Pascal
Editora

ESTUDOS EM ENGENHARIA E INOVAÇÃO

VOLUME 12

Organizadores:

Mirian Nunes de Carvalho Nunes
Ronaldo de Jesus Barros
Lilian Barros Santiago
José Átila Matos Aroucha Júnior
José Hélio Oliveira Santos Sobrinho
Thiago Santana de Oliveira

Mirian Nunes de Carvalho Nunes
Ronaldo de Jesus Barros
Lilian Barros Santiago
José Átila Matos Aroucha Júnior
José Hélio Oliveira Santos Sobrinho
Thiago Santana de Oliveira
(Organizadores)

ESTUDOS EM ENGENHARIA & INOVAÇÃO

volume 12

Editora Pascal
2026

2026 - Copyright© da Editora Pascal

Editor Chefe: Patrício Moreira de Araújo Filho

Edição e Diagramação: Romilson Carneiro Rodrigues

Edição de Arte: Romilson Carneiro Rodrigues

Bibliotecária: Rayssa Cristhália Viana da Silva – CRB-13/904

Revisão: Os autores

Conselho Editorial
Dr. Will Ribamar Mendes Almeida
Dr. Raimundo Luna Neres
Dr. Raimundo José Barbosa Brandão
Dr. Elmo de Sena Ferreira Junior
Dr. André Leonardo Demaison Medeiros Maia
Dr. Wellinton de Assunção
Dr. Moisés dos Santos Rocha
Me. José Ribamar Santos Moraes Filho

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O48c

Coletânea Estudos em engenharia e inovação / Mirian Nunes de Carvalho Nunes et al. (Org). São Luís - Editora Pascal, 2026.

273f. : il.: (Estudos em engenharia e inovação; volume 12)

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-6068-224-5

D.O.I.: 10.29327/5827152

1. Engenharia. 2. Tecnologia. 3. Inovação. 4. Miscelânea. I. Nunes, Mirian Nunes de Carvalho. II. Barros, Ronaldo de Jesus. III. Santiago, Lilian Barros. IV. Aroucha Júnior, José Átila Matos. V. Santos Sobrinho, José Hélio Oliveira. VI. Oliveira, Thiago Santana de. VII. Título.

CDU: 621.7::330.341.1

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2026

www.editorapascal.com.br

APRESENTAÇÃO

A engenharia sempre ocupou papel central no desenvolvimento das sociedades, sendo responsável por transformar conhecimento científico em soluções práticas capazes de melhorar a infraestrutura, a produção e a qualidade de vida das populações. Em um contexto marcado por rápidas transformações tecnológicas e pela crescente demanda por sustentabilidade, inovação e eficiência, torna-se fundamental ampliar os espaços de reflexão, investigação e divulgação científica nas diversas áreas da engenharia.

A obra Estudos em Engenharia e Inovação – Volume 12 insere-se nesse cenário como uma importante contribuição acadêmica. O livro reúne estudos desenvolvidos no âmbito da formação universitária, refletindo o esforço investigativo de estudantes e docentes comprometidos com a produção de conhecimento técnico-científico aplicado aos desafios contemporâneos da engenharia. A diversidade temática apresentada ao longo dos capítulos evidencia não apenas a amplitude do campo da engenharia, mas também a capacidade dos futuros profissionais de analisar problemas reais e propor soluções fundamentadas.

Os capítulos abordam temas relevantes, especialmente no campo da construção civil, engenharia elétrica e da engenharia mecânica, incluindo gestão de projetos, manutenção de estruturas, utilização de tecnologias como BIM e inteligência artificial, sustentabilidade na construção civil, gerenciamento de resíduos, patologias estruturais, eficiência energética e inovação em processos industriais. Essa multiplicidade de abordagens demonstra como a engenharia contemporânea se caracteriza pela integração entre conhecimento técnico, ferramentas digitais e preocupações ambientais e sociais.

Outro aspecto que merece destaque nesta coletânea é a valorização da pesquisa acadêmica no processo formativo dos estudantes. Os trabalhos aqui apresentados refletem o resultado de investigações conduzidas com rigor metodológico, evidenciando o papel das instituições de ensino superior na formação de profissionais críticos, criativos e preparados para atuar em um mercado cada vez mais dinâmico e competitivo.

Ao reunir diferentes perspectivas sobre desafios técnicos e tecnológicos, esta obra contribui para fortalecer o diálogo entre ensino, pesquisa e prática profissional. Espera-se que os estudos aqui apresentados sirvam como fonte de consulta e inspiração para estudantes, professores, pesquisadores e profissionais da área, estimulando novas investigações e promovendo avanços no campo da engenharia.

Que a leitura deste volume incentive o desenvolvimento de soluções inovadoras, sustentáveis e socialmente responsáveis, reafirmando o compromisso da engenharia com o progresso científico, tecnológico e humano.

ORGANIZADORES

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Pós-Graduada em Gestão Educacional pela Faculdades Integradas Potencial - FIP - Cotias - SP; em Arte, Educação e Tecnologias Contemporâneas pela Universidade de Brasília - UnB e em Docência do Ensino Superior pela Universidade Candido Mendes RJ. Graduada em Desenho Industrial pela Universidade Federal do Maranhão - UFMA. Graduada em Formação Pedagógica de Docentes para as áreas do Ensino Médio e Profissionalizante pela Universidade Estadual do Maranhão - UEMA. Exerço cargo de Professora na Faculdade Anhanguera São Luís - MA, ministrando disciplinas da área de Desenho Técnico em programas computacionais (AutoCAD, Inventor, REVIT). Atuo com apoio à Orientação de TCC. Atuei como Professora EaD pela UEMANET.

Ronaldo de Jesus Barros

Possui formação técnica em Mecânica Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA (2012); Graduação em Engenharia Mecânica pela Faculdade Pitágoras de São Luís (2019); Especializações em Engenharia de Materiais (2021) e Docência do Ensino Superior (2021), ambas pela Universidade Norte do Paraná. Atualmente (2024), cursa os semestres finais do Bacharelado em Engenharia Civil na Faculdade Anhanguera de São Luís, graduação acelerada devido a aproveitamento de estudos e com conclusão prevista para o primeiro semestre de 2025.

Lilian Barros Santiago

Graduada em Eletrônica Industrial pelo Instituto Federal Educação Ciência e Tecnologia do MA (2004) , em Administração pela Universidade Ceuma em 2012 e Formação Pedagógica pela Universidade Estadual do Maranhão - UEMA em 2008 . Tem experiência na área de proteção comando e controle no sistema Eletrobras (Eletronorte) onde trabalhei por 15 anos, atualmente sou professora na Faculdade Pitágoras do Sistema Kroton em São Luís do Maranhão onde atua nas áreas de Elétrica e Eletrônica e, no curso de Administração e RH nas disciplinas de Marketing, Rotinas de Pessoal, Ferramentas para melhoria da qualidade, Sistema de Informação. e Teoria Geral da Administração I. Atuei como professora no Sistema de Educação a distancia do Instituto Federal Maranhão - IFMA no Curso de Segurança do Trabalho nas disciplinas de Prevenção e Controle de perdas e Legislação Portuária e Aquaviária; Atuei como professora do Serviço Nacional de Aprendizagem profissional - SENAI-MA de 2012 a 2015 como professora dos cursos técnicos de Eletroeletrônica e Informatica e, no momento faço parte da rede de ensino estadual atuando como professora de matemática do sistema no 9° ano fundamental e 1° ano do ensino médio à dois anos através de contrato de prestação de serviços, sendo que fiquei por sete anos como professora na mesma rede de ensino no colégio Bacelar Portela nos cursos técnicos de Eletromecânica. Aliado a essas experiencias fiz a pós-graduação em didática universitária na FAMA e, para melhorar a minha performance profissional fiz o curso de formação em coaching pela IBC.

ORGANIZADORES

José Átila Matos Aroucha Júnior

Graduado em Engenharia Civil na Universidade Estadual do Maranhão - UEMA. Doutorando em Processos Construtivos e Saneamento Urbano na área de atuação em Estruturas, Construção Civil e Materiais. Mestre em Processos Construtivos e Saneamento Urbano na área de atuação em Estruturas, Construção Civil e materiais - Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará - UFPA. Especialista em Estruturas Metálicas - FATEC .Tenho experiência com Projetos em 3D - Revit; Trabalho com análise de licitação na área de Engenharia. Tenho experiência em Avaliação de Imóveis por inferência Estatística. Trabalho com consultoria em trabalhos acadêmicos com ênfase na área estrutural ; Avaliação e Perícia e Gerenciamento de obras.

José Hélio Oliveira Santos Sobrinho

Possui graduação em Física pela Universidade Federal do Maranhão (2008), Bacharelado em Engenharia Civil pela Faculdade Pitágoras (2023) e Mestrado em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal do Maranhão (2013), Licenciando em Matemática (2025) e Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho (2025). Atualmente é professor Universitário, Ensino fundamental e Médio. Tem experiência na área de Física, Engenharia de Materiais e Engenharia Civil, com ênfase em Física, Análise Microestrutural de Materiais e Análise de concreto. Orientador de TCC e Monografia nos cursos de Engenharia, Matemática e Física. Professor de Física e Matemática do Ensino médio e fundamental. Atua na área de Engenharia Civil como elaborador de projetos, gestor de obras e elaborador de laudos técnicos.

Thiago Santana de Oliveira

Bacharel em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal do Maranhão (2004), com mestrado em Engenharia de Materiais (2016), na mesma instituição. Atuou como profissional nas áreas de siderurgia e gerenciamento de frota de veículos e equipamentos a diesel, com bons conhecimentos nas ferramentas de gestão da manutenção e produção. Ministra aulas desde 2005, sendo a experiência inicial no ensino médio e técnico. Atualmente, trabalha no ensino superior, onde possui experiência de 10 anos, e técnico, ocupando os cargos de docente e coordenador de curso. Responsável pela organização de eventos na instituição e gestão de documentação dos cursos que coordeno. Possui importantes publicações na área.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 12

GESTÃO DE PROJETOS NAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA CIVIL

Neemias Mendes Da Silva

Marcela Andrade De Carvalho

CAPÍTULO 2.....30

MANUTENÇÃO EM PONTES METÁLICAS

Raissa Santana Pinheiro

José Hélio Oliveira Santos Sobrinho

CAPÍTULO 3.....40

BIM E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: AVANÇOS TECNOLÓGICOS PARA A PREDIÇÃO E EFICIÊNCIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Thallynson Patrick Ramos Rocha

CAPÍTULO 4 50

AVANÇOS E ESTRATÉGIAS NA EXECUÇÃO DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Rosa Maria Silva Fernandes

CAPÍTULO 5.....60

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PATOLOGIA EM CERÂMICA, PAREDE E CONCRETO

Abimael da Silva Costa

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Sara Raquel Fajardo Costa

CAPÍTULO 6.....67

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: DESAFIOS, INOVAÇÕES E IMPACTOS AMBIENTAIS

Higo Charles da Silva Dias

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

CAPÍTULO 7.....78

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) E SUA UTILIZAÇÃO NO COMBATE ÀS IRREGULARIDADES EM OBRAS PÚBLICAS

Ítalo Gustavo Da Silva

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

CAPÍTULO 8 87

AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL CLASSE D

Amanda Cristina Lima Dos Santos

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

José Atila Matos Aroucha Junior

CAPÍTULO 9 95

ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: VIGAS INCLINADAS PARA COMBATER DESLOCAMENTOS EM GRANDES VÃOS

Glausthon Moura dos Santos

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

CAPÍTULO 10 107

PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO DE LITERATURA EM EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS

Givanildo da Silva Furtado Oliveira

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

CAPÍTULO 11 118

MATERIAIS ALTERNATIVOS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Gustavo Raniere Siqueira da Silva

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

José Atila Matos Aroucha Junior

CAPÍTULO 12 127

CONSTRUÇÃO ENXUTA (LEAN CONSTRUCTION) COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E AUMENTO DA PRODUTIVIDADE

Thiago Augusto Almeida Monteiro

Ronaldo de Jesus Barros

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

CAPÍTULO 13 138

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE PAVIMENTOS RÍGIDOS E FLEXÍVEIS

Rafael Humberto Borgneth Batista

José Hélio Oliveira Santos Sobrinho

CAPÍTULO 14 149

GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

João Guilherme Santos Torres

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

CAPÍTULO 15 ..... **159**

PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Caio Pompeu Amorim Santana de Sousa

Jose Atila Matos Aroucha Junior

CAPÍTULO 16 ..... **168**

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: CAUSAS, IMPACTOS E MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO

Yanne Karolyne Nunes Rabelo

Miriam Nunes de Carvalho Nunes

CAPÍTULO 17 ..... **178**

CAPACIDADE DE CARGA E ASSENTAMENTO DE FUNDAÇÕES RASAS: MÉTODOS CLÁSSICOS E CONTEMPORÂNEOS DE DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE

Ronaldo de Jesus Barros

CAPÍTULO 18 ..... **188**

ESTUDO SOBRE OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Bruno Silva Batista

Lilian Pereira Barros

CAPÍTULO 19 ..... **197**

INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE NA ENERGIA EÓLICA: DESAFIOS E PERSPECTIVAS NO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO - REVISÃO DE LITERATURA

