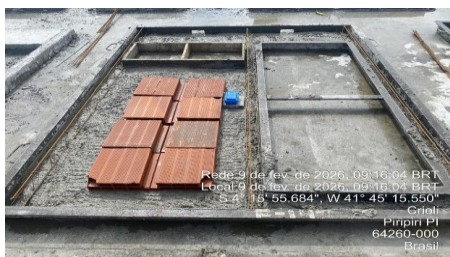
Figura 3 - Vista Aérea Residencial Campo Bello



Fonte: Próprios autores, 2026.

O ritmo de produção da obra seguiu um padrão linear de dois apartamentos fabricados e montados diariamente. Um ponto social relevante é que as atividades da fábrica de pré-moldados não exigem, inicialmente, mão de obra altamente especializada. Isso possibilitou a contratação e a absorção de trabalhadores da própria região de Piripiri-PI, impulsionando a economia local e gerando emprego e renda imediatos, conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5.

Figuras 4 e 5 - Fábrica de Painéis



Fonte: Próprios autores, 2026.

O sistema Casa Express sobressai-se também pelos níveis de desempenho estrutural, térmico e acústico, uma vez que a produção industrializada permite um controle geométrico e de dosagem de materiais muito superior ao método tradicional (Silva et al., 2024).

Para assegurar esses parâmetros, o controle laboratorial atua como pilar de sustentação do projeto. A obra do Residencial Campo Bello conta com um laboratório próprio montado no canteiro, onde são realizados ensaios diários de compressão e verificação de resistência dos painéis antes que estes sejam liberados para a montagem em campo, garantindo total segurança estrutural, de acordo com as Figuras 6 e 7.

Figuras 6 e 7 – Laboratório do Residencial Campo Bello



Fonte: Próprios autores, 2026.

A substituição dos processos manuais de assentamento de blocos e reboco pelo sistema de montagem com caminhão munck utilizando conexões soldadas e preenchimento com graute, transformou a dinâmica do canteiro de obras. Esta transição tecnológica não gerou desemprego, pelo contrário, demandou o treinamento prático da força de trabalho local. Desse modo, operários antes não qualificados foram capacitados através de uma monitoria presente em obra durante toda a fabricação e montagem exigida pelas diretrizes de construções de Habitações de Interesse Social, para operar novas ferramentas e funções industriais, promovendo inclusão social, conforme evidenciado nas Figuras 8 e 9.

Figuras 8 e 9 – Grauteamento e Montagem



Fonte: Próprios autores, 2026.

Quanto às questões ambientais, a fabricação padronizada dos painéis reduziu drasticamente o volume de entulho e desperdício de insumos comumente observados em obras de alvenaria. Em um cenário global que exige responsabilidade ecológica, a construção modular se destaca como uma alternativa sustentável. Dados do setor indicam que sistemas industrializados geram, em média, 25% menos resíduos sólidos, aliviando o impacto ambiental local e diminuindo custos com transporte e descarte de caçambas (Ntcbrasil, 2025).

No que diz respeito aos custos, a alta previsibilidade das etapas fabris e de montagem permite um controle rigoroso do fluxo financeiro. Adicionalmente, despesas indiretas com aluguel prolongado de equipamentos, retrabalhos e desperdícios são severamente reduzidos, acelerando o retorno sobre o investimento (Inbec, 2024). Embora o transporte logístico dos módulos até o local definitivo represente um custo inicial relevante, a economia gerada pela velocidade de execução e ausência de desperdícios compensa plenamente essa despesa (Ecoprax, 2024).

Em suma, a execução de Habitações de Interesse Social (HIS) por vias industrializadas otimiza o tempo e entrega agilidade, previsibilidade e segurança (Oliveira, 2022). O controle tecnológico eleva o padrão normativo da habitação social, equiparando-a a padrões de mercados de alto desempenho. Vale ressaltar que, após a entrega, os usuários finais passam a ter a responsabilidade pelo uso correto e pela manutenção preventiva da edificação, os quais devem seguir estritamente as diretrizes da norma técnica ABNT NBR 5674 (Manutenção de Edificações).

4 Considerações Finais

O setor construtivo nacional ainda é predominantemente marcado por modelos convencionais que, embora apresentem uma utilização superior às demais alternativas, manifestam limitações severas relacionadas a prazos, desperdícios e produtividade.

Diante desse cenário, o presente estudo buscou analisar a viabilidade e o impacto da inserção da construção modular no desenvolvimento de Habitações de Interesse Social (HIS), tomando como referência empírica a realidade socioeconômica e habitacional do município de Piripiri - PI. A partir das análises realizadas na introdução, no referencial teórico e no tratamento dos resultados práticos, foi possível consolidar importantes conclusões acerca do tema.

A pesquisa confirmou que os métodos tradicionais de construção civil estão gradativamente saturados diante das urgências de prazos e custos do mercado atual. A transição para sistemas construtivos industrializados e montados em campo provou ser não apenas uma inovação tecnológica, como também uma necessidade estratégica para alcançar metas de sustentabilidade, redução de resíduos e máxima eficiência predial.

Os objetivos específicos delineados para este estudo foram integralmente alcançados. A revisão da literatura e a análise documental evidenciaram que a transição para sistemas industrializados não apenas otimiza o tempo de execução, mas introduz um padrão superior de controle de qualidade e previsibilidade de custos.

No cenário prático de Piripiri-PI, sob o aspecto socioeconômico e tecnológico, a pesquisa validou que a inovação não gerou desemprego no município, pelo contrário, o sistema absorveu a mão de obra local não qualificada e, por meio de monitoria e treinamento prático na fábrica de painéis instalada no próprio canteiro, promoveu a inclusão social e gerou emprego e renda imediatos na região. Além disso, o controle tecnológico rigoroso, sustentado por ensaios laboratoriais diários de compressão no canteiro, garantiu o atendimento estrito aos requisitos de desempenho e durabilidade exigidos pela atualização da ABNT NBR 15575:2024, elevando o patamar de qualidade da habitação social.

Sob a ótica do impacto social, a Construção Modular evidenciou um forte alinhamento com as diretrizes do Estatuto da Cidade e do Programa Minha Casa, Minha Vida. Ao estabelecer limites de custos e adequação para as faixas de renda familiar estudadas, como a Faixa

1, de até R\$ 3.200,00 , o sistema modular minimiza os riscos de ultrapassagem de custos e atrasos crônicos, garantindo o direito à moradia digna de forma significativamente mais acelerada.

Apesar das vantagens explícitas em termos de velocidade e controle de qualidade, o estudo também identificou obstáculos importantes. O principal desafio reside na necessidade de capacitação contínua da mão de obra local para a montagem e fixação dos painéis, além da superação do preconceito cultural que ainda associa construções industrializadas a uma errônea percepção de "baixa durabilidade".

Por fim, os dados coletados validam a construção modular como uma alternativa altamente viável e recomendada para o planejamento urbano e habitacional da região de Piripiri. Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se a realização de uma análise detalhada do ciclo de vida pós-ocupação dessas habitações modulares e o desenvolvimento de estudos de viabilidade econômica comparativos diretos com a alvenaria convencional de blocos cerâmicos na mesma localidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5674:2024: manutenção de edificações – requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. Acesso em 19 de mai. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. Acesso em 12 de mai. 2026.

BARBOSA, F. R.; FERREIRA, L. A. **Inovações construtivas aplicadas à habitação de interesse social: desafios e perspectivas**. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v. 5, n. 2, p. 45-59, 2020. Acesso em 14 de nov. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação. **Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e**

Sistemas Convencionais – SiNAT. Brasília, DF, 2023. Disponível em: http://cics.prp.usp.br/wp-content/uploads/2016/11/SiNAT_MCidades-CICS_USP.pdf. Acesso em: 26 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H).** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/perguntas-frequentes-pbqp-h>. Acesso em: 26 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Educação Ambiental.** Brasília, DF: MMA, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/educacao-ambiental>. Acesso em: 16 jun. 2026.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Investimentos necessários para o equacionamento do déficit habitacional e da infraestrutura nas cidades brasileiras.** Brasília: CBIC, 2024. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2024/04/apresentacao-investimentos-equacionamento-deficit-habitacional-infraestrutura.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2026.

DA SILVA, Nathalia Luisa França et al. **Sistemas construtivos:** pré-moldados e modulares. Ciência iguazu, v. 2, n. 6, pág. 57-58, 2024. Acesso em: 12 de nov. 2025.

ECCOPRAX. **Custos da construção modular:** vale a pena o investimento? Disponível em: <https://eccoprax.com.br/custos-da-construcao-modular-vale-a-pena-o-investimento/>. Acesso em: 16 jun. 2026.

INBEC. **Inovações na construção modular.** Disponível em: <https://inbec.com.br/blog/inovacoes-construcao-modular>. Acesso em: 16 jun. 2026.

JORGE, Liliam Pederneiras; RAVACHE, Rosana Lia. **Construção modular pré-fabricada, o futuro da arquitetura no Brasil.** CONNECTION LINE – REVISTA ELETRÔNICA DO UNIVAG, [S. l.], n. 24, 2021. DOI: 10.18312/connectionline.v0i24.1633. Disponível em: <https://periodicos.univag.com.br/index.php/CONNECTIONLINE/article/view/1633>. Acesso em: 15 nov. 2025.

MARQUES, Ramon; SCHMITZ, Rebeca Jéssica. **Comparativo de custos de construção de uma unidade de conjunto habitacional com uso de alvenaria estrutural e painéis pré-fabricados.** Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado, RS, v. 14, n. 4, 2022. DOI: 10.22410/issn.2176 3070.v14i4a2022.3271. Disponível em: <https://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/3271>. Acesso em: 15 nov. 2025.

NTC BRASIL. **Construção modular:** eficiência na construção civil. Disponível em: <https://www.ntcbrasil.com.br/blog/construcao-modular-eficiencia/>. Acesso em: 16 jun. 2026.

OLIVEIRA, Paulo Sérgio Ferreira de. **Construção modular:** startup apresenta sistema construtivo inovador e jornada do cliente disruptiva para o mercado imobiliário. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 1, p. 8305–8325, jan. 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n1-558. Disponível em: <https://www.arataumodular.com/app/wp-content/uploads/2022/06/Construcao-Modular-Startup-Apresenta-Sistema-Construtivo-Inovador-e-Jornada-do-Cliente-Disruptiva-para-o-Mercado-Imobiliario.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2025.

ROCHA, C. G. da; KOSKELA, L. **Why is product modularity underdeveloped in construction?** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION – IGLC, 28., 2020. Anais... [S.l.: s.n.], 2020. Acesso em: 15 nov. 2025.

SANTOS, J. P.; SOUZA, M. R. **Revisão de sistemas construtivos inovadores para habitação social no Brasil.** Revista Interdisciplinar de Ciências Aplicadas, v. 3, n. 18, p. 112-130, 2021. Acesso em: 14 nov. 2025.