Neire Serra Gomes

Wesley Nascimento

CAPÍTULO 20 ..... **210**

UM ESTUDO SOBRE A AQUISIÇÃO DE CERTIFICADOS DE ENERGIA RENOVÁVEL COMO ESTRATÉGIA DE SUSTENTABILIDADE CORPORATIVA

Evylla Leticia Lima da Cunha

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Lilian Barros Santiago

CAPÍTULO 21 ..... **221**

SOLUÇÕES DE BAIXO CUSTO COM INTERNET DAS COISAS PARA O GERENCIAMENTO ENERGÉTICO EM AMBIENTES RESIDENCIAIS: UM ESTUDO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Jessica Cristina Santos Machado

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

CAPÍTULO 22 231

INTEGRAÇÃO ENTRE MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NO SETOR INDUSTRIAL

Jobenilton Costa Ribeiro

Carolina Gomes Araujo Garreto

CAPÍTULO 23 243

IMPLEMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Paulo Roberto Cutrim França

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

CAPÍTULO 24 254

SOLDAGEM MIG/MAG: ESTUDO DAS TECNOLOGIAS MANUAL E AUTOMATIZADA NA INDÚSTRIA

Woshington Ramos Ferreira

Ronaldo de Jesus Barros

CAPÍTULO 25 263

ENTUPIMENTO DE CHUTE E FORMAÇÃO DE ACÚMULO EM CORREIA TRANSPORTADORA

Frederico Henrique dos Santos Luzia

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Pascal
Editora

Engenharia Civil

GESTÃO DE PROJETOS NAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA CIVIL

PROJECT MANAGEMENT IN THE DEVELOPMENT STAGES OF CIVIL ENGINEERING

Neemias Mendes Da Silva
Marcela Andrade De Carvalho

1

Pascal
Editora

RESUMO

Este artigo científico tem como objetivo avaliar quais metodologias de gestão de projetos são mais adequadas para aplicação nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento de projetos de Engenharia Civil, com foco na redução de atrasos, controle de custos e melhoria da qualidade das entregas. A pesquisa foi conduzida por meio de abordagem qualitativa, exploratória e bibliográfica, com análise documental e de normas técnicas. Foram estudadas metodologias PMBOK (Project Management Body of Knowledge); PRINCE2 (Projects IN Controlled Environments); Lean Construction; IPD (Integrated Project Delivery); BIM (Building Information Modeling); FEL (Front-End Loading); Waterfall, Agile, Scrum e Kanban, considerando sua aplicabilidade nas fases de estudo de viabilidade, projeto conceitual, projeto básico e projeto detalhado. Os resultados indicam que a aplicação estratégica e combinada dessas metodologias contribui para maior previsibilidade, integração entre equipes, eficiência técnica e segurança na tomada de decisões. A pesquisa também identificou erros recorrentes na delimitação das fases e na adoção de práticas inadequadas, reforçando a importância da gestão estruturada e do uso de ferramentas digitais como o BIM. Conclui-se que a escolha criteriosa das metodologias, alinhada ao nível de maturidade do projeto, é essencial para o sucesso dos empreendimentos na Engenharia Civil.

Palavras-chave: Gestão de Projetos. Engenharia Civil. Metodologias.

ABSTRACT

This scientific article aims to evaluate which project management methodologies are most suitable for application in the different phases of the project development cycle in Civil Engineering, focusing on reducing delays, controlling costs, and improving the quality of project deliveries. The research was conducted through a qualitative, exploratory, and bibliographic approach, including document analysis and technical standards. The methodologies studied were PMBOK (Project Management Body of Knowledge), PRINCE2 (Projects IN Controlled Environments), Lean Construction, IPD (Integrated Project Delivery), BIM (Building Information Modeling), FEL (Front-End Loading), Waterfall, Agile, Scrum, and Kanban, considering their applicability in the feasibility study, conceptual design, basic design, and detailed design phases. The results indicate that the strategic and combined application of these methodologies contributes to greater predictability, team integration, technical efficiency, and decision-making security. The research also identified recurring errors in phase delimitation and the adoption of inadequate practices, reinforcing the importance of structured management and the use of digital tools such as BIM. It is concluded that the careful selection of methodologies, aligned with the project's maturity level, is essential for the success of Civil Engineering ventures.

Key words: Project Management. Civil Engineering. Methodologies.

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da Engenharia Civil é implantar projetos atendendo aos prazos e custos estabelecidos no início de qualquer empreendimento, mantendo a qualidade, segurança e eficiência das construções, quer sejam edifícios, estradas rodoviárias e ferroviárias, casas, obras de urbanização, usinas hidrelétricas, portos, aeroportos, obras de mineração, reformas entre outros (MATTOS, 2019).

Para atender a esse desafio, foram elaborados diversos modelos de gestão de projetos, tais como: PMBOK (Project Management Body of Knowledge); PRINCE2 (Projects IN Controlled Environments); Lean Construction; IPD (Integrated Project Delivery); BIM (Building Information Modeling); FEL (Front-End Loading); Waterfall, Agile; Scrum; Kanban, entre outros.

Segundo Lehtiranta (2014) relata que desde a fase da concepção dos projetos até a execução das obras, é essencial ter objetivos bem definidos. Procedimentos e critérios padronizados são fundamentais para assegurar a qualidade, rastreabilidade e confiabilidade das obras. Esse conjunto de práticas e diretrizes é conhecido como sistema de gestão, cuja implementação deve seguir estratégias assertivas.

Segundo o Tribunal de Contas da União (TCU), no ano de 2023, existiam 8.603 obras financiadas com recursos federais que estavam paralisadas ou inacabadas. Essas obras representam um desperdício significativo de recursos públicos, totalizando mais de 8,2 bilhões de reais. Esses dados refletem problemas crônicos de gestão e planejamento inadequado, afetando diretamente áreas essenciais como saúde, educação e infraestrutura no Brasil.

No setor privado, existe o mesmo problema quanto à questão dos prazos, custos e qualidade na entrega de grandes e pequenos empreendimentos, tais como apartamentos, casas, reformas, ferrovias, portos etc. No Brasil, é comum o atraso de entregas de obras devido à falta de uma gestão de projetos eficiente (MATTOS, 2019).

A falta de conhecimento aprofundado sobre as fases do desenvolvimento do projeto que antecedem a execução é um dos principais erros na Engenharia Civil, pois os problemas e soluções deveriam ser identificados no estudo de viabilidade, projeto conceitual, básico e detalhado, considerando as particularidades de cada uma dessas etapas. Mesmo com o uso de ferramentas como o Building Information Modeling (BIM), os problemas persistem nos canteiros de obras quando não há uma gestão efetiva (ALMEIDA; DI AGUSTINI, 2020; MATTOS, 2019).

Essa pesquisa tem como objetivo geral avaliar quais metodologias de gestão de projetos podem ser aplicadas de forma mais eficaz em cada fase do seu desenvolvimento na Engenharia Civil, visando à redução de atrasos e custos na execução das obras.

Os objetivos específicos desta pesquisa são identificar as metodologias de gestão mais adequadas para cada fase do ciclo de desenvolvimento do projeto, que compreende o estudo de viabilidade, projeto conceitual, básico e detalhado; analisar a eficácia da aplicação conjunta dessas abordagens; apontar os principais erros cometidos durante a aplicação dessas metodologias; investigar os fatores que contribuem para o sucesso ou fracasso das implantações; e propor soluções para aprimorar as práticas de gestão, com foco na eficiência, qualidade e cumprimento de prazos e custos.

A escolha deste tema foi motivada pela dificuldade enfrentada pelos gestores da Engenharia Civil em gerenciar de forma eficaz as implantações de projetos públicos e privados, cumprir prazos e controlar custos sem comprometer a qualidade e segurança das

construções.

Este estudo busca aprimorar a gestão de projetos na Engenharia Civil, tanto em obras públicas quanto privadas, visando maior eficiência na entrega dos empreendimentos e benefícios para a sociedade. O artigo está dividido em cinco seções: introdução, fundamentação teórica, procedimentos metodológicos, análise dos resultados e considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na Engenharia Civil, conforme o Conselho Federal de Engenharia Civil (CONFEA), as atividades e atribuições profissionais desta área abrangem o planejamento, a execução e a manutenção de obras essenciais ao funcionamento da sociedade, como edificações, pontes, rodovias, barragens e sistemas de saneamento. A construção desses empreendimentos é temporária, demandam investimentos expressivos e apresentam riscos elevados, exigindo conclusão dentro de prazos e orçamentos previamente definidos. Segundo o PMBOK, um projeto é um esforço temporário voltado à criação de um produto, serviço ou resultado, com objetivos definidos que incluem melhorias na qualidade de vida, geração de valor econômico ou avanços técnicos e operacionais.

A implantação de projetos na Engenharia Civil exige decisões estratégicas e ações coordenadas, com metas claras e recursos adequados para garantir a eficiência dos resultados (TUMAN, 1983). A norma ABNT NBR ISO 10006:2006 reforça essa visão ao definir projeto como um conjunto de atividades coordenadas e controladas, com início e fim determinados, voltadas ao alcance de metas, respeitando prazos, custos e recursos disponíveis.

O principal objetivo de um investimento, especialmente no contexto empresarial da Engenharia Civil, é obter retorno financeiro dentro de um horizonte temporal estimado. Esse retorno pode ser avaliado por meio de indicadores como o retorno sobre investimento (ROI – Return on Investment), que mede a rentabilidade percentual do projeto, e o payback, que estima o tempo necessário para recuperar o capital aplicado. Por isso, é essencial planejar com precisão a quantidade de profissionais envolvidos na elaboração e execução do projeto, considerando as exigências específicas das fases de estudo de viabilidade, projeto conceitual, básico e detalhado (SOARES et al., 2015).

Segundo Project Management Institute (2021), a aplicação do PMBOK na gestão de projetos é um fator decisivo para o sucesso organizacional, pois promove a integração eficiente de áreas como tempo, escopo, custos, qualidade, recursos humanos, aquisições, comunicação entre os envolvidos e riscos que podem surgir ao longo do desenvolvimento do projeto. Assim, com essa abordagem estruturada contribui para maior controle, previsibilidade e alinhamento estratégico com os objetivos previstos.

Para que o gerenciamento de um projeto seja eficiente, é necessário aplicar modelos de gestão testados cientificamente. Diversas abordagens tradicionais, colaborativas e ágeis, conforme descrito na introdução, vêm sendo aplicadas na Engenharia Civil com bons resultados. E na metodologia PMBOK, desenvolvida pelo Project Management Institute (2021), apresenta uma estrutura prática e bem definida, amplamente aplicada na Engenharia Civil por profissionais que buscam organizar os processos com clareza, distribuir responsabilidades com eficiência e garantir qualidade nas entregas. Composta por oito domínios de desempenho, essa abordagem contempla aspectos essenciais da gestão de projetos, como o envolvimento das partes interessadas, a formação da equipe, a escolha da abordagem de desenvolvimento, o planejamento do escopo, cronograma e orçamento,

a execução das atividades, o cumprimento das entregas, o monitoramento do progresso e a gestão das incertezas, permitindo conduzir os projetos desde a concepção até a entrega com foco em controle, previsibilidade e alinhamento estratégico.

O PMBOK é estruturado com base em doze princípios que reforçam valores fundamentais para a condução eficaz dos projetos, sendo a responsabilidade, engajamento, entrega de valor, qualidade, gestão da complexidade, adaptabilidade, transparência, colaboração, domínio do ciclo de vida do projeto, atenção aos riscos, sustentabilidade e inovação com melhoria contínua. Esses princípios orientam a tomada de decisões e fortalecem práticas que contribuem diretamente para o sucesso dos empreendimentos, especialmente em contextos desafiadores como os da Engenharia Civil

A metodologia PRINCE2, criada pelo governo britânico, estrutura a gestão de projetos com sete princípios, sete temas e sete processos que orientam desde a justificativa inicial até o encerramento dos projetos. Os princípios envolvem a definição clara de papéis, controle por estágios, foco na qualidade das entregas e adaptação ao contexto. Os temas tratam de aspectos como estrutura organizacional, critérios de qualidade, planos de entrega, riscos e mudanças. Os processos seguem uma sequência lógica que facilita o planejamento, execução e encerramento. Com isso, a principal vantagem do PRINCE2 está na flexibilidade para aplicação em projetos de diferentes portes, com mecanismos de controle robustos e funções bem definidas, o que contribui para uma gestão mais segura e alinhada aos objetivos estratégicos (AXELOS, 2017).

A metodologia Lean Construction tem origem no sistema de produção da Toyota, o Lean Manufacturing, e foi adaptada à Engenharia Civil com o objetivo de aumentar a eficiência e entregar valor ao cliente por meio da eliminação de desperdícios e da melhoria contínua dos processos. Seus princípios envolvem o uso do *just in time* para evitar estoques excessivos, o controle de qualidade total em todas as etapas, a aplicação do Kaizen como método de aperfeiçoamento constante e o planejamento da produção com ferramentas como o Last Planner System. Essa abordagem promove obras mais organizadas, com maior produtividade, redução de custos, prazos controlados e entregas alinhadas às expectativas do cliente, estimulando também a colaboração entre equipes e o uso racional dos recursos disponíveis, o que contribui diretamente para a melhoria da qualidade e da eficiência dos empreendimentos (GONÇALVES, 2014).