SILVA, A. M. et al. **Estudo comparativo entre sistemas construtivos:** alvenaria convencional, paredes de concreto e wood frame. Revista Produção Online, v. 21, n. 3, p. 789-808, 2021.

TENDA. **Minha Casa Minha Vida Faixa 1:** veja quem pode participar e benefícios. 2024. Disponível em: <https://www.tenda.com/blog/minha-casa-minha-vida/minha-casa-minha-vida-faixa-1>. Acesso em: 05 jun. 2026.

CAPÍTULO 9

NOÇÕES SOBRE DIMENSIONAMENTO EM SITUAÇÃO DE IN- CÊNDIO

PRINCIPLES OF FIRE DESIGN FOR STRUCTURES

Sthéfany Moreira Roma

Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais
sthefany.roma@estudante.ufla.br

Julia Naves Teixeira

Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais
0000-0003-4908-5968
julianavest@gmail.com

Maykmiller Carvalho Rodrigues

Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais
maykmiller.rodrigues@ufla.br

Ticyane Pereira Freire Sabino

Universidade Edson Antônio Velano
Alfenas – Minas Gerais
0000-0003-3169-8950
ticyanefreire@gmail.com

Isabelle Cristine de Carvalho Terra

Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais
0000-0002-8063-3582
belle.eng@outlook.com

Renata Costa Terra

Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais
terra.renata@hotmail.com

Marcos Abdo Sâmia
Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais
Marcosasamia62@gmail.com

RESUMO

Analisar os principais conceitos relacionados ao dimensionamento de estruturas metálicas em situação de incêndio, abordando o comportamento do aço em altas temperaturas, as diretrizes da NBR 14323 e as estratégias de proteção. Metodologia: Realizou-se uma revisão analítica e conceitual baseada em métodos de verificação normativa, que incluem abordagens simplificadas e modelos avançados de elementos finitos para avaliação do balanço térmico e integridade dos perfis estruturais expostos ao fogo. Resultados: Evidenciou-se que o aço sofre perda drástica de rigidez e resistência mecânica a partir de 400 °C, reduzindo a menos de 50% de sua capacidade aos 600 °C; ademais, o mapeamento do fator de massividade e a aplicação sinérgica de sistemas de proteção passiva (tintas intumescentes e argamassas projetadas) e ativa (sprinklers) retardam de forma eficaz o alcance da temperatura crítica de colapso. Conclusão: A integração correta entre os critérios de cálculo normativos da NBR 14323 e a especificação de sistemas de proteção contra incêndio é indispensável para mitigar a vulnerabilidade mecânica do material, garantindo a estabilidade estrutural das edificações e a segurança da vida humana.

Palavras-chave: Estruturas metálicas; Comportamento do aço; ABNT NBR 14323; Proteção passiva; Engenharia de incêndio.

ABSTRACT

This study analyzes the main concepts related to the fire design of steel structures, addressing the behavior of steel at elevated temperatures, the guidelines of the ABNT NBR 14323 standard, and fire protection strategies. Methodology: An analytical and conceptual review was conducted based on normative verification methods, which include simplified approaches and advanced finite element models to evaluate the thermal balance and structural integrity of steel members exposed to

fire. Results: It was evidenced that steel undergoes a drastic loss of stiffness and mechanical strength starting at 400 °C, reducing to less than 50% of its capacity at 600 °C; furthermore, the mapping of the section factor (massivity factor) and the synergetic application of passive (intumescent paints and sprayed fire-resistive materials) and active (sprinklers) protection systems effectively delay reaching the critical collapse temperature. Conclusion: The correct integration between the design criteria of the NBR 14323 standard and the specification of fire protection systems is essential to mitigate the material's mechanical vulnerability, ensuring the structural stability of buildings and human life safety. **Keywords:** Steel structures; Behavior of steel; ABNT NBR 14323; Passive protection; Fire engineering.

1. Introdução

O crescimento da utilização de estruturas metálicas na construção civil ocorreu de maneira significativa nas últimas décadas em razão das vantagens oferecidas pelo aço, como elevada resistência mecânica, rapidez na execução, redução do peso próprio das estruturas e maior flexibilidade arquitetônica. Em edificações industriais, comerciais e galpões metálicos, o emprego do aço tornou-se cada vez mais frequente devido à eficiência construtiva e à racionalização dos processos executivos de engenharia.

Apesar das inúmeras vantagens, as estruturas metálicas apresentam elevada vulnerabilidade quando submetidas à ação direta do fogo. Durante um incêndio, as temperaturas ambientais podem atingir facilmente valores superiores a 800 °C, provocando modificações importantes e destrutivas nas propriedades físicas e mecânicas do aço. Dessa forma, a estabilidade estrutural global da edificação pode ser severamente comprometida em poucos minutos caso não existam sistemas adequados de proteção.

O comportamento do aço em altas temperaturas representa uma das principais preocupações da engenharia estrutural contemporânea. Diferentemente do concreto, o aço possui uma elevada condutividade térmica, o que favorece o rápido e uniforme aquecimento dos elementos

estruturais expostos. À medida que a temperatura interna do perfil aumenta, ocorre uma drástica redução da resistência mecânica e do módulo de elasticidade do material, resultando em deformações excessivas e iminente colapso.

Nesse contexto, as normas técnicas desempenham um papel fundamental na definição de critérios claros e seguros para o dimensionamento estrutural em situação de sinistro. No cenário brasileiro, a ABNT NBR 14323 estabelece os procedimentos para o projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios submetidas à ação do fogo, definindo métodos simplificados de cálculo e critérios de segurança para a avaliação analítica da resistência remanescente da estrutura.

Além dos critérios matemáticos de dimensionamento, a engenharia de proteção contra incêndio também contempla a adoção de sistemas complexos de proteção passiva e ativa. Entre as principais medidas passivas, destacam-se a utilização de tintas intumescentes, argamassas

projetadas e placas de proteção térmica. Já os sistemas ativos incluem a instalação de chuveiros automáticos do tipo sprinklers, detectores de fumaça, hidrantes e alarmes automáticos, que operam em conjunto no controle e combate inicial ao fogo.

O presente trabalho tem como objetivo analisar os principais conceitos relacionados ao dimensionamento de estruturas metálicas em situação de incêndio, abordando o comportamento do aço em altas temperaturas, os critérios normativos estabelecidos pela NBR 14323 e as estratégias de proteção contra incêndio utilizadas para garantir a segurança estrutural das edificações.

2. Desenvolvimento

2.1 Comportamento do aço em altas temperaturas

Os incêndios estruturais representam um dos riscos mais complexos associados às edificações urbanas e industriais

contemporâneas, demandando análises aprofundadas sobre a carga de incêndio e a ventilação do ambiente (SILVA, 2018). O aumento progressivo da temperatura ambiente atua diretamente sobre o comportamento dos materiais, promovendo um rápido aquecimento das seções transversais de aço devido à sua elevada condutividade térmica, o que acelera significativamente os processos de degradação estrutural e reduz a capacidade de carga dos perfis expostos (KODUR, 2015). Essa resposta térmica acelerada diferencia o aço de outros materiais de construção, tornando o estudo do incêndio estrutural indispensável para prever cenários de colapso repentino em galpões e edifícios comerciais de grande porte (COSTA; SILVA, 2019).

Particularmente em galpões industriais, a grande concentração de materiais combustíveis associada à presença de extensos vãos livres eleva a gravidade das consequências de um incêndio estrutural (MOURA, 2021). Sob a ação de temperaturas severas, pilares metálicos delgados sofrem o fenômeno da flambagem térmica e as vigas principais apresentam flechas e deformações excessivas, inviabilizando a estabilidade do conjunto (WANG, 2016). Diante disso, os projetos de engenharia civil devem obrigatoriamente prever um tempo mínimo de resistência estrutural que assegure a evacuação segura de todos os ocupantes e forneça condições operacionais mínimas para o combate direto ao fogo pelas equipes de socorro (BUCHANAN; ABU, 2017).

Para fundamentar as predições de falhas, o estudo das propriedades térmicas do aço é o primeiro passo para modelar analiticamente a velocidade de aquecimento dos elementos, englobando variáveis como o calor específico e a dilatação térmica (LIMA; SOUZA, 2020). À medida que o calor se propaga pelo perfil metálico, a expansão longitudinal do material gera esforços internos adicionais de compressão quando as extremidades da barra encontram-se rigidamente restritas pela estrutura adjacente (SILVA, 2018). Esse surgimento de esforços secundários não previstos para a temperatura ambiente acentua o risco de instabilidade geométrica, alterando severamente a distribuição de forças nos nós e conexões da edificação (WANG, 2016).

As alterações físicas que ocorrem no material são acompanhadas por modificações microestruturais internas que afetam diretamente a condutividade e a capacidade de armazenamento térmico do aço em temperaturas elevadas (KODUR, 2015). Vigas e pilares que possuem baixa espessura de parede sofrem uma elevação térmica quase instantânea, alcançando patamares críticos em poucos minutos de exposição direta aos gases aquecidos do incêndio (OLIVEIRA, 2022). Desse modo, o mapeamento exato da variação das propriedades térmicas do material em função do tempo fornece os subsídios numéricos necessários para a aplicação correta das equações de transferência de calor preconizadas pelas normativas vigentes (COSTA; SILVA, 2019).

Simultaneamente ao ganho de temperatura, ocorre a degradação severa das propriedades mecânicas do aço, afetando parâmetros vitais como o limite de escoamento, a resistência última à tração e o módulo de elasticidade (BUCHANAN; ABU, 2017). Ao atingir a marca histórica de 400 °C, o aço estrutural já manifesta perdas mensuráveis em sua capacidade portante, cenário que se agrava drasticamente por volta dos 600 °C, patamar no qual restam menos de 50% de sua rigidez e resistência mecânica originais (SILVA, 2018). A redução contínua do módulo de elasticidade faz com que os elementos percam rigidez de forma acelerada, propiciando o surgimento de grandes deslocamentos que aceleram a ruína mecânica (LIMA; SOUZA, 2020).

Além dos elementos isolados de barras, las ligações parafusadas e soldadas que unem os componentes da estrutura sofrem uma perda de capacidade resistente igualmente acelerada quando submetidas ao calor (OLIVEIRA, 2022). O conceito de temperatura crítica define com precisão o momento exato em que a resistência residual da peça metálica se iguala aos esforços solicitantes atuantes combinados para a situação de incêndio (COSTA; SILVA, 2019). Portanto, compreender as curvas de redução dos parâmetros mecânicos do aço constitui o pilar central para que os projetistas consigam calcular com margem de segurança adequada os fatores de

redução de resistência exigidos pela engenharia de segurança contra incêndio (KODUR, 2015).

2.2 Métodos de dimensionamento e verificação normativa (NBR 14323)

A normatização brasileira voltada para a segurança de estruturas metálicas sob altas temperaturas é centralizada na ABNT NBR 14323, documento que estipula os métodos de verificação e os critérios de segurança baseados nos estados limites últimos (ABNT, 2013). O foco principal dessa regulamentação é assegurar que a edificação preserve sua capacidade portante por um período mínimo, impedindo o colapso estrutural precoce e mitigando os riscos de sinistros em cadeia (SILVA, 2018). O dimensionamento considera condições excepcionais de carregamento, permitindo que as verificações garantam a integridade física do sistema estrutural durante as ações térmicas severas provenientes do incêndio padronizado (OLIVEIRA, 2022).

Um dos parâmetros fundamentais definidos pela legislação é o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), cujo valor regulamentado varia de acordo com a altura do edifício, o tipo de ocupação e a carga de incêndio estimada para o local (ABNT, 2001). Nas combinações de ações para a situação de incêndio, a norma permite a redução de parte dos coeficientes de ponderação das cargas variáveis, fundamentada na baixíssima probabilidade de ocorrência simultânea de uma sobrecarga máxima de utilização com um incêndio generalizado (COSTA; SILVA, 2019). Essa diferenciação nos fatores de segurança torna o projeto economicamente viável sem comprometer a confiabilidade da resposta estrutural (OLIVEIRA, 2022).

Para que a verificação normativa seja realizada com precisão, é imperativo determinar previamente a evolução da temperatura nos elementos de aço ao longo do tempo de exposição ao fogo (LIMA; SOUZA, 2020). A NBR 14323 adota modelos simplificados baseados na curva de incêndio padrão ISO 834, que simula o crescimento térmico

contínuo do ambiente em um ensaio de laboratório padronizado (ABNT, 2013). A resposta térmica do perfil metálico dependerá fundamentalmente do seu fator de massividade, indicador que relaciona a área do perímetro exposta ao calor com o volume total de aço da seção transversal analisada (SILVA, 2018).

Seções transversais delgadas e com altos fatores de massividade apresentam taxas de aquecimento extremamente elevadas, demandando a aplicação compulsória de revestimentos de proteção para desacelerar o fluxo de calor em direção ao núcleo de aço (MOURA, 2021). O cálculo do balanço térmico normativo permite quantificar o atraso na elevação da temperatura do perfil promovido por essas barreiras isolantes, auxiliando na especificação exata da espessura necessária do material protetor (KODUR, 2015). Desse modo, o procedimento analítico de mapeamento de temperaturas consolida-se como uma etapa intermediária obrigatória que antecede a checagem das capacidades mecânicas redimensionadas (LIMA; SOUZA, 2020).

Os métodos de cálculo disponibilizados pela NBR 14323 dividem-se em abordagens analíticas simplificadas e formulações numéricas avançadas (ABNT, 2013). Os métodos simplificados consistem em equações algébricas diretas que ajustam as resistências nominais de temperatura ambiente através de fatores de redução calibrados experimentalmente para o aço aquecido (OLIVEIRA, 2022). Essas formulações práticas atendem à grande maioria dos projetos de engenharia de rotina devido à celeridade de aplicação e dispensa de softwares de alto desempenho computacional (BUCHANAN; ABU, 2017).

Por outro lado, quando o engenheiro se depara com grandes estruturas tridimensionais, galpões de geometria complexa ou efeitos não lineares acentuados, faz-se necessário o emprego de métodos avançados baseados em modelos de elementos finitos (WANG, 2016). Independentemente da metodologia selecionada, o critério de aceitação do projeto impõe que os esforços solicitantes atuantes na combinação de incêndio não superem, em hipótese alguma, a capacidade resistente reduzida dos elementos estruturais (COSTA;

SILVA, 2019). Nas checagens de pilares e vigas, atenção especial deve ser direcionada para os modos de falha por instabilidade, como a flambagem flexional e a flambagem lateral por torção, agravadas pela perda de rigidez do aço (SILVA, 2018).

2.3 Estratégias de proteção contra incêndio e análise de viabilidade

A aplicação de sistemas de proteção passiva configura-se como uma das estratégias mais eficientes e consolidadas para mitigar o aquecimento acelerado dos elementos de aço estrutural (MOURA, 2021). Esses sistemas isolantes atuam de maneira autônoma, sem depender de ativação mecânica ou elétrica, criando uma barreira física permanente contra a transferência de energia térmica (KODUR, 2015). Entre os materiais comerciais de maior destaque estão las tintas intumescentes, que reagem quimicamente expandindo seu volume original em dezenas de vezes ao atingirem temperaturas elevadas, gerando uma espuma carbonizada altamente isolante que preserva a geometria original dos perfis metálicos visíveis (SILVA, 2018).

Paralelamente às tintas de alto desempenho estético, as argamassas projetadas à base de fibras minerais ou gesso representam uma solução de proteção passiva de alta competitividade econômica, especialmente voltada para galpões fechados e áreas industriais onde o acabamento visual não é um requisito primário de projeto (MOURA, 2021). Existem também as placas rígidas de proteção térmica pré-fabricadas que envolvem os perfis de aço em formato de caixas, fornecendo uma excelente durabilidade e controle rigoroso da espessura do isolamento (BUCHANAN; ABU, 2017). A seleção correta entre esses materiais passivos impacta diretamente o tempo de resistência ao fogo obtido e o custo global de execução da superestrutura metálica (OLIVEIRA, 2022).

Complementando a segurança passiva, os sistemas de proteção ativa desempenham um papel vital focado na detecção precoce, supressão automática e combate direto às chamas antes que o incêndio atinja sua fase de pleno desenvolvimento (WANG, 2016). Os

chuveiros automáticos (sprinklers) destacam-se como os dispositivos ativos mais eficientes, liberando jatos de água localizados assim que os bulbos térmicos sensores rompem devido ao calor local, controlando o incêndio em seu estágio inicial (COSTA; SILVA, 2019). Esse resfriamento ativo do ambiente reduz drasticamente o teto de temperatura máxima alcançado pelos gases, evitando que os perfis metálicos atinjam suas respectivas temperaturas críticas de colapso (KODUR, 2015).

Ademais, as redes de detecção de fumaça e os alarmes sonoros integrados garantem o acionamento imediato dos protocolos de emergência, acelerando o tempo de resposta humana e permitindo que o abandono do local ocorra em segurança (BUCHANAN; ABU, 2017). O fornecimento de redes de hidrantes pressurizadas adequadamente dimensionadas assegura que o corpo de bombeiros disponha de recursos hídricos em pontos estratégicos para realizar o resfriamento preventivo das estruturas vizinhas ao foco do incêndio (ABNT, 2001). A engenharia de segurança moderna preconiza que a atuação sinérgica dos sistemas ativos preserve a integridade estrutural ao limitar severamente a severidade do incêndio real (SILVA, 2018).

A tomada de decisão técnica quanto à melhor estratégia de proteção exige o desenvolvimento de uma análise comparativa e de viabilidade que equilibre os custos iniciais de instalação com as demandas estéticas e funcionais da edificação (OLIVEIRA, 2022). Embora as tintas intumescentes apresentem custos de aquecimento e aplicação consideravelmente superiores aos das argamassas projetadas, seu uso é largamente justificado em shopping centers, aeroportos e edifícios comerciais de alto padrão por não interferirem no partido arquitetônico adotado (MOURA, 2021). Em contrapartida, galpões logísticos e plantas industriais de grande escala encontram na argamassa projetada a melhor relação de custo-benefício para atingir TRRFs elevados (LIMA; SOUZA, 2020).

Os investimentos em sistemas ativos de sprinklers também alteram a equação econômica, uma vez que a presença desse sistema automatizado de combate muitas vezes permite, perante as exigências normativas estaduais, a redução do TRRF exigido para a proteção

passiva complementar (COSTA; SILVA, 2019). Conclui-se que o desenvolvimento de um projeto de proteção otimizado requer uma avaliação holística e multidisciplinar, combinando fatores econômicos, facilidade de manutenção a longo prazo e os riscos patrimoniais envolvidos para se obter a máxima eficiência em segurança contra incêndio (SILVA, 2018).

3 Conclusão

O dimensionamento de estruturas metálicas em situação de incêndio representa uma etapa fundamental para garantir segurança, estabilidade estrutural e proteção da vida humana nas edificações. O estudo do comportamento do aço em altas temperaturas demonstra que o material sofre significativa redução de resistência mecânica e rigidez quando exposto ao fogo.

A análise realizada evidenciou a importância da ABNT NBR 14323 como principal referência normativa para o dimensionamento de estruturas metálicas em situação de incêndio no Brasil. Os critérios normativos permitem avaliar adequadamente os efeitos térmicos sobre os elementos estruturais e estabelecer condições mínimas de segurança.

Além dos critérios de cálculo, verificou-se que os sistemas de proteção passiva e ativa desempenham papel essencial na prevenção do colapso estrutural. Tintas intumescentes, argamassas projetadas, sprinklers e detectores de fumaça contribuem significativamente para o aumento da resistência ao fogo das edificações.

Dessa forma, conclui-se que a correta integração entre dimensionamento estrutural, verificação normativa e sistemas de proteção contra incêndio é indispensável para o desenvolvimento de edificações metálicas mais seguras, eficientes e compatíveis com as exigências atuais da engenharia de segurança contra incêndio.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14323**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

BUCHANAN, Andrew H.; ABU, Anthony K. **Structural Design for Fire Safety**. 3. ed. New York: Wiley, 2017.

COSTA, Carlos N.; SILVA, Valdir P. Segurança contra incêndio em estruturas metálicas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 455-478, 2019.

KODUR, Venkatesh. **Fire Resistance Design of Steel Structures**. New York: McGraw-Hill, 2015.

LIMA, Rafael C.; SOUZA, Marcos A. Análise térmica de estruturas metálicas em situação de incêndio. **Revista Engenharia Civil**, Belo Horizonte, v. 8, n. 2, p. 44-59, 2020.

MOURA, João Carlos. Proteção passiva contra incêndio em estruturas metálicas. **Revista Estruturas Metálicas**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 22-37, 2021.

OLIVEIRA, Thiago F. **Dimensionamento de estruturas metálicas em situação de incêndio conforme NBR 14323**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

SILVA, Valdir P. **Estruturas de aço em situação de incêndio**. São Paulo: Blucher, 2018.

WANG, Yong C. **Steel and Composite Structures: Behaviour and Design for Fire Safety**. London: Spon Press, 2016.