A metodologia IPD (Integrated Project Delivery) é uma abordagem colaborativa que integra pessoas, sistemas, estruturas de negócios e práticas em um processo único e coordenado, promovendo a união dos principais envolvidos desde os primeiros passos do projeto. Seu foco está na atuação conjunta e estratégica, com planejamento integrado, metas comuns e transparência nas decisões. Entre seus princípios estão o compartilhamento de riscos e recompensas, a colaboração desde as etapas iniciais e a troca aberta de informações, o que favorece decisões mais alinhadas, maior previsibilidade nos prazos e custos, e entregas com qualidade. Ao incentivar a cooperação entre os participantes, o IPD contribui para ambientes de trabalho mais seguros, organizados, produtivos, eficientes e colaborativos, com foco na satisfação do cliente. Essa abordagem tem se mostrado eficaz em projetos complexos, especialmente naqueles em que a integração entre as partes é decisiva para o sucesso e o controle dos resultados (AIA 2023).

A metodologia Building Information Modeling (BIM) utiliza modelos digitais tridimensionais para representar com precisão as características físicas e funcionais de um projeto, permitindo sua construção virtual antes da execução e a simulação de cada etapa da obra com alto nível de detalhamento. Essa antecipação técnica facilita o planejamento, melhora a compatibilização entre disciplinas e contribui para a identificação de interferências.

Por integrar informações e ampliar o controle sobre o ciclo de vida dos projetos, o BIM tem sido amplamente adotado nas indústrias de arquitetura, engenharia e construção. No Brasil, sua implementação foi oficializada pelo Decreto nº 10.306, com fases obrigatórias iniciadas em 2021 e previstas até 2028 (MONTEIRO; MARTINS, 2011; TECVERDE, 2023).

A modelagem é realizada por meio de softwares como Civil 3D, Revit, ReCap e InfraWorks, que permitem a criação de modelos digitais detalhados e integrados entre diversas disciplinas, como arquitetura, estruturas, instalações elétricas e hidráulicas. Essa integração favorece a colaboração entre equipes, melhora a comunicação e contribui para decisões mais assertivas ao longo do desenvolvimento do projeto. O BIM se destaca por centralizar informações, permitir simulações que antecipam problemas, reduzir retrabalhos, melhorar o controle de prazos e custos, e estender o ciclo de vida das construções ao incluir operação e manutenção. Entre seus principais benefícios estão a diminuição de erros, uso eficiente de recursos, cumprimento de cronogramas e promoção da sustentabilidade por meio de análises de desempenho energético e ambiental (MONTEIRO; MARTINS, 2011).

A metodologia FEL (Front-End Loading) é aplicada na Engenharia Civil por valorizar as etapas iniciais do ciclo de vida dos projetos, sendo especialmente útil em empreendimentos complexos, de alto investimento e exigência técnica. Seu objetivo é garantir definição precisa de escopo, orçamento e cronograma antes da execução, reduzindo riscos e aumentando a previsibilidade dos resultados. A estrutura é dividida em três fases: FEL1, voltada para estudos de viabilidade econômica, logística e riscos; FEL2, que desenvolve alternativas técnicas, estimativas de custo e projetos conceituais; e FEL3, responsável pelo planejamento da execução, orçamento detalhado e elaboração dos projetos básicos que embasam a decisão final de investimento. Cada fase exige uma aprovação específica, o que evita decisões precipitadas e uso indevido de recursos, contribuindo para maior segurança na tomada de decisão (MERROW, 2024).

Após essas etapas, de acordo com o Merrow (2024), o projeto pode ser autorizado para implantação e segue para o desenvolvimento dos projetos detalhados, com desenhos técnicos, especificações, plano de execução e orçamento final. Essa estrutura permite maior controle de recursos, minimiza imprevistos e favorece entregas dentro dos padrões de qualidade, prazo e custo. Entre os principais benefícios estão a mitigação de riscos nas fases iniciais, a melhoria na precisão das estimativas e a eficiência na execução, fatores que impactam diretamente o sucesso dos empreendimentos.

A metodologia Waterfall, também conhecida como modelo em cascata, é uma abordagem sequencial que organiza o projeto em fases bem definidas, como requisitos, design, implementação, verificação e manutenção. Cada etapa deve ser concluída antes do início da próxima, o que permite controle rigoroso dos processos e maior previsibilidade. Indicada para projetos com escopo estável e baixa probabilidade de mudanças, essa estrutura exige documentação detalhada e avaliações contínuas que evitam retrabalhos e garantem alinhamento com o plano original. Entre seus principais benefícios estão o planejamento estruturado, a facilidade na gestão, o suporte à manutenção e à transferência de conhecimento, além da contribuição para a qualidade em todas as etapas do projeto (DAVIS, 2012).

A metodologia Agile valoriza a flexibilidade, a colaboração e a rápida adaptação às mudanças. Inicialmente desenvolvida para o setor de software, passou a ser aplicada em diversas áreas, inclusive na Engenharia Civil. Baseada em quatro valores e doze princípios, prioriza pessoas, soluções funcionais, colaboração com o cliente e resposta a mudanças, promovendo projetos dinâmicos e alinhados às necessidades reais dos usuários. Seus princípios reforçam a entrega contínua de valor, a aceitação de mudanças em qualquer fase, a

comunicação direta e a busca por excelência técnica com simplicidade. Entre os principais benefícios estão a autonomia das equipes, a colaboração constante e a entrega de produtos mais alinhados às expectativas e demandas específicas de cada projeto, favorecendo resultados consistentes e sustentáveis, especialmente em contextos que exigem decisões ágeis e adaptação contínua (AGILE ALLIANCE, 2001).

A metodologia Scrum é uma abordagem ágil voltada para entregas rápidas em ciclos curtos, eficaz em projetos que exigem flexibilidade, colaboração e adaptação. Criada nos anos 1990, tem se mostrado útil na Engenharia Civil, especialmente em obras complexas com múltiplas frentes e prazos desafiadores. Sua estrutura é composta por três papéis principais: o product owner, que define as prioridades; o scrum master, que facilita os processos; e a equipe de desenvolvimento, responsável pelas entregas. O trabalho é organizado em sprints de duas a quatro semanas, com eventos como planejamento, reuniões diárias, revisão e retrospectiva. Os artefatos incluem o conjunto de demandas, os itens selecionados para cada ciclo e as entregas realizadas. Entre os principais benefícios estão a transparência, a agilidade na resolução de problemas e o foco contínuo na qualidade (SUTHERLAND, 2016).

A metodologia Kanban é uma abordagem visual que busca otimizar o fluxo de trabalho e aumentar a eficiência das equipes, sendo eficaz na organização de tarefas e no controle de processos em projetos de construção civil. Baseia-se na limitação do trabalho em andamento, no gerenciamento contínuo do fluxo e na melhoria progressiva. Utiliza quadros com cartões que representam tarefas em diferentes estágios: solicitado, a fazer, em andamento e concluído. A aplicação ocorre por meio de quadros físicos ou digitais, cartões com informações detalhadas e reuniões de revisão que acompanham o progresso e orientam ajustes. Entre os principais benefícios estão a transparência na visualização do trabalho, a flexibilidade para diferentes tipos de projeto e a eficiência na identificação de problemas, promovendo um ritmo mais equilibrado e produtivo (SILVA, 2023).

A gestão de projetos na Engenharia Civil exige planejamento detalhado e controle rigoroso para lidar com a complexidade e os riscos envolvidos. Metodologias como PMBOK, PRINCE2, Lean Construction, IPD, BIM e FEL oferecem diretrizes consolidadas que contribuem para a condução eficiente dos empreendimentos, promovendo maior previsibilidade, integração entre equipes e alinhamento estratégico.

Com isso, a escolha da metodologia de gestão mais adequada depende do grau de maturidade do projeto e das características de cada fase. Modelos tradicionais, como PMBOK e PRINCE2, são mais indicados quando o escopo está bem definido e as etapas estão bem planejadas. Já abordagens colaborativas, como IPD e BIM, favorecem a integração entre os envolvidos e ajudam a reduzir retrabalho. Em contextos que exigem flexibilidade e entregas contínuas, metodologias ágeis como Scrum e Kanban se mostram mais eficazes. A fundamentação teórica sustenta esta pesquisa ao reunir práticas consolidadas que contribuem para a qualidade, a eficiência e a tomada de decisões ao longo do ciclo de vida dos projetos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho consiste em uma pesquisa qualitativa, com abordagem exploratória e descritiva, baseada em levantamento bibliográfico e documental. Conforme Gil (2022) essa escolha se justifica pela necessidade de compreender, de forma aprofundada, como as metodologias de gestão de projetos são aplicadas na Engenharia Civil, especialmente no contexto da redução de atrasos e custos em obras públicas e privadas.

Segundo Bigão e Moura (2022) a abordagem qualitativa permite analisar os processos

de gestão sob diferentes perspectivas, considerando aspectos técnicos, organizacionais e humanos que influenciam diretamente o desempenho dos projetos.

O processo metodológico adotado neste estudo seguiu uma sequência estruturada: definição do problema e dos objetivos da pesquisa; levantamento bibliográfico e análise documental de normas técnicas; identificação e classificação das metodologias de gestão; avaliação da aplicabilidade em cada fase do ciclo de desenvolvimento de projetos; e, por fim, organização e interpretação crítica dos resultados com base nas diretrizes da ABNT NBR ISO 10006:2006.

Também foram analisados relatórios de órgãos públicos, como o Tribunal de Contas da União (TCU, 2023), que apontam falhas recorrentes na execução de obras financiadas com recursos federais, destacando a relevância de práticas de gestão mais eficazes. Além disso, a pesquisa inclui a análise de documentos técnicos e normativos, com o objetivo de identificar diretrizes relevantes e compreender os fatores que influenciam a aplicação das metodologias de gestão de projetos.

Dessa forma, podemos entender que a definição da metodologia mais adequada para cada tipo de projeto considera critérios como escopo, complexidade, recursos disponíveis, prazos e riscos envolvidos. A comparação entre diferentes abordagens permite propor soluções práticas que contribuam para o aprimoramento da gestão de projetos na Engenharia Civil, com foco na eficiência, qualidade e cumprimento dos prazos.

Além disso, este estudo busca compreender como essas abordagens se aplicam nas diferentes fases dos projetos: estudo de viabilidade, conceitual, básico e detalhado. Cada uma dessas etapas possui características específicas que exigem estratégias distintas de planejamento, controle e tomada de decisão.

Na fase de estudo de viabilidade tem como foco a análise preliminar do empreendimento, considerando aspectos técnicos, econômicos e estratégicos que justifiquem sua continuidade. Já na fase de projeto conceitual exige precisão na definição do escopo e alinhamento estratégico com os objetivos do empreendimento, consolidando os dados validados na etapa de viabilidade (ALMEIDA; DI AGUSTINI, 2020).

Na fase de projeto básico, é necessário desenvolver soluções técnicas preliminares, promover a compatibilização entre disciplinas e estruturar os recursos necessários. Partindo assim, para a fase de projeto detalhado exige o máximo nível de definição técnica, com foco na elaboração de documentos executivos, compatibilização entre disciplinas e detalhamento de soluções construtivas, servindo para a realizar implantação da obra (MATTOS, 2019).

Portanto, essa pesquisa busca identificar quais metodologias apresentam maior aderência às demandas específicas de cada fase, considerando aspectos como flexibilidade, clareza na definição de responsabilidades e capacidade de adaptação às mudanças. Desse modo, essa abordagem ampliada, pretende-se contribuir para uma aplicação mais estratégica das metodologias ao longo do ciclo de vida dos projetos, promovendo maior eficiência e qualidade na gestão de empreendimentos de Engenharia Civil.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos dados obtidos nesta pesquisa indica que é viável aplicar, de forma simultânea, diferentes metodologias de gestão de projetos na Engenharia Civil nas diversas fases de desenvolvimento, conforme os objetivos, prazos e recursos disponíveis. Essa estratégia se mostra especialmente eficaz em obras com elevada complexidade, múltiplas

variáveis e alto grau de incerteza. Ao integrar abordagens distintas, os gestores ampliam a capacidade de adaptação e de supervisão estruturada das etapas do projeto.

Essa abordagem integrada de modelos de gestão de projetos pode facilitar o atendimento dos prazos, orçamentos e padrões de qualidade. Por exemplo, o PMBOK pode ser integrado ao Lean Construction por combinar técnicas de planejamento e controle com práticas voltadas à eliminação de desperdícios e à melhoria contínua dos processos.

A combinação de elementos de diferentes modelos de gestão nas fases de estudo de viabilidade, projeto conceitual, básico e detalhado contribui para uma condução mais eficiente e alinhada às exigências dos projetos contemporâneos. Essa flexibilidade metodológica permite decisões mais assertivas e maior controle sobre os resultados.

Para avaliar a aplicabilidade das metodologias de gestão de projetos em cada fase, foi criada uma escala (0 a 5) fundamentada em três critérios: (I) aderência da metodologia às características técnicas e gerenciais de cada fase; (II) frequência de recomendação nas referências bibliográficas analisadas; e (III) potencial de contribuição para redução de riscos, prazos e custos. Valores mais altos indicam maior alinhamento e relevância para os objetivos da etapa, enquanto valores baixos refletem aplicabilidade limitada ou complementar.