CAPÍTULO 10

O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO MONITORAMENTO E GESTÃO DE OBRAS

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MONITORING AND MANAGING CONSTRUCTIONS

João Gabriel de Moraes Oliveira

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri - PI

<https://orcid.org/0009-0003-2160-8859>

joao.higgs001@gmail.com

Wallison Gabriel Carvalho Gomes

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri - PI

<https://orcid.org/0009-0004-4330-9435>

wallyson7689@gmail.com

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri - PI

<https://orcid.org/0000-0002-4577-2173>

marcilio@chrisfapi.com.br

Domingos Sávio do Nascimento

Centro Universitário Chrisfapi –UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-8580-8783>

saviomatem@yahoo.com.br

Gildene Fortes de Meneses Machado

Centro Universitário Chrisfapi –UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-0319-183x>

gildenemeneses@yahoo.com.br

Wanderson Rocha Carvalho

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0001-5278-1329>

wanderson_vitoria2010@hotmail.com

Thalia Ohana Monteiro Lima

Centro Universitário Chrisfapi - UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0009-0001-5914-2527>

ohanamtr@outlook.com

Neirigelson Ferreira de Barros Leite

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0001-6505-1368>

neirigelson@chrisfapi.com.br

Laysa Cruz Machado

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0002-1748-7316>

englaysacruz@gmail.com

João de Deus Carvalho Filho

Centro Universitário Chrisfapi – UNICHRISFAPI

Piripiri – PI

<https://orcid.org/0000-0003-4812-8452>

comunicaçãochrisfapi@gmail.com

RESUMO

A Inteligência Artificial (IA) tem se consolidado como uma das principais forças de transformação da indústria da construção civil, setor historicamente marcado pela baixa adoção de novas tecnologias e por desafios crônicos como acidentes de trabalho, desperdício de materiais e atrasos de cronograma. Este trabalho tem como objetivo verificar as capacidades da aplicação da IA na engenharia civil, com foco na gestão

e no monitoramento de obras, avaliando seu impacto prático nos eixos de segurança, planejamento e execução. Para isso, adotou-se uma metodologia de natureza aplicada e exploratória, composta por revisão bibliográfica de artigos nacionais e internacionais e pelo desenvolvimento de um protótipo funcional denominado Civil AI, um sistema de monitoramento inteligente que integra visão computacional em tempo real, detecção de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) por meio do modelo YOLO, rastreamento de trabalhadores via algoritmo ByteTrack e geração automática de relatórios técnicos com o modelo de IA generativa Gemini, desenvolvido e prototipado no Google AI Studio. Os resultados demonstraram que a aplicação sistemática de Machine Learning, Deep Learning e IA Generativa é capaz de transformar a gestão de obras em um processo mais eficiente, contínuo e orientado por dados, com potencial real de redução de acidentes e otimização de processos gerenciais. Ao mesmo tempo, o estudo evidenciou barreiras concretas à adoção da tecnologia no contexto brasileiro, incluindo a escassez de dados padronizados, o alto custo de implementação, a falta de profissionais com formação híbrida em engenharia e ciência de dados, e a resistência cultural de um setor ainda majoritariamente conservador. Conclui-se que a IA não propõe a substituição do engenheiro, mas a ampliação de sua capacidade de atuação, e que o avanço de sua adoção no Brasil depende tanto de investimentos técnicos quanto a mudanças organizacionais e formativas.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Construção Civil; Monitoramento de obras; Visão Computacional; Segurança do trabalho.

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) has established itself as one of the main transformative forces in the construction industry, a sector historically marked by slow technology adoption and chronic challenges such as workplace accidents, material waste, and schedule delays. This study has the goal of assessing the capabilities of AI application in civil engineering, with a focus on construction site management and monitoring, evaluating its practical impact on safety, planning, and execution. To this end, an applied and exploratory methodology was adopted, consisting of a bibliographic review of national and international articles and the deve-

lopment of a functional prototype called Civil AI, an intelligent monitoring system that integrates real-time computer vision, Personal Protective Equipment (PPE) detection using the YOLO model, worker tracking by the ByteTrack algorithm, and automatic generation of technical reports using the Gemini generative AI model, developed and prototyped in Google AI Studio. The results demonstrated that the systematic application of Machine Learning, Deep Learning, and Generative AI is capable of transforming construction management into a more efficient, continuous, and data-driven process, with real potential for accident reduction and optimization of managerial processes. At the same time, the study identified concrete barriers to technology adoption in the Brazilian context, including the scarcity of standardized data, high implementation costs, the lack of professionals with hybrid training in engineering and data science, and the cultural resistance of a predominantly conservative sector. It is concluded that AI does not propose to replace the engineer, but rather to expand their capacity for action, and that the advancement of its adoption in Brazil depends as much on technical investments as on organizational and educational changes.

Keywords: Artificial Intelligence; Civil Construction; Construction Monitoring; Computer Vision; Occupational Safety.

1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) consolidou-se como a força motriz da Quarta Revolução Industrial, um movimento tecnológico que está redefinindo os paradigmas de produção, administração e inovação em escala global. Ao capacitar máquinas com habilidades cognitivas análogas às humanas, como aprendizado, raciocínio e tomada de decisão, a IA transcende o papel de uma simples ferramenta para se tornar um agente transformador. Seu potencial disruptivo está sendo explorado em praticamente todos os setores, desde a medicina até as finanças automatizadas, prometendo otimizar processos, aumentar a

eficiência e solucionar problemas de alta complexidade (Parekh; Mitchell, 2024).

O mundo está num avanço computacional progressivo e crescente, nesse cenário a engenharia civil apresenta consideráveis avanços científicos, no entanto se afirma que as inovações raramente são radicais e de grande escala, mas sim melhorias incrementais de pequena escala em serviços ou produtos (Wang et al., 2023), o que é paradoxal para uma das áreas mais importantes em relação ao desenvolvimento socioeconômico. Segundo Teixeira et al. (2020), a indústria da construção civil tem sido historicamente lenta na adoção de novas tecnologias, perpetuando métodos de trabalho intensivos em mão de obra e baseados em processos empíricos. Essa relativa resistência à inovação acarreta uma série de problemas crônicos: baixa produtividade, desperdício de materiais, estouros orçamentários, entre outros.

Diante dessa realidade, a integração da IA surge convenientemente como uma solução estratégica e necessária. A ideia basilar que orientou essa pesquisa é que a aplicação sistemática de tecnologias de IA pode catalisar uma profunda revolução no setor, transformando a gestão e a otimização de obras em um processo preditivo, eficiente e orientado por dados (Silva, 2025). Para concretizar tal avanço, este trabalho delimita seu foco de pesquisa à aplicação da IA no monitoramento de obras, analisando seu impacto nas fases de planejamento, segurança e execução.

Do ponto de vista acadêmico, há uma notória lacuna na produção científica nacional sobre o tema. Análises como as de Teixeira et al. (2020) e Almeida et al. (2025) revelam que o Brasil ainda se encontra em um estágio incipiente na pesquisa e desenvolvimento de IA para a construção civil, justificando a necessidade de estudos que consolidem o conhecimento e incentivem a inovação local. O uso de visão computacional para monitoramento em tempo real, como detalhado por Zhang (2021), oferece um caminho promissor para a redução drástica de acidentes. Tecnicamente, a convergência de *Big Data*, sensores de baixo custo e computação em nuvem tornou a implementação da IA não apenas possível, mas economicamente

viável, como evidenciado por aplicações de *Deep Learning* (Aprendizado Profundo) para detecção de patologias estruturais (Huang; Li; Fu, 2019).

Para concretizar tal avanço, este trabalho delimita seu foco de pesquisa à aplicação da IA no monitoramento de obras, analisando seu impacto nas fases de planejamento, segurança e execução. A investigação desse caso se concentrou nos mecanismos de operação da IA e que a faz ser tão eficiente: *Machine Learning* (ML), sistemas de visão computacional e modelos preditivos podem ser empregados para resolver os problemas crônicos do setor. A motivação central do estudo reside no fato de o paradigma de operação da gerência de trabalho da construção civil se mostrar atrasado e ineficiente para demandas atuais.

Podemos decompor tais falhas em três setores principais, o primeiro está na ineficiência no planejamento e execução das obras. A gestão e monitoramento de projetos é baseada na experiência subjetiva dos gestores, por mais que não exista de certa forma uma regra para tal, é suscetível a erros que podem resultar em prejuízos econômicos. A falta de ferramentas analíticas para processar os dados do projeto impede uma tomada de decisão verdadeiramente informada, levando a cronogramas estáticos e alocação de recursos subótima (Parekh; Mitchell, 2024).

O segundo fator é a falta de gestão de segurança no canteiro de obras. Pela própria natureza dos materiais e ferramentas utilizadas, a construção civil é um dos setores com maiores taxas de acidentes, pois a garantia de segurança atualmente depende de uma supervisão humana que é, por natureza, limitada e reativa. A ausência de um sistema de monitoramento contínuo e automatizado para detectar comportamentos de risco ou condições perigosas em tempo real perpetua um ambiente de trabalho de alto risco (Zhang, 2021).

O terceiro eixo reside na ineficiência da manutenção da infraestrutura (pós-obra). O modelo predominante de manutenção corretiva ou preventiva é baseado em calendários fixos de previsões que têm chance de ocorrer com base em dados teóricos, esse método é caro e por isso ineficaz. A incapacidade de monitorar a saúde

estrutural de forma contínua e prever falhas impede a realização de intervenções no momento certo, comprometendo a durabilidade dos ativos e a segurança pública (Huang; Li; Fu, 2019). Esses problemas dirigem-se para uma questão fundamental, ferramentas inteligentes que usam quantidades massivas de dados com a devida utilização, trazem benefícios no setor?

Nesse contexto, diante da problemática evidenciada, o objetivo geral deste trabalho é verificar as capacidades da aplicação da IA na engenharia civil, analisando seus mecanismos de operação, como *Machine Learning*, visão computacional e modelos preditivos, com foco na gestão e no monitoramento de obras. Busca-se, ainda, situar os conceitos tecnológicos indispensáveis para a compreensão do tema, identificar a problemática que justifica sua aplicação e avaliar seu impacto prático nos eixos de segurança, planejamento e execução, apontando tanto os benefícios quanto as limitações e barreiras para sua adoção na engenharia civil.

Portanto, o presente artigo está estruturado de forma lógica e progressiva. Iniciando por esta introdução, que delimita o problema, a hipótese e os objetivos da pesquisa, o trabalho desenvolve-se a partir de um referencial teórico que examina as principais tecnologias de IA aplicáveis ao setor, os desafios da gestão tradicional de obras e os casos de uso já documentados na literatura. Posteriormente, é apresentada a aplicação prática por meio de uma simulação de obra por meio de uma ferramenta desenvolvida com base no *Deep Learning*, a fim de ilustrar o potencial real das ferramentas investigadas. A metodologia empregada é de natureza bibliográfica e exploratória, buscando consolidar o conhecimento existente e oferecer incentivos para a adoção consciente da IA na engenharia civil brasileira.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Capacitação Tecnológica da IA na Engenharia Civil

Para compreender o potencial da IA na gestão de obras, é obrigatório, primeiramente, investigar as principais tecnologias que compõem este eixo. A IA é um vasto campo da ciência da computação cujo foco está no desenvolvimento de sistemas que simulam capacidades intelectuais humanas. Dentre suas diversas subáreas, destaca-se para a engenharia civil o *Machine Learning*, que foca no desenvolvimento de sistemas capazes de aprender padrões e tomar decisões diretamente com base em dados. Também são de grande relevância os algoritmos de otimização, empregados na busca matemática pelas melhores soluções para problemas de logística e alocação de recursos, e a visão computacional, responsável por capacitar os computadores a extrair informações e interpretar dados visuais vindos de imagens ou vídeos do canteiro de obras.

Conforme aponta a McKinsey & Company (2023), as tecnologias de *Machine Learning*, especialmente os modelos de aprendizado profundo (*deep learning*), funcionam como o motor central que viabilizou a atual onda de inovação e produtividade associada à Inteligência Artificial. Diferente da programação tradicional (modelo de desenvolvimento de software no qual um programador escreve instruções lógicas e regras explícitas para serem seguidas pelo computador), os algoritmos de ML aprendem padrões diretamente dos dados, funcionando basicamente como ensinar o programa por meio de um volume de dados coletados anteriormente. Lokhande et al. (2024) destacam que o ML na engenharia civil envolve a análise de "volumes massivos de dados [...] para encontrar padrões, prever resultados e otimizar procedimentos". Para o setor, a aplicação de destaque é o aprendizado supervisionado, onde um modelo é treinado com dados históricos rotulados para fazer previsões, como estimar o custo de uma obra (regressão) ou classificar um comportamento no canteiro como "seguro" ou "inseguro" (classificação).

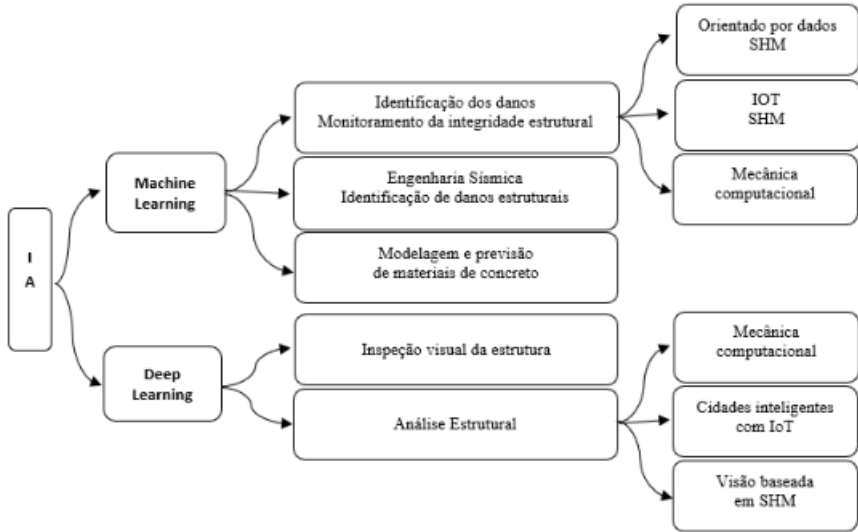
Dentro do ML, temos ainda o *Deep Learning* (Aprendizagem Profunda), que representa a tecnologia avançada. Baseado em Redes Neurais Artificiais (ANNs) com múltiplas camadas, o *Deep Learning* é excepcionalmente poderoso para extrair padrões de dados não estruturados, como imagens, pois podem identificar padrões sutis de

cada pixel. Li et al. (2021) explicam que o *Deep Learning* pode extrair automaticamente características de alto nível a partir de características superficiais, de modo a realizar a representação automática de características dos dados, superando a limitação da extração manual de informações [...]. A otimização e o aprimoramento do modelo de aprendizado profundo, e o treinamento por meio dos ricos dados, podem identificar possíveis problemas de segurança de forma mais rápida e eficiente.

Por outro lado, a Visão Computacional permite que as máquinas "enxerguem" e interpretem o mundo visual. Impulsionada pelo *Deep Learning*, essa tecnologia capacita sistemas a analisar imagens e vídeos para identificar objetos e detectar anomalias, com aplicações que vão desde a detecção de fissuras em estruturas até o monitoramento de segurança em tempo real no canteiro de obras (Zhang, 2021). O conjunto de tais tecnologias pode formar uma poderosa ferramenta para auxiliar na gestão de obras. A Figura 01 demonstra a relação entre técnicas de *Machine Learning* e *Deep Learning* e suas aplicações na Engenharia Civil.

No desenvolvimento de sistemas de visão computacional voltados à segurança, faz-se necessária a presença de um motor de inferência de IA (frequentemente simplificado como "motor de IA"). Este termo refere-se ao componente de *software* ou *hardware* encarregado de executar, de forma contínua, os cálculos matemáticos de um modelo de aprendizado de máquina pré-treinado sobre dados em tempo real. Enquanto o modelo (como a rede neural YOLO) representa o "conhecimento" adquirido, o motor de inferência é o mecanismo que de fato operacionaliza esse conhecimento, recebendo os quadros de vídeo das câmeras, faz o processamento através da rede neural e extrai os resultados das detecções de forma sistemática.

Figura 01 – Inteligência Artificial na Engenharia Civil.



Fonte: Adaptado de KHAN, Safiullah (2025).

2.2 A Problemática da Gestão Tradicional: o Vácuo Deixado pela Ausência da IA

Para justificar a necessidade de tais tecnologias, é crucial identificar os desafios intrínsecos à gestão de obras tradicional e demonstrar como a ausência de ferramentas de IA agrava esses problemas. A indústria da construção opera sob um paradigma propenso a "erro humano", com processos "demorados" e decisões subjetivas (Parekh; Mitchell, 2024).

A IA também desempenha um papel crucial na gestão e otimização de projetos na indústria da construção. Tarefas como projeto, planejamento e alocação de recursos, que tradicionalmente consomem muito tempo e são propensas a erros humanos, podem ser transformadas pela IA. Essa mudança permitiria que os engenheiros se concentrassem nos aspectos mais complexos e criativos de seu trabalho. A automação não só aumenta a produtividade, como também minimiza o risco de erros e retrabalho, resultando em economia substancial de tempo e custos (Wu, 2017 apud Parekh, 2024).

O comprometimento da segurança é talvez o desafio mais crítico. Como a maioria dos trabalhadores da construção civil são migrantes sem educação formal, com baixo nível de escolaridade, pouca capacidade de aprendizado, baixa qualidade em segurança e outros fatores, o pessoal da construção não tem clareza sobre as medidas técnicas de segurança, as especificações de operação de segurança e outros conhecimentos de proteção no local, levando a operações técnicas inadequadas e formando riscos potenciais à segurança (Zhang, 2021). Em um contexto nacional, segundo os dados do Dados do Ministério do Trabalho mostram que em 2023 houveram um total de 46.672 acidentes no setor da construção, destes 2.888 foram fatais.

A segurança no canteiro tradicional depende quase exclusivamente da supervisão de um profissional de segurança, o que pode gerar lacunas no monitoramento, como explica Zhang (2021):

A gestão de segurança atual ainda apresenta problemas, como dependência excessiva da observação dos funcionários, custos e tempo elevados, amostras insuficientes para verificar comportamentos perigosos e participação passiva dos funcionários. Portanto, é muito necessário automatizar o processo de monitoramento ou verificação. (Zhang, 2021)

2.3 Avaliação do Impacto da IA: Casos de Uso em Segurança

A prevenção de acidentes é uma das áreas onde o impacto da IA é mais direto. O estudo de Zhang (2021) serve como um exemplo paradigmático. O sistema proposto pelo autor utiliza câmeras para monitorar o canteiro em tempo real, aplicando algoritmos de *Deep Learning* para analisar o fluxo de vídeo e identificar automaticamente condições de risco. Zhang (2021, p. 1) descreve o objetivo como a criação de uma "plataforma de detecção e alerta precoce [...] para prevenir acidentes de construção". O sistema pode detectar o uso incorreto de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), a invasão de zonas de perigo e a interação arriscada entre trabalhadores e máquinas.

O impacto prático é quantificável. O autor relata que a implementação do sistema elevou o nível de gestão de segurança para 97,4% (Zhang, 2021, p. 13). Este número representa uma mudança fundamental na filosofia de segurança, que migra de um modelo operacional para um processo automatizado, contínuo e proativo. Este caso de uso demonstra a viabilidade técnica e o imenso potencial de retorno da IA na proteção de vidas no canteiro. A Figura 02 apresenta um exemplo de detecção automática do uso de EPIs em canteiro de obras por meio de Inteligência Artificial.

Figura 02 – Detecção em tempo real do uso de EPI's em obra através do uso de IA.



Fonte: @f2solution, 2026.Reprodução:https://www.tiktok.com/@f2solution?_r=1&_t=ZM-925ojDV2riG

2.4 Análise de Viabilidade: Benefícios, Limitações e Barreiras

Os benefícios são claros e corroborados pela literatura, como aumento da eficiência, redução de custos, melhoria na segurança e maior durabilidade das construções (Parekh; Mitchell, 2024; Cavalcante da Silva, 2025). A capacidade de automatizar e otimizar processos complexos representa um salto qualitativo na gestão de obras.

No entanto, ainda existem barreiras significativas a serem superadas. A primeira é a barreira dos dados. A eficácia da IA depende

de grandes volumes de dados de alta qualidade, algo que o setor da construção ainda luta para coletar de forma padronizada (Lokhande et al., 2024). A segunda é a barreira da interpretabilidade. Modelos de *Deep Learning*, por funcionarem como "caixas-pretas", geram desconfiança em um setor onde a responsabilidade legal é fundamental (Parekh; Mitchell, 2024), o que basicamente quer dizer que por vezes não é possível ter um insight claro sobre a tomada de decisão da IA, no contexto deste trabalho, tais limitações impactam diretamente a utilização de imagens de obra e a confiabilidade das análises automatizadas propostas.

Há também as barreiras socioeconômicas. O alto custo de implementação e a ausência de profissionais familiarizados e com o conhecimento tanto em engenharia civil quanto ciência de dados retardam a disseminação da tecnologia. A resistência cultural à mudança, em uma indústria conservadora, é um fator que de forma alguma pode ser subestimado, ainda que segundo o CONFEA a categoria mostra sinais claros de renovação, com maior diversidade, bom posicionamento no mercado de trabalho, ainda estamos no meio do processo de mudança, e o mercado de construção civil ainda é operado em sua maioria por profissionais que estão há anos no setor.

No contexto brasileiro, essas barreiras são amplificadas por um menor investimento em inovação. O estudo de Teixeira et al. (2020) aponta um cenário incipiente no desenvolvimento de IA para o setor no Brasil. Almeida et al. (2025, p. 15) reforçam essa percepção, destacando a carência de um setor especializado. Essa realidade adiciona um aumento da complexidade à análise de viabilidade, sugerindo que a adoção no país enfrenta desafios adicionais, o que justifica a necessidade de mais pesquisas aplicadas à região nacional.