4.1 Integração Metodológica nas Fases de Projeto

Essa pesquisa documental e bibliográfica evidenciou que diversas metodologias de gestão de projetos, entre elas PMBOK (Project Management Body of Knowledge), PRINCE2 (Projects IN Controlled Environments), Lean Construction, IPD (Integrated Project Delivery), BIM (Building Information Modeling), FEL (Front-End Loading), Waterfall, Agile, Scrum e Kanban, podem ser utilizadas de forma simultânea e complementar, quando apropriado. Essa aplicação deve respeitar as particularidades e exigências de cada fase do projeto: estudo de viabilidade, projeto conceitual, básico e detalhado.

4.1.1 Fase de Estudo de Viabilidade

Na fase de estudo de viabilidade, analisa-se se o empreendimento deve avançar para o projeto conceitual ou ser interrompido, com base em critérios técnicos, econômicos, ambientais e estratégicos. A aplicação conjunta das metodologias FEL, PMBOK e PRINCE2 é recomendada por oferecerem suporte à análise de riscos, estimativas preliminares e identificação de alternativas viáveis. Incorporadas com o BIM e Lean Construction que contribuem com simulações, controle de processos e colaboração entre os envolvidos. O objetivo é evitar investimentos em projetos que não apresentem retorno financeiro dentro do horizonte temporal estimado (payback).

Para que o projeto avance ao estágio conceitual, o estudo de viabilidade deve demonstrar maturidade suficiente, mesmo em fase preliminar, comprovando a viabilidade técnica, a atratividade econômica, o alinhamento com os objetivos estratégicos da empresa, a existência de demanda real e o retorno financeiro dentro do prazo estimado. Para isso, é necessário apresentar estudo econômico, análise de riscos, estimativas iniciais de custo e prazo, além de simulações de alternativas técnicas e operacionais. Caso essas condições não sejam atendidas, recomenda-se a interrupção do projeto, evitando o uso indevido de recursos e a mobilização de equipes para empreendimentos.

O estudo topográfico, mesmo em caráter preliminar, deve permitir a caracterização

inicial do terreno com base em informações simplificadas, utilizando ferramentas como curvas de nível do IBGE, cartas DSG, InfraWorks ou QGIS. Essas soluções oferecem visualizações geoespaciais de baixo custo e ajudam a identificar limitações físicas do local. A elaboração deve seguir os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 13133:2021.

A sondagem geotécnica deve reconhecer as condições do subsolo por meio de ensaios SPT, conforme as normas ABNT NBR 6122:2019 e NBR 6484:2020. Mesmo em caráter exploratório, essas investigações são fundamentais para identificar restrições que possam inviabilizar o projeto ou exigir soluções técnicas complexas.

Na fase de estudo de viabilidade, é comum superestimar ganhos, subestimar riscos e tomar decisões com base em dados incompletos, o que pode comprometer a viabilidade do projeto e gerar desperdício de recursos. Para evitar esses erros, é fundamental que a análise seja conduzida com rigor técnico, visão estratégica e apoio de metodologias consolidadas, como FEL, PMBOK e PRINCE2, além do uso de ferramentas como BIM e Lean Construction, que integram práticas de gestão de riscos, estimativas realistas e simulações confiáveis.

Figura 01. Aplicabilidade de metodologias na fase de Estudo de Viabilidade

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

No gráfico (Figura 01) mostra que FEL, PMBOK e PRINCE2 são as metodologias mais aplicáveis na fase de estudo de viabilidade, devido à sua contribuição direta na análise de riscos e decisões estratégicas. BIM e Lean Construction também se destacam, especialmente quando utilizadas de forma integrada. Já metodologias ágeis, como Scrum, Kanban e Agile, apresentaram menor aplicabilidade nesta etapa, sendo mais indicadas para fases posteriores.

4.1.2 Fase de Projeto Conceitual

Na fase de projeto conceitual, o objetivo é transformar o estudo aprovado na etapa de viabilidade em uma proposta técnica inicial que seja funcional, segura e economicamente viável. Essa etapa exige a definição preliminar de sistemas, processos construtivos, tecnologias envolvidas e alternativas de implantação, considerando restrições físicas, legais

e operacionais. A aplicação simultânea das metodologias FEL, PMBOK, PRINCE2 e BIM é recomendada, pois essas abordagens oferecem suporte à estruturação do escopo, à identificação de riscos, à definição de entregas e à modelagem digital do projeto, promovendo maior clareza e integração entre os envolvidos.

O Lean Construction pode ser incorporado para otimizar processos e reduzir desperdícios desde os primeiros estudos técnicos. O IPD contribui com a colaboração entre projetistas, clientes e executores, favorecendo decisões mais alinhadas com os objetivos do empreendimento. Já metodologias como Waterfall, Agile, Scrum e Kanban apresentam aplicabilidade limitada nesta fase, pois demandam maior detalhamento ou ciclos iterativos que ainda não são viáveis no nível conceitual.

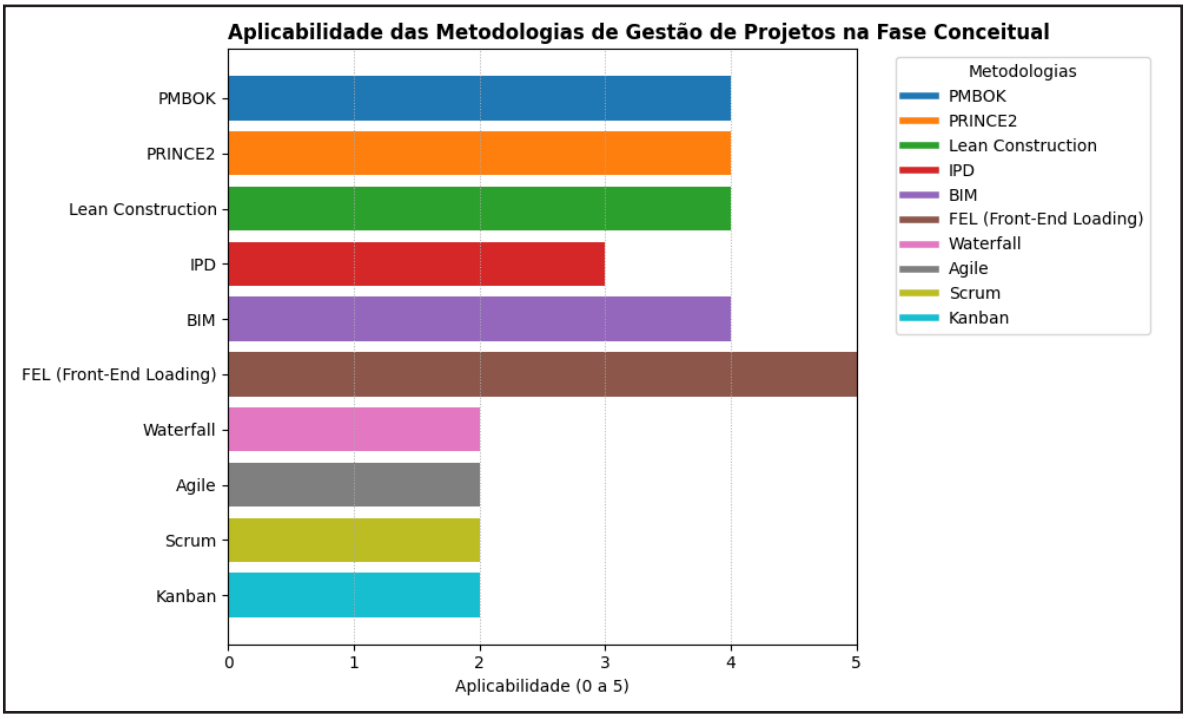
Os documentos elaborados nessa fase devem conter levantamentos topográficos com precisão compatível à finalidade do estudo, podendo ser realizados sem pontos de controle, conforme a ABNT NBR 13133:2021. Também são necessárias sondagens a trado e a percussão com ensaio SPT, com no mínimo três furos e distância máxima de cem metros entre eles, conforme a ABNT NBR 8036:1983. Com base nesses dados, são desenvolvidas plantas preliminares, alternativas de implantação, estimativas de custo e prazo e análises de compatibilidade entre disciplinas. A equipe técnica deve comparar diferentes soluções, como tipos de fundações e traçados geométricos, apresentando os pontos positivos e negativos de cada alternativa para apoiar decisões estratégicas.

O uso do BIM permite simulações tridimensionais, detecção de interferências e visualização integrada das soluções propostas, contribuindo para maior precisão e compatibilização entre disciplinas. Já o FEL, PMBOK e o PRINCE2 auxiliam na definição clara dos produtos do projeto, na estruturação dos processos de gestão e no planejamento estratégico das entregas.

Entre os erros mais comuns nessa fase estão a definição incompleta do escopo, a falta de integração entre disciplinas e a cobrança de entregas que não pertencem a essa etapa. Tais falhas decorrem, em parte, da ausência de domínio sobre as metodologias de gestão, comprometendo a clareza do escopo e das responsabilidades contratuais. Para mitigar esses riscos, é essencial adotar metodologias que favoreçam a estruturação do escopo, a colaboração entre equipes e a análise técnica das soluções propostas. A escolha criteriosa das abordagens nesta fase é decisiva para evitar retrabalho e garantir a consistência técnica do projeto.

O gráfico (Figura 02) indica que FEL, PMBOK, PRINCE2, BIM e Lean Construction têm alta aplicabilidade na fase de projeto conceitual, com destaque para o FEL. Essas metodologias contribuem para a definição do escopo, estruturação das entregas e integração entre disciplinas. O IPD também se mostra relevante por promover colaboração desde o início. Já Waterfall, Agile, Scrum e Kanban apresentam aplicabilidade reduzida, por exigirem maior detalhamento ou por sua natureza iterativa, menos compatível com os objetivos dessa etapa.

Figura 02. Aplicabilidade das metodologias na fase do Projeto Conceitual



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.1.3 Fase de Projeto Básico

A fase de projeto básico representa um avanço no desenvolvimento do empreendimento, consolidando as definições técnicas e econômicas estabelecidas no projeto conceitual. Com a aprovação da diretoria e a validação dos custos de elaboração e implantação, o projeto segue para um nível mais estruturado, exigindo maior precisão nas informações. Nessa etapa, recomenda-se a aplicação conjunta das metodologias PMBOK, PRINCE2, BIM, Lean Construction e IPD, que oferecem suporte à gestão integrada, à compatibilização entre disciplinas e à elaboração de documentos técnicos com maior confiabilidade.

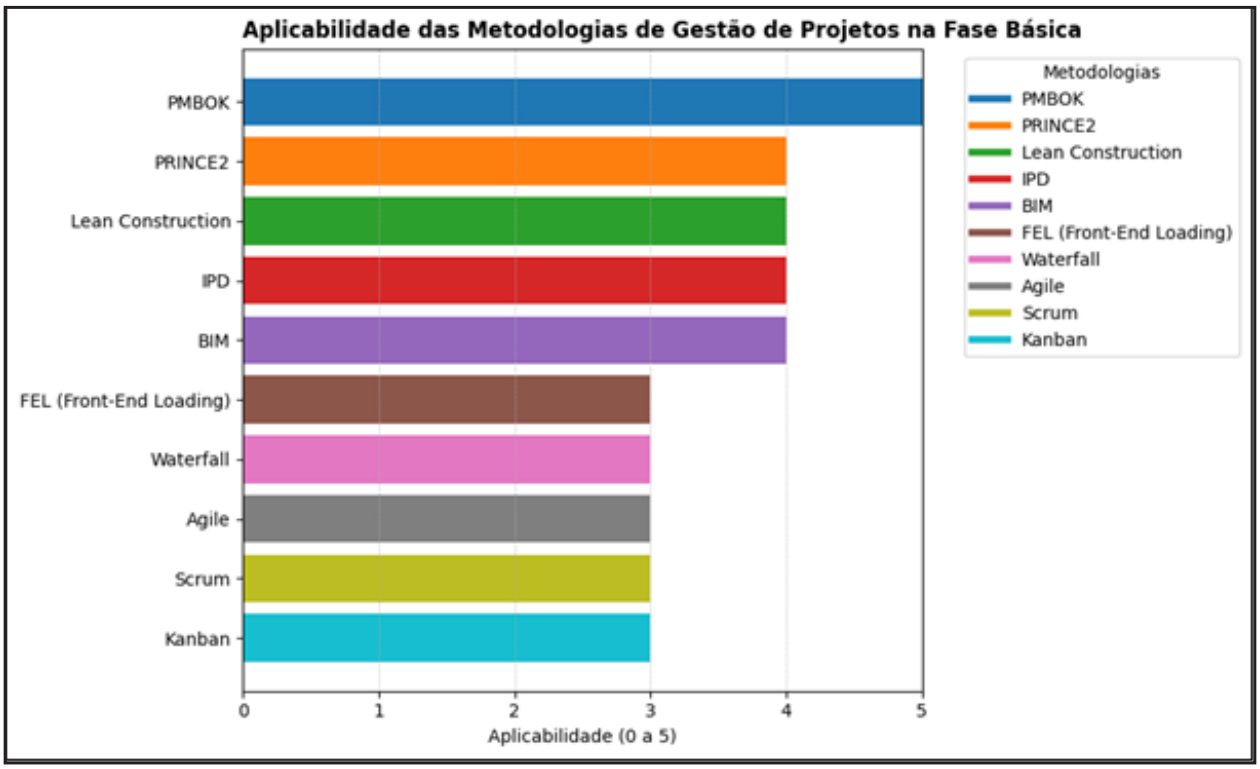
O PMBOK e o PRINCE2 contribuem com estruturas consolidadas para o planejamento, controle de escopo, cronograma e riscos. O BIM permite a modelagem tridimensional e a detecção antecipada de interferências, enquanto o Lean Construction atua na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua dos processos. O IPD promove a colaboração entre projetistas e contratantes, favorecendo decisões compartilhadas, maior alinhamento entre as partes envolvidas e integração das informações desde as etapas iniciais do projeto. Outras metodologias, como FEL, Waterfall, Agile, Scrum e Kanban, podem ser aplicadas com menor intensidade, sendo úteis em atividades que exigem entregas incrementais ou ajustes frequentes.

Os documentos produzidos nessa etapa devem conter plantas compatibilizadas, memoriais descritivos, especificações técnicas, estimativas de custo com maior precisão, cronogramas físico-financeiros e orçamento global. Também são exigidos estudos socioambientais, ensaios laboratoriais de solo, definição de métodos construtivos e subsídios para licitação e gestão contratual (TCU, 2021a). A confiabilidade dessas informações depende da qualidade dos levantamentos topográficos e das sondagens geotécnicas, que devem seguir as normas ABNT NBR 13133:2021, NBR 8036:1983 e NBR 6484:2020.

Entre os erros mais comuns nessa etapa estão a falta de compatibilização entre pro-

jetos complementares, estimativas baseadas em dados desatualizados e a postergação das sondagens geotécnicas para fases posteriores. Esses equívocos comprometem o desenvolvimento técnico e financeira do empreendimento. Para evitá-los, é essencial que o projeto básico seja desenvolvido com dados atualizados, metodologias consolidadas e práticas colaborativas. O uso do BIM, aliado a abordagens como PMBOK, PRINCE2, Lean Construction e IPD, contribui para a consistência técnica e a qualidade dos documentos que servirão de base para o projeto detalhado.

Figura 03. Aplicabilidade das metodologias na fase do Projeto Básico



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O gráfico (Figura 03) demonstra que as metodologias PMBOK, PRINCE2, BIM, Lean Construction e IPD apresentam alta aplicabilidade na fase de projeto básico, com destaque para o PMBOK. Essas abordagens oferecem suporte à gestão integrada, compatibilização entre disciplinas e elaboração de documentos técnicos com maior precisão. Metodologias como FEL, Waterfall, Agile, Scrum e Kanban aparecem com aplicabilidade moderada, sendo úteis em contextos específicos, como projetos com escopo flexível ou que demandem entregas incrementais.

4.1.4 Fase de Projeto Detalhado

Na fase de projeto detalhado, o empreendimento atinge o nível máximo de definição técnica antes da execução. Todas as disciplinas devem ser desenvolvidas com elevado grau de precisão, abrangendo projetos de infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, além dos elementos técnicos que subsidiam diretamente a obra. O levantamento de dados deve ser aprofundado, incluindo topografia, sondagens complementares, estudos geotécnicos e diagnósticos ambientais. Ignorar essa sequência pode comprometer o desenvolvimento do projeto e os prazos estabelecidos entre contratante e contratado. Segundo o Tribunal de Contas da União, a ausência de projetos executivos completos e compatibilizados é uma das principais causas de sobrepreço, aditivos contratuais e paralisações de

obras públicas (TCU, 2021b).

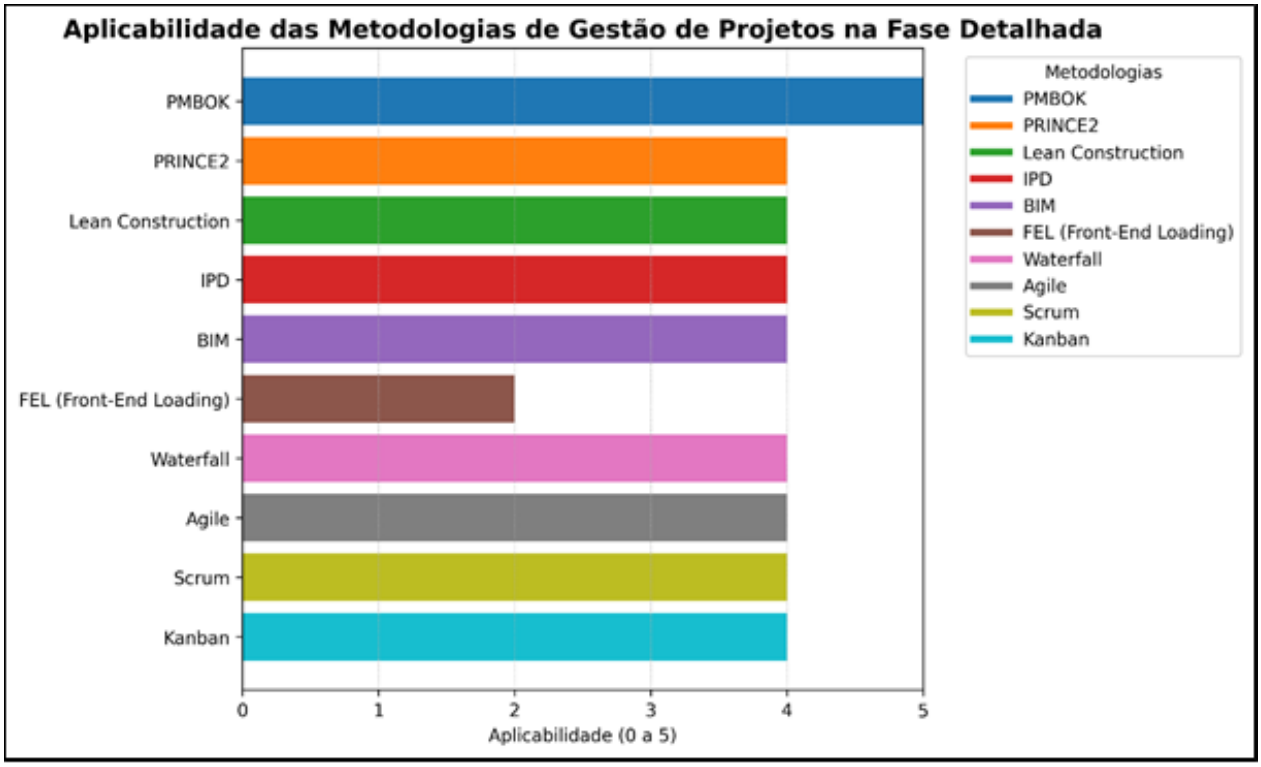
A aplicação simultânea das metodologias PMBOK, PRINCE2, BIM, Lean Construction e IPD é altamente recomendada. O PMBOK e o PRINCE2 oferecem estruturas robustas para o controle de escopo, cronograma, custos e riscos. O BIM permite a geração de modelos tridimensionais detalhados, facilitando a compatibilização entre disciplinas. O Lean Construction atua na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua dos processos, enquanto o IPD reforça a colaboração entre projetistas e executores, promovendo decisões mais alinhadas com a realidade da obra.

Metodologias ágeis, como Agile, Scrum e Kanban, também podem ser aplicadas em atividades que exigem flexibilidade, entregas organizadas por etapas e adaptação contínua. O Waterfall pode ser útil na organização sequencial das etapas, desde que o escopo esteja bem definido. O FEL, com foco nas fases iniciais, tem aplicabilidade reduzida, mas pode contribuir na validação de decisões estratégicas.

Levantamentos topográficos devem ser realizados com equipamentos de alta precisão, como GNSS com correção RTK e drones com lidar, conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 13133:2021. As sondagens geotécnicas devem ser complementares, conforme as normas ABNT NBR 6484:2020; ABNT NBR 8036:1983, NBR 6484:2020 e NBR 6122:2019, podendo incluir o uso de radar de penetração no solo (GPR) para identificar interferências subterrâneas.

Entre os erros mais recorrentes estão a ausência de dados atualizados de topografia, sondagem e GPR, a não compatibilização entre disciplinas, a simplificação excessiva de soluções técnicas e o descumprimento das normas. Esses problemas comprometem a execução e aumentam os custos da obra. A adoção de metodologias adequadas, aliada ao uso de ferramentas digitais e à correta sequência de desenvolvimento, é essencial para garantir a qualidade e o desempenho do projeto.

Figura 04. Aplicabilidade das metodologias na fase do Projeto Detalhado



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O gráfico mostra que PMBOK, BIM, Lean Construction, IPD, PRINCE2 e metodologias ágeis apresentam alta aplicabilidade na fase de projeto detalhado, com destaque para o PMBOK. Essas abordagens oferecem suporte à compatibilização técnica, à gestão integrada e à elaboração de documentos executivos. O Waterfall também se mostra útil em projetos com escopo bem definido, enquanto o FEL tem aplicabilidade reduzida por ser mais adequado às fases iniciais.

4.2 Síntese da Aplicabilidade das Metodologias nas Fases de Projeto

A seguir, apresenta-se uma síntese da aplicabilidade das metodologias de gestão de projetos nas quatro fases estudadas: Estudo de Viabilidade, Projeto Conceitual, Projeto Básico e Projeto Detalhado. A tabela e o gráfico consolidam os resultados obtidos nas análises anteriores, permitindo uma visualização comparativa da evolução do uso de cada metodologia ao longo do ciclo de desenvolvimento dos projetos.

Tabela 01. Aplicabilidade das Metodologias de Gestão nas Fases Estudadas

Metodologia	Estudo de Viabilidade	Fase Conceitual	Fase Básica	Fase Detalhada
PMBOK	4	4	5	5
PRINCE2	4	4	4	4
Lean Construction	3	4	4	4
IPD	2	3	4	4
BIM	3	4	4	4
FEL	5	5	3	2
Waterfall	2	2	3	4
Agile	1	2	3	4
Scrum	1	2	3	4
Kanban	1	2	3	4

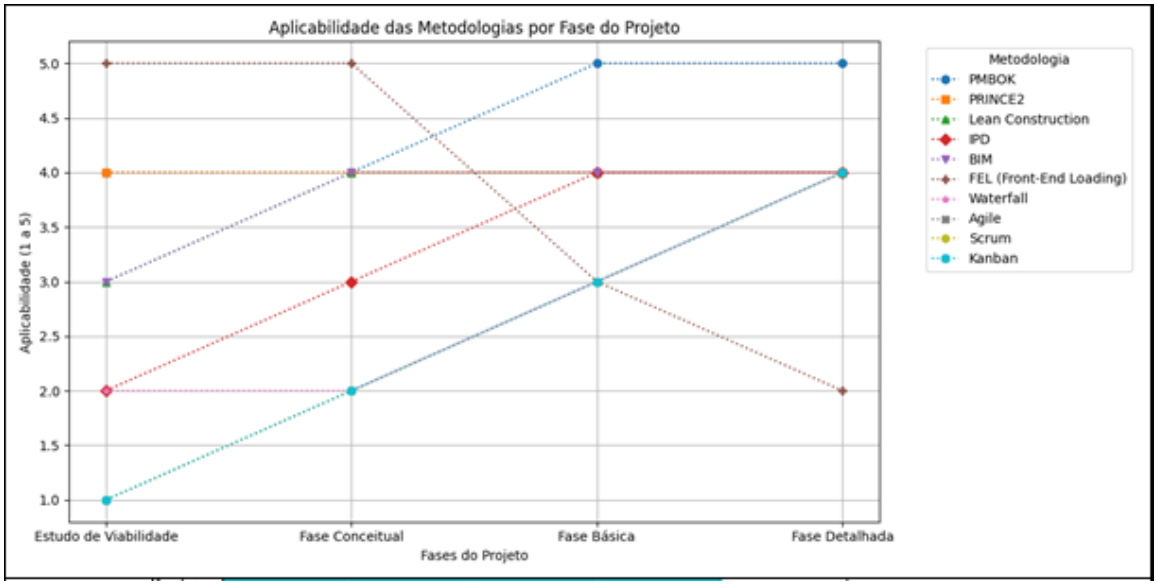
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Tabela 01 apresenta de forma consolidada a aplicabilidade das metodologias de gestão de projetos nas quatro fases estudadas. Os dados permitem uma comparação clara entre os modelos, evidenciando quais abordagens se mantêm consistentes ao longo do ciclo de desenvolvimento e quais possuem aplicabilidade mais específica em determinadas etapas. Essa organização facilita a escolha estratégica das metodologias mais adequadas conforme o nível de maturidade do projeto.

O Gráfico 01 evidencia a aplicabilidade das principais metodologias de gestão de projetos nas fases de estudo de viabilidade, projeto conceitual, projeto básico e projeto detalhado. PMBOK e PRINCE2 mantêm alta aplicabilidade em todas as etapas, evidenciando sua robustez. BIM, Lean Construction e IPD crescem nas fases mais avançadas, acompanhando a necessidade de integração técnica. O FEL se destaca nas fases iniciais, enquanto metodologias ágeis, como Scrum, Kanban e Agile, tornam-se mais relevantes no detalhamento, onde a adaptação e agilidade são essenciais.

A leitura do gráfico revela uma transição entre abordagens estruturadas nas fases iniciais e metodologias adaptativas nas finais. A gestão eficaz exige leitura técnica e sensibilidade para ajustar as ferramentas conforme o contexto. Mais do que aplicar modelos prontos, é preciso compreender os riscos e escolher com discernimento as metodologias mais adequadas. O gráfico orienta decisões que afetam diretamente a qualidade, o custo e o prazo dos projetos.