Percebe-se assim um quadro de imenso potencial tecnológico, mas também de desafios práticos consideráveis a serem superados. A viabilidade da IA na Engenharia Civil não é apenas uma questão técnica, mas também estratégica, organizacional e cultural, o que demanda um estudo sistemático detalhado.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Procedimentos metodológicos

A metodologia do trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de caráter exploratório, baseada no desenvolvimento e na aplicação de um *software* de monitoramento cronológico por imagens. Na primeira etapa foi realizado um estudo dos principais artigos relacionados aos conceitos e funcionamento da IA e sua aplicação da construção civil no cenário atual. Foram revisados artigos de língua portuguesa assim como de língua estrangeira como inglês, tópicos como segurança e acidentes ocorridos no ambiente da construção civil, lacuna na supervisão dos profissionais, capacidade da IA neste contexto, obstáculos para funcionamento ideal e benefícios e obstáculos para sua aplicação. Autores como Teixeira, Zhang, Huang e Parekh fizeram parte das principais fontes acadêmicas do trabalho.

Posteriormente o foco se voltou na aplicação de tais conceitos com a criação de um programa de monitoramento. Por meio de um protótipo experimental, um aplicativo que foi desenvolvido com a ajuda do Google AI Studio e do Claude, que usou um modelo de IA capaz de analisar imagens de um canteiro de obras em principais etapas de construção, a fim de identificar possíveis falhas, EPIs dos funcionários e ao final um relatório diário de obra contendo as atividades realizadas. Por fim foi realizada uma análise dos resultados e discutidos sobre sua aplicação e eficácia assim como os obstáculos, com o objetivo de explorar mais o campo da IA e abrir o horizonte para seu progresso tecnológico no setor de construção civil. A Figura 03 ilustra as etapas metodológicas utilizadas neste trabalho.

Figura 03 – Fluxograma da metodologia adotada no desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Adaptado de OpenAI (2026), pelos autores.

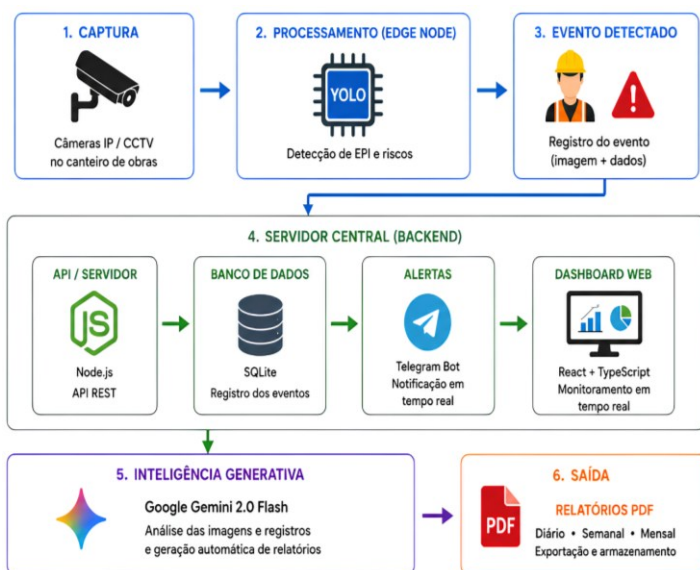
3.2 Resultados e Discussão

O desenvolvimento do protótipo denominado Civil AI constituiu o principal eixo desta pesquisa e permitiu confrontar os pontos teóricos levantados na revisão bibliográfica. O sistema foi concebido como uma plataforma de monitoramento inteligente para canteiros de obras, integrando visão computacional em tempo real, análise de imagens por IA e geração automática de documentação técnica. Assim como é mostrado na figura 04, sua arquitetura foi composta por três camadas interdependentes: um dispositivo de processamento local (*Edge Node*), responsável por rodar o modelo de IA no próprio canteiro de obras de forma autônoma; um servidor intermediário baseado no padrão *Backend for Frontend* (BFF) em *Node.js*, encarregado de receber as detecções e estruturar os alertas; e uma interface web de visualização interativa em *React* com *TypeScript*, que atua como o painel de controle em tempo real para o usuário final.

A proposta operacional do sistema partiu de um princípio direto, câmeras posicionadas estrategicamente no canteiro alimentam um

modelo YOLO, um algoritmo de visão computacional, treinado especificamente para a detecção de uso incorreto ou ausência de EPIs. Quando uma infração é identificada, o sistema registra automaticamente uma fotografia do momento, armazena o evento no banco de dados SQLite (um modelo relacional leve que armazena as informações diretamente em um arquivo local, sem necessidade de servidores), dispara uma notificação via *Telegram* ao responsável técnico e disponibiliza todas as informações na interface web em tempo real. Paralelamente, a aplicação utilizou a *Application Programming Interface* (API) do Google Gemini (modelo gemini-2.0-flash) para gerar relatórios técnicos de obra (diários, semanais e mensais) com base nas imagens capturadas ao longo do período, produzindo documentos exportáveis em PDF.

Figura 04 – Sistema de identificação inteligente Civil AI.

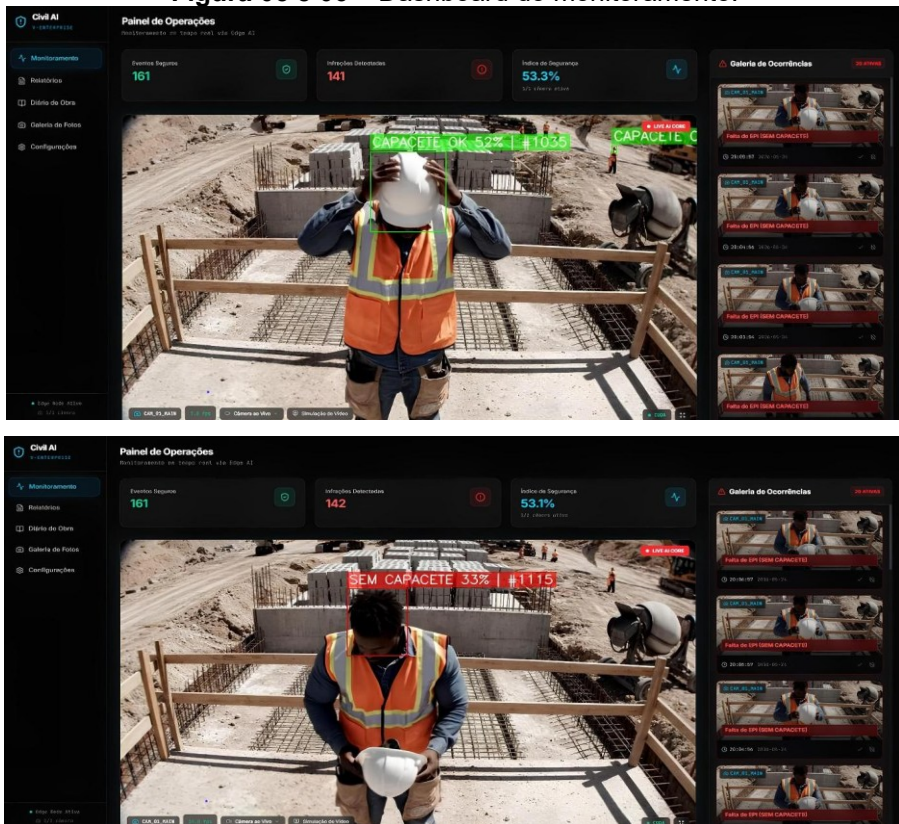


Fonte: OpenAI (2026).

3.2.1 Visão computacional e monitoramento de segurança em tempo real

O coração do monitoramento operou por meio de um *Edge Node* (computador local no canteiro) executando, em *Python*, o modelo *YOLO*. Diferente de sistemas reativos tradicionais, o modelo foi treinado especificamente para a detecção de EPIs essenciais, classificando os operários em situações de "Seguro" (capacete OK) ou "Risco" (sem capacete). As figuras 05 e 06 mostram o funcionamento dentro do protótipo.

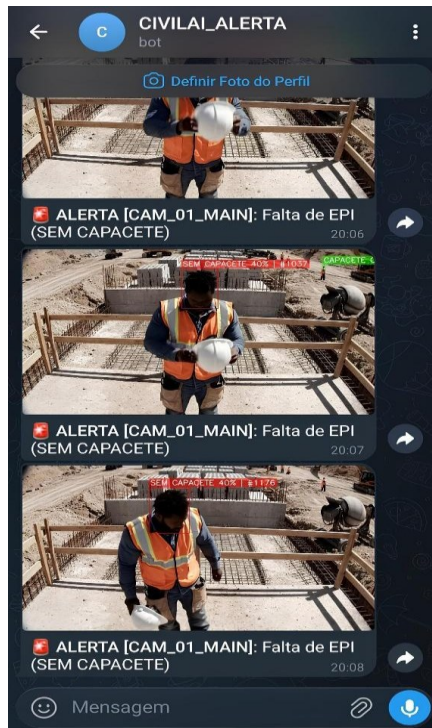
Figura 05 e 06 – Dashboard do monitoramento.



Fonte: Próprios autores, 2026.

Na prática, a arquitetura provou sua eficácia, ao detectar uma infração prolongada, o sistema não apenas salvava o registro no banco de dados (*SQLite*), mas disparava, de forma autônoma e em *thread* separada (uma linha de execução paralela em segundo plano), alertas via *Telegram* contendo a foto do momento exato da infração, conforme mostrado na figura 07. Essa funcionalidade transforma a figura do técnico de segurança na obra.

Figura 07 – Alertas recebidos no *Telegram*.



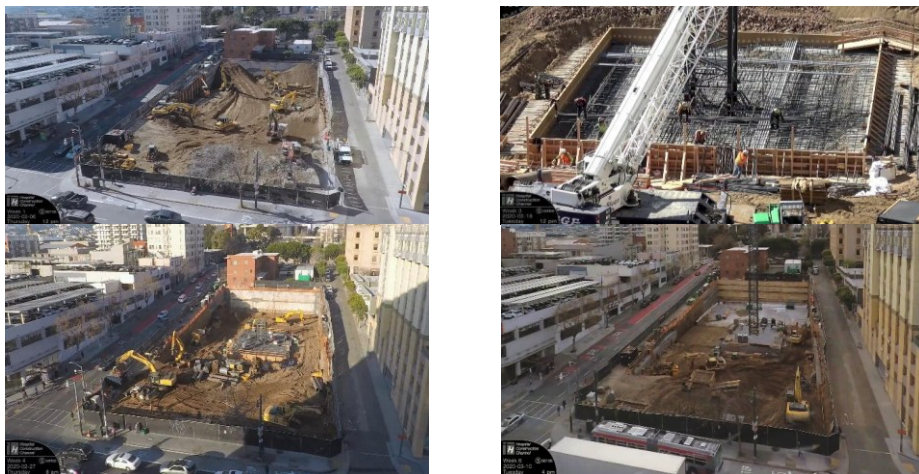
Fonte: Próprio autor.

3.2.2 Automação gerencial e integração com IA generativa

Além da segurança, o protótipo suprimiu uma das principais limitações de produtividade, a elaboração de documentação técnica. O sistema integrou a API do *Google Gemini 2.0 Flash* para realizar

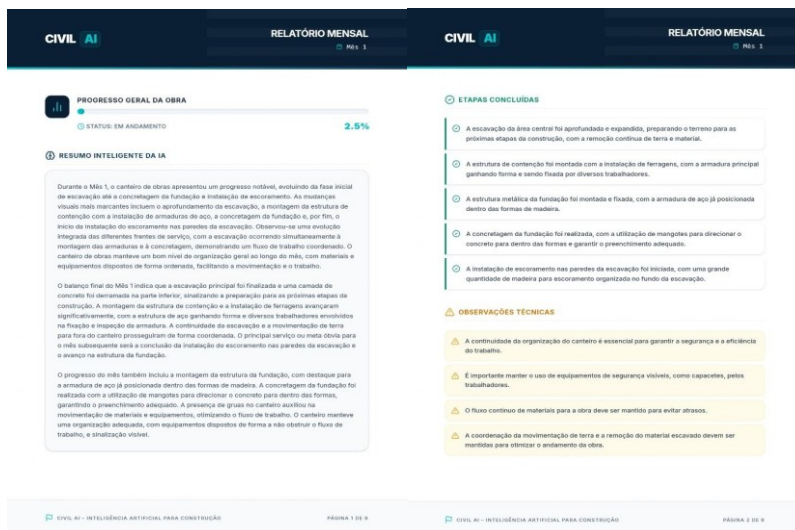
análises multimodais (imagens do canteiro + dados de detecção) e gerar, de forma autônoma, os Diários de Obra. A geração automatizada de relatórios em formato PDF (*jsPDF*) diretamente pelo navegador permite poupar horas de trabalho administrativo, permitindo que os engenheiros se concentrem em tarefas de maior complexidade analítica. Com a ferramenta foi possível elaborar um total de 28 relatórios diários, 4 semanais e 1 relatório mensal, que foram criados pela IA a partir de imagens anexadas a cada dia de uma obra, tais imagens foram retiradas do canal no YouTube: “*Hospital Construction*”, de vídeos em timelapse semanais da construção de um prédio residencial para idosos de 13 andares em São Francisco, Califórnia, em ordem cronológica, semana a semana, onde foi usado pelo menos 3 imagens de cada dia em 6 semanas de construção, que abrangeu as etapas de nivelamento e limpeza do terreno e a preparação inicial das fundações. As figuras a seguir mostram algumas imagens extraídas da obra e o resultado do relatório mensal gerado.

Figuras 08 a 11 – Imagens capturadas da obra ao longo dos 28 dias.



Fonte: @HospitalConstruction, 2020. Reprodução: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLVG3-xlaXtKy7kF9QF7kbljTQ1sqjzxQB>

Figuras 12 e 13 – Relatório mensal gerado pela IA.



Fonte: Próprios autores, 2026.

Contudo, a pesquisa evidenciou um fenômeno inerente à IA generativa, as "alucinações". Em testes iniciais, o modelo chegou a deduzir a resistência de um concreto ("fck 25 MPa") a partir de fotos escuras ou vazias. A solução se deu pela engenharia de *prompts* (técnica que consiste na estruturação e no refinamento de instruções para direcionar as respostas da IA), instruindo o modelo a relatar estritamente o que era visualmente comprovável, evidenciando que a supervisão humana ainda atua como filtro de confiabilidade necessário.

3.2.3 Processo de desenvolvimento: erros, iterações e aprendizados

Um dos aspectos mais relevantes diz respeito não apenas ao produto final obtido, mas ao processo de construção em si. A integração de cinco domínios técnicos distintos, visão computacional, API REST com Flask, *frontend* em React/TypeScript, IA generativa e geração de PDF no navegador, gerou inevitavelmente um ciclo extenso de erros, diagnósticos e correções, estimado entre 220 e 310 iterações ao longo

do desenvolvimento. Esse dado, longe de representar uma limitação, ofereceu um diagnóstico honesto sobre a complexidade real de sistemas de IA aplicados ao canteiro de obras.

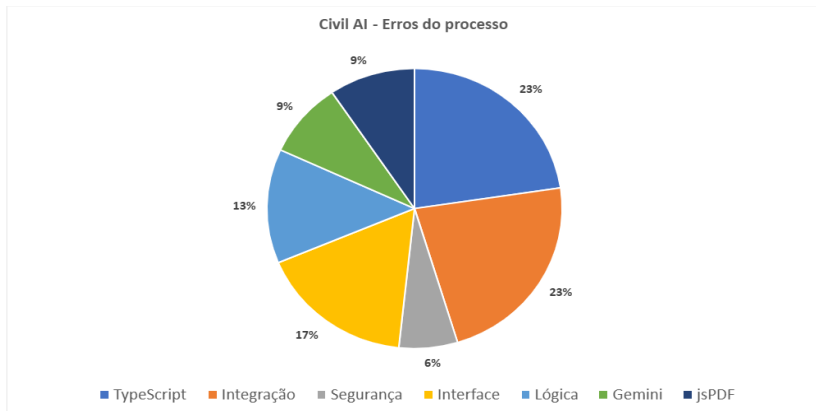
A camada de inteligência generativa foi desenvolvida e modelada por meio do *Google AI Studio*, que funcionou como um laboratório de engenharia de prompts antes da integração via API. O ambiente permitiu testar o comportamento do modelo *gemini-2.0-flash* com diferentes configurações, identificar respostas inadequadas, como alucinações em que o modelo retornava especificações como "fck 25 MPa" a partir de imagens escuras ou sem contexto, e calibrar parâmetros de saída com o uso de *prompts* para garantir consistência das respostas. Esse fenômeno de alucinação materializa, de forma empírica, a "barreira da interpretabilidade" discutida por Parekh e Mitchell (2024), modelos de Deep Learning podem produzir respostas aparentemente coerentes sem qualquer fundamento nos dados reais de entrada. Sua mitigação exigiu reformulação dos *prompts* específicos diretamente no *Google AI Studio*, instruindo o modelo a descrever apenas o que fosse visível e a registrar explicitamente a ausência de informação.

Outras categorias de erros igualmente relevantes foram os problemas de integração com o *Python*, como incompatibilidades de dispositivo GPU/CPU e condições de corrida entre *threads*, que confirmam a afirmação de Lokhande et al. (2024) de que a eficácia de sistemas de IA depende diretamente da robustez da infraestrutura de dados. Também foram identificadas limitações de codificação de caracteres na geração de PDF pelo *Gemini*, onde a incapacidade da fonte padrão de suportar acentos e cedilhas do português exigiu normalização de texto, detalhe aparentemente trivial, mas que, conforme Teixeira et al. (2020), ilustra as barreiras adicionais que o contexto nacional impõe à adoção da tecnologia.

Por fim, a identificação de vulnerabilidades de segurança como *Server-Side Request Forgery* (SSRF), quando o servidor é manipulado para realizar requisições de rede não autorizadas e *path traversal*, que possibilita o acesso indevido a arquivos locais do sistema, evidenciou que sistemas de IA para obras demandam também maturidade em

segurança da informação, dimensão ainda ausente da cultura tradicional da construção civil. A Figura 05 ilustra a distribuição dos erros encontrados no processo de desenvolvimento, classificados em sete categorias: Erros de tipagem e *build* (*TypeScript*); integração com o *Python*; segurança; interface e estilo; lógica no *React*; erro no *Gemini* e erros de geração de PDF (*jsPDF*).

Figura 14 – Distribuição dos erros.



Fonte: Próprios autores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho atingiu seu objetivo ao demonstrar, tanto na teoria quanto na prática, que a IA deixou de ser apenas uma tendência para se tornar uma ferramenta concreta de modernização na construção civil. A análise do protótipo Civil AI confirmou a hipótese central deste trabalho, que é o uso combinado de *Machine Learning*, *Deep Learning* e IA Generativa é capaz de transformar a gestão de obras em um processo mais eficiente e baseado em dados reais.

No campo da segurança do trabalho, a visão computacional funciona como uma camada de proteção que opera de forma contínua, sem pausas. A detecção automática de EPIs e o envio de alertas em tempo real suprem uma limitação conhecida da fiscalização humana,

tornando o canteiro um ambiente mais capaz de prevenir acidentes antes que eles aconteçam. Já na parte da gestão de obras, a capacidade da IA de interpretar imagens e gerar relatórios técnicos reduz o tempo gasto em processos manuais e burocráticos, tornando as decisões mais ágeis e confiáveis.

O estudo também mostrou com clareza os obstáculos reais da implementação. Os desafios enfrentados ao longo do desenvolvimento, do processamento exigido pelas placas de vídeo às adaptações de rede em canteiros afastados e ao controle das respostas incorretas geradas pela IA, deixam evidente que a adoção dessas tecnologias vai além da compra de um *software*. Ela exigiu infraestrutura adequada, como o processamento local de dados no próprio canteiro, e profissionais com formação em engenharia civil e conhecimento de IA.

As barreiras culturais e de custos de implantação, embora existam, tendem a diminuir quando se considera o retorno gerado pela prevenção de acidentes, o cumprimento de prazos e a redução de retrabalhos. O setor da construção civil brasileiro está diante de uma mudança importante, e as ferramentas para dar esse passo já estão disponíveis.

Conclui-se que a IA não veio para substituir o engenheiro, mas para ampliar o que ele consegue fazer. Ao transferir para as máquinas, o monitoramento contínuo e as tarefas repetitivas, os profissionais da construção ganham espaço para se concentrar no que realmente depende deles, sendo elas resolver problemas, tomar decisões estratégicas e construir obras mais seguras e eficientes. Para pesquisas futuras, recomenda-se ampliar os estudos práticos que avaliem como os profissionais recebem e se adaptam a essas novas ferramentas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. P. de et al. Os estudos da IA no Brasil comparado aos países mais influentes. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 22, n. 6, p. 1-17, 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. No Brasil foram registrados 2.888 acidentes fatais em 2023, segundo dados do eSocial. Brasília, DF: MTE, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/noticias-e-conteudo/2024/Julho/no-brasil-foram-registrados-2-888-acidentes-fatais-em-2003-segundo-dados-esocial>. Acesso em: 26 mar. 2026.

CAVALCANTE DA SILVA, F. Entre avanços, construções e desafios: aplicação da inteligência artificial na Engenharia Civil. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, Viçosa, v. 11, n. 1, e21735, 2025.

CONFEA. **Censo do Confea: 92% dos profissionais estão empregados**. Brasília, 28 de maio de 2025. Disponível em: <https://www.confea.org.br/censo-do-confea-92-dos-profissionais-estao-empregados>. Acesso em: 31 mar. 2026.

CUNHA, Pedro Henrique Fernandes Rezende. **Uso da inteligência artificial na construção civil**. 2024.

DE MELO DIAS, Aniel; DE SOUZA SANTOS, Liliane Cruz Gomes; DINIZ, Hélio Augusto Goulart. **A inteligência artificial na Engenharia Civil**. 2023.