Gráfico 01. Síntese da aplicabilidade das metodologias nas fases do Projeto



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar quais metodologias de gestão de projetos são mais adequadas para aplicação nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento de projetos de Engenharia Civil, com foco na redução de atrasos, custos e na melhoria da qualidade das entregas. A análise bibliográfica e documental permitiu identificar que a aplicação estratégica e combinada de metodologias consolidadas contribui significativamente para o sucesso dos empreendimentos, tanto públicos quanto privados.

A avaliação das fases de estudo de viabilidade, projeto conceitual, projeto básico e projeto detalhado demonstrou que cada etapa exige abordagens específicas. Metodologias como FEL, PMBOK, PRINCE2, BIM, Lean Construction e IPD se destacaram por estruturar processos nas primeiras etapas de projeto, promover integração entre equipes e garantir maior previsibilidade nos resultados. As abordagens ágeis, como Scrum, Kanban e Agile, mostraram-se eficazes nas fases avançadas, especialmente no projeto detalhado, onde a flexibilidade e a gestão incremental são mais relevantes.

A pesquisa também evidenciou que a falta de clareza na delimitação das fases, a cobrança de entregas fora do escopo, a ausência de dados atualizados e o descumprimento das normas técnicas são fatores que comprometem a eficiência dos projetos. A adoção de metodologias adequadas, aliada ao uso de ferramentas digitais como o BIM e à aplicação das normas da ABNT, é essencial para mitigar esses riscos e garantir maior qualidade técnica.

A síntese apresentada reforça a importância de compreender a aplicabilidade de cada metodologia conforme o nível de maturidade do projeto. A gestão eficaz depende da capacidade dos profissionais em selecionar, adaptar e integrar abordagens, respeitando as especificidades de cada fase e promovendo uma cultura de planejamento, colaboração e melhoria contínua. É importante destacar que aplicar metodologias em conjunto não significa usar todas ao mesmo tempo. Cada projeto, conforme sua complexidade, pode combinar duas ou três abordagens de forma estratégica, cabendo à equipe avaliar quais se complementam melhor. Essa escolha deve ser feita por gestores experientes, capazes

de analisar riscos, prazos e recursos para garantir que a integração seja vantajosa.

Além disso, é fundamental que os profissionais estejam atualizados com as tendências e tecnologias do setor. A comunicação clara entre os envolvidos, o monitoramento constante das atividades e a documentação detalhada de todas as etapas são práticas que fortalecem a tomada de decisão e contribuem para o sucesso dos empreendimentos.

REFERÊNCIAS

AGILE ALLIANCE. **Manifesto for Agile Software Development**. Snowbird, Utah, 2001. Disponível em: https://www.agilealliance.org/agile101/the-agile-manifesto/. Acesso em: 22 abr. 2025.

ALMEIDA, Alvino; DI AGUSTINI, Carlos Alberto. **Análise de viabilidade de projetos**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2020.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS – AIA. **Integrated Project Delivery: A Guide**. Newtown Square, PA: The American Institute of Architects, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520: informações e documentação - citações em documentos - apresentação**. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: referências bibliográficas**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024: Numeração progressiva das seções de um documento**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036: Programa de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10006: Sistemas de gestão da qualidade – Diretrizes para a gestão da qualidade em empreendimentos**. Rio de Janeiro, 2006.

AXELOS. **Managing Successful Projects with PRINCE2**. 6th ed. London: PeopleCert, 2017.

BIGÃO, Fabiana; MOURA, Myrian. **Fundamentos de Gestão de Projetos**. São Paulo: Editora Brasport, 2022.

BRASIL. **Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020.** Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modeling – Estratégia BIM BR. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 3 abr. 2020. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-250007738. Acesso em: 11 out. 2025.

CAMARGO, Marta Rocha. **Gerenciamento de projetos: fundamentos e prática integrada**. 2. ed. Rio de Janeiro: GEN Atlas, 2018.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA (CONFEA). Resolução nº 218, de 29 de junho de 1973. **Discrimina atividades das diferentes modalidades profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia**. *Diário Oficial da União*: Seção 1, Brasília, DF, 31 jul. 1973. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/?id=94865. Acesso em: 22 ago. 2025.

DAVIS, Barbee. **Agile Practices for Waterfall Projects: Shifting Processes for Competitive Advantage**. Boca Raton: J. Ross Publishing, 2012.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GONÇALVES, Pedro Guilherme Ferreira. **Estudo e Análise da Metodologia Lean Construction**. Belo Horizon-

te: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

GRUPO JSOUTO. **Etapas essenciais de um projeto executivo de Engenharia Civil: da concepção à obra com excelência**. Disponível em: https://www.grupojsouto.com.br/site/etapas-essenciais-de-um-projeto-executivo-de-engenharia-civil-da-concepcao-a-obra-com-excelencia/. Acesso em: 19 ago. 2025.

LEHTIRANTA, L. **Risk perceptions and approaches in multi-organizations: A research review 2000-2012**. *Internacional Journal of Project Management*, 2014.

LIBRARY. **Estudos geotécnicos – Projeto básico – definições e conceitos**. *In:* **Manual para Elaboração de Estudos e Projetos de Engenharia**. Disponível em: https://1library.org/article/estudos-geot%C3%A9cnicos--projeto-b%C3%A1sico-defini%C3%A7%C3%B5es-e-conceitos.y8g9owd4. Acesso em: 17 ago. 2025.

MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e Controle de Obras**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MERROW, Edward W. **Industrial Megaprojects: Concepts, Strategies, and Practices for Success**. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2024.

MONTEIRO, André; MARTINS, João Poças. **Building Information Modeling (BIM) – teoria e aplicação**. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING – ICEUBI2011*, University of Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2011. Disponível em: https://hdl.handle.net/10216/69849. Acesso em: 15 mar. 2025.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)**. 7th ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2021.

QUEIROZ, Rudney C. **Introdução à Engenharia Civil: história, principais áreas e atribuições da profissão**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2019.

SANEAGO. **Manual de Projetos – Módulo 01.06 – Projeto Básico**. Goiânia: SANEAGO, 2023. Disponível em: https://www.saneago.com.br/2023/arquivos/manual-projetos/01-INTRODUCAO/IT00.0705-01.06-Projeto-Basico.pdf. Acesso em: 17 ago. 2025.

SILVA, Welton Brenno da. **Aplicação do método Kanban em obras civis: um estudo de caso em uma empresa emblemática de construção civil em Pernambuco**. Caruaru: Universidade Federal de Pernambuco, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/50994. Acesso em: 16 mar. 2025.

SOARES, Maria Isabel *et al.* **Decisões de investimento: análise financeira de projetos**. 4. ed. rev. e corrigida. Porto: Faculdade de Economia da Universidade do Porto, 2015. Disponível em: https://hdl.handle.net/10216/82888. Acesso em: 16 mar. 2025.

SUTHERLAND, Jeff. **Scrum: a arte de fazer o dobro do trabalho na metade do tempo**. 2. ed. São Paulo: LeYa, 2016.

TECVERDE. **Implementação do BIM no Brasil: fases e desafios**. Araucária: Tecverde, 2023. Disponível em: https://www.tecverde.com.br/artigo-implementacao-bim. Acesso em: 19 abr. 2025.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). **Brasil tem 8,6 mil obras paralisadas financiadas com recursos federais**, nov. 2023. Disponível em: https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/brasil-tem-86-mil-obras-paralisadas-financiadas-com-recursos-federais. Acesso em: 28 mar. 2025.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). **Projeto básico (PB)**. *In:* **Licitações e contratos**. Brasília: TCU, 2021a. Disponível em: https://licitacoesecontratos.tcu.gov.br/4-4-3-projeto-basico-pb/. Acesso em: 16 ago. 2025.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). **Projeto executivo**. *In:* **Licitações e contratos**. Brasília: TCU, 2021b. Disponível em: https://licitacoesecontratos.tcu.gov.br/4-4-4-projeto-executivo/. Acesso em: 06 out. 2025.

TUMAN, G. J. **Development and implementation of effective project management information and control systems**. *In:* CLELAND, D. I.; KING, W. R. (org.). **Project management handbook**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983.

MANUTENÇÃO EM PONTES METÁLICAS

MAINTENANCE ON METAL BRIDGES

Raissa Santana Pinheiro
José Hélio Oliveira Santos Sobrinho

2

Pascal
Editora

RESUMO

Este estudo aborda a relevância das manutenções em pontes metálicas, destacando que a ausência dessas intervenções pode favorecer o surgimento de patologias estruturais, como corrosão, fadiga e deformações, comprometendo a integridade, estabilidade e segurança da estrutura e dos usuários. São apresentadas as principais patologias que podem se manifestar ao longo da vida útil da ponte, bem como os métodos de conservação recomendados, como aplicação de pintura anticorrosiva, inspeções visuais periódicas e elaboração de planos de manutenção preventiva e corretiva. O problema central investigado refere-se aos impactos negativos que uma ponte metálica pode sofrer quando não recebe manutenção adequada e regular por profissionais habilitados. O objetivo é evidenciar a importância dessas ações para evitar manifestações patológicas que possam comprometer o desempenho estrutural. Assim, reforça-se a necessidade de práticas de conservação eficientes, que garantam a durabilidade da ponte e a segurança dos usuários ao longo do tempo. É de responsabilidade pública, tanto aos gestores quanto à sociedade, que essas manutenções sejam realizadas, pois se trata de um bem comum a todos em prol da melhoria econômica e crescimento coletivo.

Palavras-chave: Patologias. Corrosão. Fadiga. Deformação. Manutenção

ABSTRACT

This study addresses the importance of maintenance in metallic bridges, emphasizing that the absence of such interventions can lead to the emergence of structural pathologies such as corrosion, fatigue, and deformations, which compromise the integrity, stability, and safety of the structure and its users. It presents the main pathologies that may arise throughout the bridge's service life, as well as recommended conservation methods, including the application of anti-corrosive paint, periodic visual inspections, and the development of preventive and corrective maintenance plans. The central issue investigated concerns the negative impacts a metallic bridge may suffer when it does not receive proper and regular maintenance by qualified professionals. The objective is to highlight the importance of these actions in preventing pathological manifestations that could impair structural performance. Thus, the need for efficient conservation practices is reinforced to ensure the bridge's durability and user safety over time. It is a public responsibility both for managers and society that such maintenance be carried out, as it is a common good that benefits economic improvement and collective growth.

Keywords: Pathologies. Corrosion. Fatigue. Deformation. Maintenance.

1 INTRODUÇÃO

As pontes metálicas surgiram com a finalidade de construção de estruturas mais resistentes, duráveis e versáteis, tendo como vantagens facilidade na montagem e, na fabricação possibilitando suportar grandes cargas de tráfego, porém, assim como todo material, necessita de uma manutenção com o intuito de prolongar a vida útil da estrutura e manter a segurança dos usuários.

Este estudo se justifica pela importância da manutenção das pontes metálicas, para garantir a segurança e a durabilidade dessas estruturas essenciais. Sabe-se que as pontes metálicas, ao longo do tempo, são sujeitas a vários fatores de desgastes que compromete a segurança dos usuários e gera custos altos para realizar reparos emergenciais. Portanto, a conservação adequada dessas pontes é fundamental para garantir a integridade das vias de transporte e proteger quem passa por elas.

Quais os principais impactos que afetam diretamente uma ponte metálica que comprometem a estabilidade e durabilidade da estrutura e a segurança para seus usuários, ocasionados pela falta de manutenções regulares como preventivas e manutenções corretivas?

O objetivo do estudo deu-se por apresentar a importância das manutenções em pontes metálicas e os impactos da falta dessas ações de conservação das estruturas, apresentando as patologias mais comuns ocasionadas pela falta das manutenções e descrevendo os principais métodos de conservação de uma ponte metálica.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A pesquisa foi baseada em uma revisão de literatura, na qual foi analisado dados sobre as patologias das pontes metálicas e as manutenções a fim de tornar a vida útil da estrutura mais durável. A pesquisa foi realizada utilizando bases de dados como o Google Acadêmico e selecionando trabalhos publicados nos últimos dez anos para consulta, com exceção de trechos de definições com critério normativo, como a NBR 8800/08 Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto e a NBR 5462/1994 Confiabilidade e mantenabilidade. Foram pesquisados livros, dissertações e artigos científicos com as seguintes palavras-chave: “patologias”, “corrosão”, “fadiga”, “deformação” e “manutenção”.

2.2 Resultados e Discussão

O surgimento das pontes metálicas se deu com o início das ferrovias, na necessidade de suportar o transporte de cargas elevadas, no século XVIII, feitas inicialmente com ferro fundido e em arcos. Com a chegada da revolução industrial, o aço foi produzido em massa no século XIX, tornando-se o principal material na construção de pontes (Vitório, 2015).

Como toda e qualquer estrutura, assim como as pontes metálicas, devem ser realizadas manutenções adequadas para a sua conservação, que na falta das mesmas, podem causar problemas significativos, sendo os principais, corrosão, fadiga e deformação, comprometendo a estabilidade da construção, a segurança e a sua vida útil (Silva, 2022).

A corrosão é um dano recorrente que provoca perda de material diminuindo a resistência da estrutura. A fadiga é ocasionada por cargas cíclicas, ou seja, esforços que se re-

petem ao longo do tempo, variando de um valor mínimo a um valor máximo, ocasionando o aparecimento de trincas e fissuras na estrutura. A deformação plástica é uma mudança permanente na construção devido a exposição a níveis de tensão superiores ao qual suporta (Vitório, 2015).