GOMES, João Vitor Oliveira. **APLICAÇÕES AVANÇADAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: TECNOLOGIAS EMERGENTES, BENEFÍCIOS OPERACIONAIS E DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO**. Disponível em: https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/contecc%202024/CIV/APLICA%C3%87%C3%95ES_AVAN%C3%87ADAS_DE_INTELIG%C3%8ANCIA_ARTIFICIAL_NA_CONSTRU%C3%87%C3%83O_CIVIL_TECNOLOGIAS_EMERGENTES%2C_BENEF%C3%8DCIOS_OPERACIONAIS_E_DESAFIOS_DE_IMPLEMENTA%C3%87%C3%83O.pdf. Acesso em: 08 out. 2025.

HOSPITAL CONSTRUCTION. **Hospital Construction**. [S. l.]: YouTube, 2026. YouTube: @HospitalConstruction. Disponível em: <https://www.youtube.com/@HospitalConstruction>. Acesso em: 12 maio 2026.

HUANG, Y.; LI, J.; FU, J. Review on Application of Artificial Intelligence in Civil Engineering. **Computer Modeling in Engineering & Sciences**, Henderson, v. 121, n. 3, p. 845-875, 2019.

JUNIOR, José Atila Matos Aroucha et al. **Automação aplicada na engenharia civil**: a otimização de softwares e sua aplicação no campo da construção civil. Caderno Pedagógico, v. 21, n. 1, p. 294-306, 2024.

KHAN, Safiullah. The Application of Artificial Intelligence and Machine Learning in Civil Engineering. **Doupe Journal of Top Trending Technologies**, v. 1, n. 1, 2025.

LOKHANDE, M. et al. Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning in Civil Engineering: A Review. **Journal of Civil and Environmental Engineering**, v. 12, n. 12, p. 223-232, dez. 2024.

LU, P.; CHEN, S.; ZHENG, Y. Artificial Intelligence in Civil Engineering. **Mathematical Problems in Engineering**, London, 2012.

MARCATO, João Guilherme. Desafios e impactos da inteligência artificial na gestão de projetos: uma revisão sistemática da literatura. **Revista de Ciência e Tecnologia Fatec Lins**, v. 10, n. 2, 2024.

LUNG, L.; WANG, Y. **Applying Deep Learning and Single Shot Detection in Construction Site Image Recognition**. Buildings 2023, 13, 1074. <https://doi.org/10.3390/buildings1304107>.

Y. Li, Y. Zuo, H. Song, and Z. Lv,. **Deep learning in security of internet of things**. IEEE Internet of things. IEEE Internet of things Journal Journal, vol. 2021, no. 99, p. 1, 2021.

MORAIS, Patrícia. **A engenharia brasileira mudou: dados revelam novo perfil dos profissionais**. ConstruCode, 13 jan. 2026. Disponível em: <https://site.construcode.com.br/a-engenharia-brasileira-mudou-dados-revelam-novo-perfil-dos-profissionais/>. Acesso em: 31 mar. 2026.

OPENAI. **ChatGPT Images 2.0**. Versão GPT Image 2. [S. l.]: OpenAI, 2026. Inteligência Artificial. Disponível em: <https://chatgpt.com>. Acesso em: 25 maio 2026.

OVANIN, Vera. **IA na construção**: Segurança, custo e qualidade. Disponível em: <https://www.ultralytics.com/pt/blog/ai-in-construction-sa>

ving-lives-cutting-costs-and-elevating-quality>. Acesso em: 09 out. 2025

PAREKH, R.; MITCHELL, O. Progress and obstacles in the use of artificial intelligence in civil engineering: an in-depth review. **International Journal of Science and Research Archive**, v. 13, n. 1, p. 1059–1080, 2024.

SARDUY, J. R. Gómez et al. **Determining cement ball mill dosage by artificial intelligence tools aimed at reducing energy consumption and environmental impact**. Ing. Investig., Bogotá, v. 33, n. 3, Sept.-Dec. 2013. ISSN 0120-5609. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092013000300009&lang=pt.

TEIXEIRA, F. dos S.; TEIXEIRA, P. C. dos S.; ROCHA, C. A. M. da. **Estudo Prospectivo Sobre Inteligência Artificial Aplicada ao Setor da Construção Civil**. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 13, n. 4, p. 1134-1146, set. 2020.

ZHANG, Y. Safety Management of Civil Engineering Construction Based on Artificial Intelligence and Machine Vision Technology. **Advances in Civil Engineering**, London, v. 2021.

SOBRE OS ORGANIZADORES



Guilherme Antônio Lopes de Oliveira

Doutor em Biotecnologia pela Rede Nordeste de Biotecnologia - UFPI, com estágio de Doutorado Sanduíche no Departamento de Farmacologia da Universidade de Sevilla - Espanha. Especialista em Docência do Ensino Superior e em Análises Clínicas e Microbiologia pela Universidade Cândido Mendes. Bacharel em Biomedicina pela Faculdade Maurício de Nassau/Aliança. Tem experiência em Bioprospecção de Produtos Naturais com ênfase em Antioxidantes e Anti-inflamatórios. Professor na Christus Faculdade do Piauí - CHRIS-FAPI. Defendeu a Tese de Doutorado aos 26 anos, foi considerado um dos doutores mais jovens do Brasil gerando grande repercussão nacional e internacional em decorrência da história de superação. Foi condecorado com a Insígnia de Comendador da Ordem do Mérito Renascença do Estado do Piauí, Concedeu entrevistas à nível nacional como no Programa Encontro com Fátima Bernardes da Rede Globo e o Programa Domingo Espetacular da Record TV. Mais informações podem ser conferidas na aba Produção - Produção Técnica - Entrevistas, Mesas-redondas, programas e comentários na mídia. Contato no Instagram: @drguilhermelopes



Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

Mestrado em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal do Piauí (2017); Especialista em Educação Profissional e Tecnológica pela Faculdade de Boa Viagem - Pernambuco (2007); Graduado em Licenciatura Plena em Química pela Universidade Estadual do Piauí (2003); Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Santo Agostinho (2018). Experiência Docente na Educação Básica (Química Geral, Físico- Química, Química Orgânica); Educação Profissional Técnico de Nível Médio (Tecnologia de Materiais, Óleos Lubrificantes, Higiene, Saúde e Segurança do Trabalho); Ensino Superior Vinculado à programas especiais da Universidade Estadual do Piauí e da Universidade Federal do Piauí (Química Inorgânica, Química Orgânica, Metodologia e Prática do Ensino de Química); Ensino Superior em Cursos de Graduação em Engenharia Civil (Estruturas de Concreto Armado, Estruturas de Pontes, Alvenaria Estrutural, Estruturas Metálicas, Hidráulica Geral e Instalações Elétricas); Ensino de Pós-Graduação Lato Senso (Metodologia da Pesquisa Científica, Metodologia e Prática do Ensino das Ciências da Natureza). Atuação em Gestão e Políticas Públicas em órgãos Federais, Estaduais e Municipais: Educação; Habitação e Regularização Fundiária; Desenvolvimento Rural; Agricultura Familiar; Meio Ambiente.



João de Deus Carvalho Filho

Possui graduação em Licenciatura Plena em Letras Português e Inglês (2004), especialização em Psicopedagogia Clínica e Institucional e Mestrado em Ciências das Religiões pela Faculdade Unida de Vitória (ES), em programa reconhecido pela CAPES. É professor universitário do Centro Universitário Chrisfapi (UniChrisfapi), com ampla experiência na área educacional, construída ao longo de mais de 30 anos de atuação docente. Exerce a função de Coordenador do Núcleo de Comunicação do UniChrisfapi, desenvolvendo estratégias institucionais voltadas à comunicação, marketing educacional, fortalecimento de marca e relacionamento com a comunidade acadêmica. Possui experiência em ensino, gestão, planejamento estratégico e desenvolvimento de projetos educacionais e sociais, com atuação nos setores público e privado. Atua na elaboração, execução e acompanhamento de projetos psicopedagógicos, ações de formação continuada, capacitações, palestras, supervisão de processos e gerenciamento de equipes. Dedica-se também às áreas de tecnologia, comunicação digital e inovação educacional, atuando na criação de conteúdos digitais, desenvolvimento de infoprodutos, estratégias de marketing digital e gestão de tráfego pago. Sua trajetória integra educação, comunicação e transformação digital, utilizando ferramentas inovadoras para ampliar o acesso ao conhecimento e fortalecer processos de ensino e aprendizagem. Ao longo de sua carreira, recebeu reconhecimentos institucionais pela contribuição acadêmica e científica, destacando-se pela atuação no ensino superior, produção de conhecimento, práticas inovadoras e compromisso com a formação humana e profissional.



Wanderson Rocha de Carvalho

Graduado em Física pela Universidade Federal do Piauí. Graduado em Educação Física pela Universidade Estadual do Piauí. Mestre em Ensino de Física pela Universidade Estadual do Ceará. Pós-graduado em Física pela Universidade Estadual do Piauí. Atualmente, é Coordenador e Docente do curso de Bacharelado em Educação Física do Centro Universitário Chrisfapi (UNICHRISFAPI). Tem experiência na área de Física e Educação Física, com ênfase em Treinamento Esportivo e Performance.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Argamassa polimérica, 144, 147,
153, 154, 155, 156, 159, 162,
164, 165, 166, 167, 168, 169,
170, 171, 173, 174, 175, 176,
178, 180

B

Borracha reciclada de pneus, 36,
75

C

Caracterização geotécnica, 104,
110, 113, 135, 138
Conforto térmico, 12, 14, 15, 16,
17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25,
26, 27, 29, 30, 31, 32, 98
Construção modular, 256, 263,
266, 272
Controle de custos, 231, 236,
243, 250

D

Desenvolvimento sustentável,
232, 238

E

Eficiência energética, 12, 14, 16,
17, 18, 24, 25, 26, 27, 29, 31,
32

Emulsão asfáltica, 144, 147, 156,
157, 159, 162, 164, 165, 166,
167, 168, 169, 171, 173, 174,
175, 176, 178

Etileno Acetato de Vinila, 35, 36,
38, 48, 49, 52, 53, 55, 57, 59,
70, 72, 75

F

Ferramentas tecnológicas, 232,
236, 245, 250, 252
Fundações rasas, 104, 107, 108,
109, 137, 180

G

Gestão de obras, 6, 231, 233,
234, 235, 236, 239, 240, 241,
243, 245, 246, 249, 250, 290,
295, 296, 297, 299, 309, 310

I

Incêndio, 191, 211, 277, 278,
279, 280, 281, 282, 283, 284,
285, 286, 287
Inspeção predial, 182, 184, 185,
186, 190, 192, 195, 197, 198,
222, 223, 224, 227
Inteligência Artificial, 289, 290,
291, 295, 297, 299, 312, 313

P

Projeto Proinfância, 77, 80, 81,
83, 86, 88, 97, 98

ISBN 978-65-5388-392-5



9 786553 883925 >