As pontes, por serem estruturas externas, estão propícias a corrosão, sendo um processo ocasionado pelo contato químico, físico ou eletroquímico do material metálico com o meio ambiente, podendo ser agravado com os esforços mecânicos, forças internas, tensão, compressão, flexão, torção, e externas, como o peso da própria estrutura, veículos, vento, além de ser mais suscetível a fatores climáticos, chuva, radiação solar e poluentes, como o salitre (Vale, 2021).

De acordo com a ABNT NBR 8800/08 sobre a corrosão:

> Uma corrosão significativa ao aço acontece somente quando a umidade relativa do ar for superior a 80% e em temperaturas superiores a 0°C. Entretanto, se agentes poluentes ou sais higroscópicos estiverem presentes, a corrosão pode ocorrer em umidades relativas inferiores (NBR 8800/2008, Anexo N, p.163).

A corrosão em pontes metálicas pode se apresentar em algumas formas específicas como uma forma alveolar, que apresenta fundo amarelado e com profundidade menor que o diâmetro, puntiforme ou por pite, na qual se apresenta de forma angulosa e com profundidade maior que o diâmetro, em forma de frestas onde ocorrendo em regiões de pequeno volume e estagnados como entre duas chapas parafusadas e da forma de esfoliação na qual ocasiona separação das camadas (Vitório, 2015).

Para evitar a formação de corrosão em aspecto inicial pode ser realizada manutenções preventivas, que para fins de conceito, é uma manutenção realizada de forma antecipada com o intuito de não gerar patologias, deve ser realizada de forma periódica seguindo um planejamento prévio (NBR 5462,1994).

As manutenções devem ser realizadas de forma periódica na qual são realizadas a partir de cronogramas advindos de um plano de manutenção, dessa forma as manutenções preventivas são realizadas com maior organização evitando as patologias na estrutura e também evitando as manutenções corretivas, esta que, por sua vez, requer um custo mais elevado para correção das falhas (Ricco, 2024).

Outro ponto importante para evitar o processo de corrosão da estrutura é ter um procedimento de soldagem adequado, evitando imperfeições na solda. Um processo de soldagem irregular dificulta a aplicação da pintura de forma eficiente, devido as imperfeições, além de acarretar acúmulo de sujeira nas laterais da superfície irregular. Já uma soldagem feita de forma regular, a pintura anticorrosiva é aplicada de forma uniforme sendo mais eficaz na sua finalidade (Vitório, 2015).

A figura 1 mostra a forma irregular de soldagem comparando com a forma adequada, em quem na primeira parte da imagem a superfície de forma completamente sinuosa apresentando várias irregularidades o que dificulta a aplicação da tinta. Na segunda parte da imagem mostra a superfície alisada, porém de forma insuficiente gerando acúmulo de sujeira nos cantos e na terceira parte da imagem mostra a forma adequada de soldagem (Vitório, 2015).

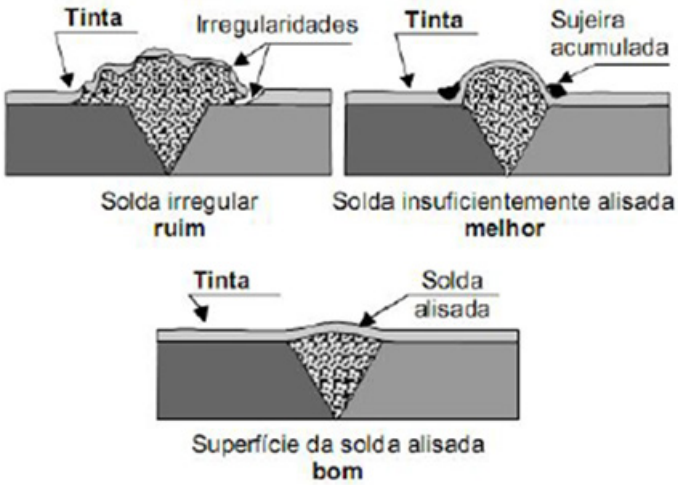


Figura 1. Exemplos de soldagem adequadas

Fonte: Vitório (2015, p. 22)

No processo de soldagem é originada uma camada não metálica protetora advinda de resíduos fundidos que se solidifica sobre o metal que foi soldado, porém deve ser retirada antes da aplicação da pintura anticorrosiva, pois impede que a aderência do produto na superfície metálica podendo gerar corrosões, descascamentos e falhas (Vitório, 2015).

A pintura anticorrosiva é uma das técnicas na prevenção de patologias das estruturas metálicas ocasionadas pelos efeitos de corrosão. No caso de pontes metálicas, por serem estruturas externas, existem tipos de tintas para esse método de prevenção, pois depende dos fatores no meio ambientes aos quais a estrutura está exposta (Ricco, 2024).

Para utilizar esse tipo de proteção é necessário classificar o grau de corrosividade de acordo com os níveis ao qual depende do ambiente, em casos de corrosão atmosférica, das categorias do solo e da água, em casos de corrosão pelo solo e pela água, e do tipo de clima da região em que a estrutura foi construída, como mostra a tabela abaixo (ISO – 12944-2, 2017).

Nota-se na tabela 1 que as categorias de corrosividade depende do local em que a estrutura foi construída, no caso de pontes, o grau de corrosão é a partir do nível C2, considerado baixo, onde a ponte foi construída em áreas rurais na qual o nível de poluição é baixo, e a classificação vai até o nível CX, considerada corrosão extrema, encontrada em áreas com alta salinidade e umidade atmosférica extrema (ISO-12944-2, 2017).

Antes da aplicação da pintura anticorrosiva é necessário que a superfície seja preparada, segundo a norma ISO 8501-1 (Preparação de substrato de aço antes da aplicação de tintas e produtos similares, 2007, p.5), “O desempenho de um revestimento protetivo por tintas e produtos similares aplicados sobre o aço é substancialmente afetado pelo estado das superfícies imediatamente antes da aplicação da tinta.” Para que o processo de pintura de proteção à corrosão seja realizado de forma eficaz.

Estes são alguns tipos de prevenção contra ao fenômeno da corrosão em uma ponte metálica, como a definição ainda em projeto do tipo de proteção anticorrosiva, das formas de cada peça metálica com a finalidade de evitar o acúmulo de água, a forma correta de soldagem entre as peças e a aplicação de forma eficaz da proteção do material por meio de pintura (Vale, 2021).

Tabela 1. Categorias de corrosividade atmosférica

Categorias de corrosividade	Perda de massa por unidade de superfície/perda de espessura (após primeiro ano de exposição)				Exemplos de ambientes típicos em clima temperado (apenas informativo)	
	Aço de baixo carbono		Zinco		Exterior	Interior
	Perda de massa (g/m²)	Perda de espessura (µm)	Perda de massa (g/m²)	Perda de espessura (µm)		
C1 Muito baixa	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Ambientes aquecidos com atmosferas limpas. Ex.: escritórios, hotéis, shoppings, escolas
C2 Baixa	>10 a 200	>1,3 a 25	>0,7 a 5	>0,1 a 0,7	Atmosferas com baixo nível de poluição. Predominante em áreas rurais	Ambientes não aquecidos onde pode ocorrer condensação Ex.: armazéns, áreas de esportes
C3 Média	>200 a 400	>25 a 50	>5 a 15	>0,7 a 2,1	Atmosferas urbanas e industriais, com poluição moderada de dióxido de enxofre. Áreas costeiras com baixa salinidade	Salas de produção com alta umidade e alguma poluição. Ex.: fábricas de alimentos, lavanderias, cervejarias, laticínios.
C4 Alta	>400 a 650	>50 a 80	>15 a 30	>2,1 a 4,2	Áreas industriais e áreas costeiras com salinidade moderada	Indústrias químicas, piscinas, navios de cabotagem e estaleiros.
C5 Muito alta	> 650 a 1.500	>80 a 200	>30 a 60	>4,2 a 8,4	Áreas industriais com alta umidade e atmosfera agressiva e áreas costeiras com alta salinidade	Edificações e áreas com condensação quase permanente e com alta poluição
CX Extrema	>1.500 a 5.500	>200 a 700	>60 a 180	>8,4 a 25	Áreas de *offshore* com alta salinidade e áreas industriais com umidade extrema e atmosfera agressiva e atmosferas tropical e subtropical	Áreas industriais com umidade extrema e atmosfera agressiva
NOTAS: Os valores de perda utilizados para as categorias de corrosividade são idênticos aos fornecidos na norma ISO 9223.						

Fonte: ISO-12944-2 (2017, p. 9)

A fadiga em estruturas metálicas, como pontes, é outra patologia que se dá por meio de degradações progressivas, ou seja, é um processo gradual que ocorre devido as variações das cargas na estrutura ao longo do tempo, o que se chama de tensões cíclicas. Essas variações de cargas em pontes se dão pelo peso dos veículos, de vários tamanhos e pesos, que passam constantemente sobre elas, causando fissuras e trincas (Martins, 2020).

Quando o material metálico atinge seu estado limite, ou seja, atingindo o ponto máximo e o ponto mínimo dos valores de resistência, de forma cíclica, o material perde a capacidade de resistir a essas variações contínuas, que inicialmente origina microfissuras imperceptíveis a "olho nu", posteriormente ocasiona o surgimento de fendas e por fim, essas fendas se tornam fissuras instabilizando a estrutura na qual pode obter uma ruptura (Martins, 2020).

Para evitar esse tipo de patologia, é necessário realizar inspeções visuais de forma recorrente, com a finalidade de elaborar estratégias para a manutenção da estrutura e nos dias atuais existem métodos desenvolvidos como ultrassom, magnetoscopia, radiografia e aplicação de líquidos penetrantes, o que complementa o processo de vistoria nas pontes metálicas, para garantir a integridade da estrutura e prevenção de falhas (Silva, 2022).

A função do ultrassom em uma estrutura metálica aplica ondas sonoras de frequências elevadas para detectar falhas internas no material identificando trincas, fissuras e

espessuras irregulares. Essas irregularidades podem advir desde o processo de fabricação da peça como bolhas de gás originadas no ferro fundido, dupla laminação, escórias originadas a partir do processo de soldagem e outros (Silva, 2022).

No processo de ultrassom, assim como as ondas sonoras emitidas podem refletir quando encontra um anteparo, a ausência dessa reflexão pode incidir uma descontinuidade da peça, ou seja, caracterizando uma falha interna e assim encontrando uma microfissura (Silva, 2022).

A radiografia, por meio da radiação ionizante, ou seja, raios gama, revela falhas internas. Esse processo envolve a permissão da passagem da radiação pelo material ferroso ou não ferroso, sendo que, quando é detectado o defeito aponta-se níveis de densidade diferentes e com isso cria-se uma imagem no filme radiográfico ou em um detector digital, como mostra a figura 2 (Andreucci, 2020).

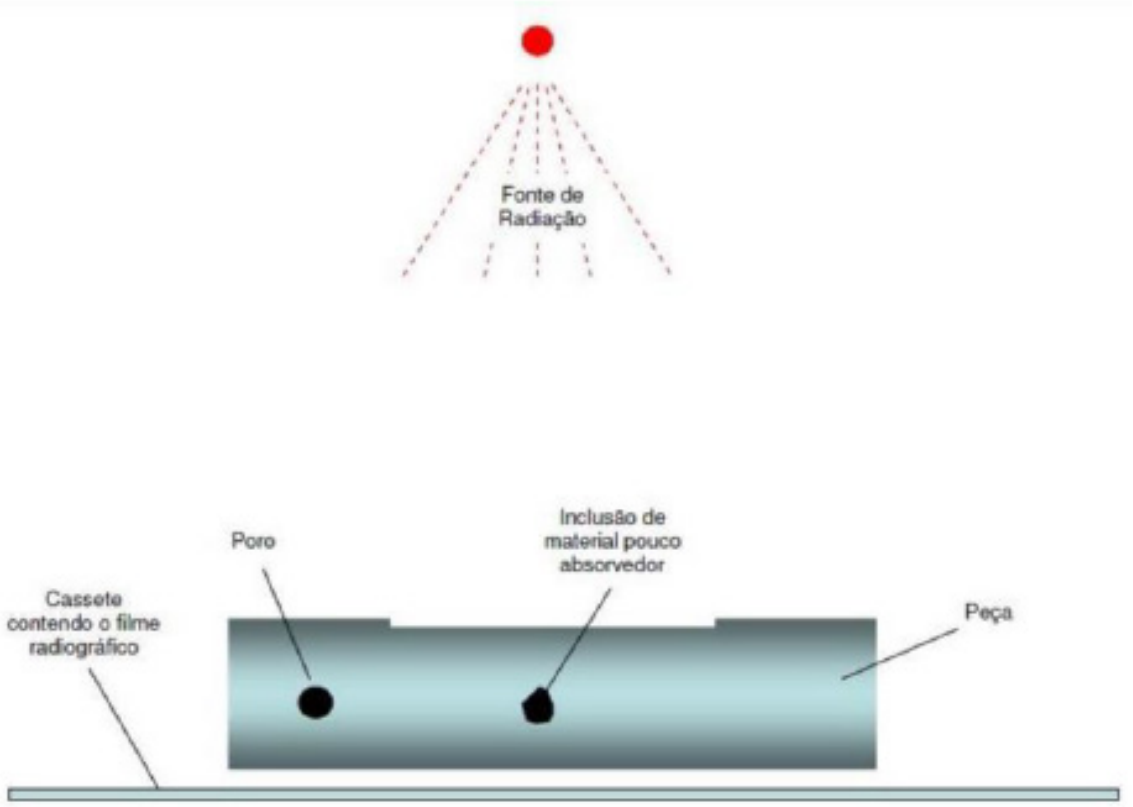


Figura 2. Ensaio radiográfico

Fonte: Silva (2022)

A magnetoscopia usa de campos magnéticos para detectar descontinuidades superficiais em materiais ferromagnéticos, ou seja, materiais que possuem forte magnetismo e são atraídos por campos magnéticos externos. A aplicação de líquidos penetrantes é usada para observar fissuras e trincas em locais não porosos, como superfícies contínuas, lisas e sem cavidades (Silva, 2022).

A aplicação do líquido penetrante consiste em detectar as descontinuidades da estrutura que existem de forma superficial que sejam abertas, como fissuras e trincas e assim como todo procedimento, essa aplicação possui etapas que consiste em primeiramente realizar uma limpeza onde será aplicado o líquido, na qual não podem constar nenhum tipo de óleo, água, ferrugem ou outro contaminante, como mostra a figura 3 (Andreucci, 2020).

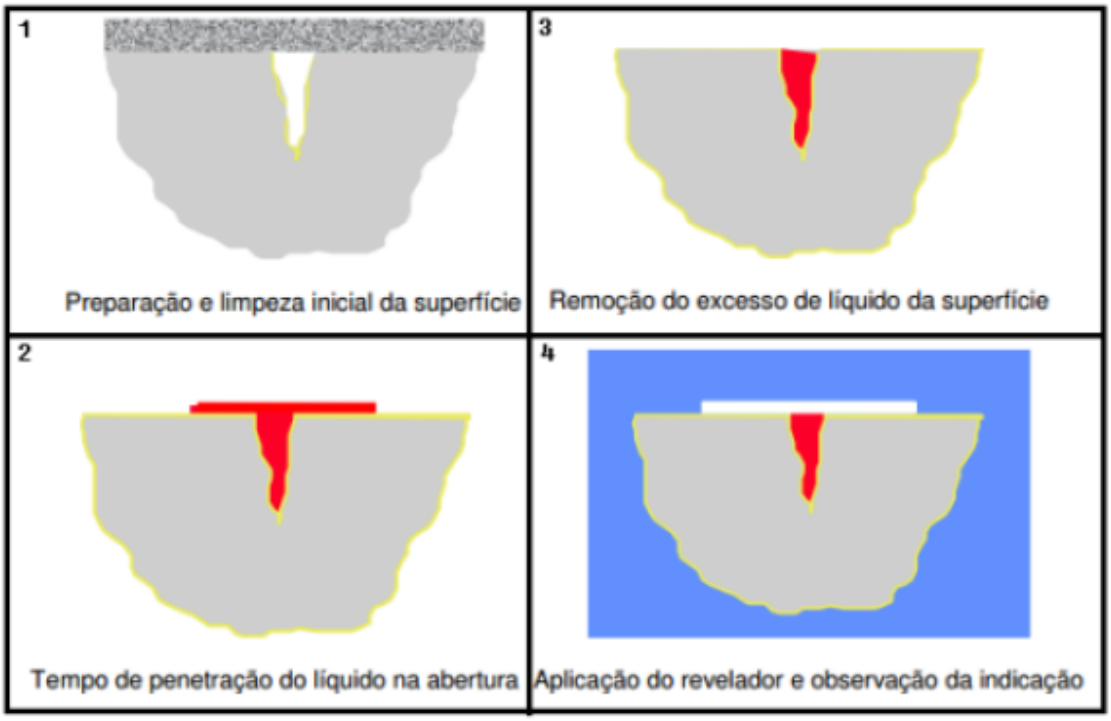


Figura 3. Passo a passo da aplicação do líquido penetrante

Fonte: Silva (2022)

Após a limpeza é aplicado o líquido penetrante que pode ser na cor vermelha ou fluorescente, que por capilaridade penetra nas cavidades da estrutura, remove-se o excesso do líquido e após é aplicado um spray ou pó fino branco revelando os locais de descontinuidade da peça (Andreucci, 2020).

As deformações em pontes metálicas são causadas por sobrecargas de forma excessiva as quais não foram previstas em projeto, assim como defeitos térmicos e falhas na resistência e rigidez da estrutura, podendo levar a estrutura ao seu estado limite, ou seja, estado na qual a estrutura não atende mais as exigências para as quais foi destinada, como pode-se visualizar na figura 4 (Dias, 2020).

Figura 4. Deformação de um pilar

Fonte: Dias (2020)

As deformações também podem ser originadas como consequência das outras patologias, como por exemplo a corrosão, as fissuras e fadigas na estrutura, podem gerar ten-

sões, que ao longo do tempo, podem ocasionar deformações de forma perceptível, além disso, falhas no projeto e na exceção da obra, podem também ser fatores relevantes para o surgimento de deformações (Dias, 2020).

O especialista encarregado do projeto precisa avaliar cuidadosamente cada caso, no ato das inspeções periódicas necessárias e determinar se um deslocamento específico pode ser classificado como um estado-limite reversível ou não, assim elaborando um planejamento para reforçar a estrutura e corrigir as falhas (NBR 8800, 2008).

Toda e qualquer inspeção, análise e avaliação da estrutura deve ser realizada por um profissional habilitado para a função, pois exige muito do conhecimento sobre as patologias para que elabore uma estratégia de manutenção corretiva da construção, com a finalidade de manter a integridade e segurança (Ricco, 2024).

Manutenção quer dizer aumento da vida útil da construção, aumentando assim a sua estabilidade e durabilidade, com as manutenções de forma periódica tornam as medidas de manutenção, sendo essas corretivas ou preventivas, mais eficazes e diminuindo os eventos de problemas patológicos na estrutura metálica, sendo realizadas através de um plano de manutenção (Vale, 2021).

Com o plano de manutenção, torna possível as realizações de mais manutenções preventivas, do que as corretivas, pois corrige o problema patológico antes que o desgaste da estrutura aumente, mas quando a preventiva não é feita de forma regular, é necessário fazer uma manutenção de forma emergencial e aumentando o valor da manutenção gerando impactos econômicos (Vale, 2021).

3 CONCLUSÃO

A manutenção de pontes metálicas é um fator determinante para garantir a segurança estrutural e a preservação da vida útil dessas obras. A negligência nesse aspecto pode resultar em patologias como corrosão, fadiga e deformações, comprometendo a estabilidade da ponte e colocando em risco os usuários. A atuação de profissionais habilitados é essencial para identificar precocemente esses problemas e aplicar soluções técnicas adequadas.

Além dos riscos estruturais, a falta de manutenção pode gerar impactos econômicos significativos, como a necessidade de intervenções emergenciais e altos custos com reparos. Métodos preventivos, como inspeções visuais regulares e aplicação de revestimentos anticorrosivos, são eficazes para evitar danos maiores. A adoção de planos de manutenção preventiva e corretiva contribui para a longevidade da estrutura e reduz a possibilidade de falhas inesperadas. Investir em conservação é, portanto, uma medida estratégica e sustentável.

Diante disso, é necessário refletir sobre a responsabilidade coletiva na preservação das infraestruturas urbanas. O estudo cumpre seu objetivo ao evidenciar que a manutenção periódica é fundamental para evitar manifestações patológicas e garantir a segurança dos usuários. Cuidar das pontes metálicas é cuidar da mobilidade, da economia e, sobretudo, da vida. Afinal, estruturas bem conservadas sustentam não apenas caminhos, mas também o progresso de uma comunidade.

REFERÊNCIAS

ANDREUCCI, Ricardo. **Líquidos Penetrantes.** São Paulo: ABENDI – Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos, 2019. Disponível em: http://www.abendi.org.br. Acesso em: 15 de ago. 2025.

ANDREUCCI, Ricardo. **Radiologia Industrial.** São Paulo: ABENDI – Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos, 2020. Disponível em: http://www.abendi.org.br. Acesso em: 15 de ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5462: **Confiabilidade e mantenabilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 8501-1: **Preparação de substratos de aço sem pintura e de substratos de aço após a remoção total da pintura existente**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 12944-2: **Tintas e Vernizes – Proteção de Estruturas de aço Mediante Sistemas de Pintura Anticorrosiva.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

DIAS, Helder. **Avaliação da capacidade de deformação à flexão de elementos metálicos**. 2020. 61 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – U. Porto, FEUP – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2020.

RICCO, Marcelo. **A importância da manutenção periódica em estruturas metálicas visando garantir a segurança e durabilidade**. 2024. 12 f. Artigo (Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Civil) – UNI Uniara, Universidade de Araraquara Unidade de Ensino, São Paulo, 2024.

MARTINS, Miguel. **Avaliação do comportamento à fadiga de uma ponte ferroviária metálica.** 2020. 130 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – U. Porto, FEUP – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2020.

SILVA, Igor. **Métodos de inspeção por ensaios não destrutivos: treinamento de uma capacitação interna de uma empresa**. 2022. 60 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso – Engenharia mecânica) – Escola de Minas Engenharia Mecânica, UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

VALE, F. et al. **A prevenção de alterações em estruturas metálicas visando a sustentabilidade**. Curitiba: Brazilian Journal of Business,2021. Disponível em: https://doi.org/10.34140/bjbv3n1-022. Acesso em: 16 abr. 2025.

VITÓRIO, José. **Pontes metálicas e mistas – Tópicos de conservação, danos e reforços estruturais**. 2015 56 f. Monografia (Pós graduação – Engenharia civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, UPE – Universidade de Pernambuco, Pernambuco, 2015.

BIM E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: AVANÇOS TECNOLÓGICOS PARA A PREDIÇÃO E EFICIÊNCIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

BIM AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: TECHNOLOGICAL ADVANCES FOR PREDICTION AND EFFICIENCY IN CIVIL CONSTRUCTION

Thallynson Patrick Ramos Rocha

3

Pascal
Editora

RESUMO

A relação entre Inteligência Artificial (IA) e Building Information Modeling (BIM) emerge como um dos movimentos mais transformadores da engenharia civil contemporânea, especialmente quando se considera o potencial da análise preditiva para gestão de obras. Este trabalho parte do problema da fragmentação de dados em diferentes etapas do ciclo de vida das construções, o que historicamente tem gerado falhas de comunicação, aumento de custos e atrasos em cronogramas. O objetivo geral foi analisar como a integração entre IA, BIM e machine learning pode contribuir para maior precisão na previsão de riscos, custos e prazos em projetos de construção civil. Para tanto, adotou-se metodologia de revisão de literatura com foco em pesquisas recentes publicadas entre 2018 e 2024, extraídas de bases indexadas como Scopus e Web of Science, a partir do cruzamento de descritores relacionados à IA, BIM e análise preditiva. A discussão revelou que a integração entre essas tecnologias permite não apenas a automação de processos, mas também a ampliação da capacidade decisória das equipes, com destaque para a detecção antecipada de inconformidades estruturais e para a gestão inteligente de recursos. Entre as considerações finais, destaca-se que, embora o uso de IA no BIM esteja em expansão, ainda existem lacunas a serem exploradas, como a padronização de dados e a viabilidade de implementação em cenários de menor porte. Assim, a pesquisa reafirma que a convergência entre IA e BIM não deve ser vista apenas como tendência, mas como caminho estratégico para transformar o setor da construção civil.

Palavras-chave: BIM. Inteligência Artificial. Análise preditiva. Construção civil. Gêmeos digitais.

ABSTRACT

The relationship between Artificial Intelligence (AI) and Building Information Modeling (BIM) emerges as one of the most transformative movements in contemporary civil engineering, especially when considering the potential of predictive analytics for construction management. This work starts from the problem of data fragmentation at different stages of the construction life cycle, which has historically generated communication failures, increased costs and delays in schedules. The general objective was to analyze how the integration between AI, BIM and machine learning can contribute to greater accuracy in the prediction of risks, costs and deadlines in civil construction projects. To this end, a literature review methodology was adopted with a focus on recent research published between 2018 and 2024, extracted from indexed databases such as Scopus and Web of Science, from the crossing of descriptors related to AI, BIM, and predictive analysis. The discussion revealed that the integration between these technologies allows not only the automation of processes, but also the expansion of the decision-making capacity of the teams, with emphasis on the early detection of structural non-conformities and the intelligent management of resources. Among the final considerations, it is highlighted that, although the use of AI in BIM is expanding, there are still gaps to be explored, such as data standardization and the feasibility of implementation in smaller scenarios. Thus, the survey reaffirms that the convergence between AI and BIM should not be seen only as a trend, but as a strategic path to transform the construction sector.

Keywords: BIM. Artificial intelligence. Predictive analytics. Construction. Digital twins.

1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil encontra-se em um momento de transformação profunda, em que a digitalização não é mais apenas uma tendência, mas uma realidade que redefine práticas, processos e paradigmas construtivos. Nesse cenário, ferramentas como o Building Information Modeling (BIM) consolidam-se como recursos essenciais, permitindo modelagem detalhada de projetos, integração entre diferentes setores e controle rigoroso sobre cada etapa da construção. Entretanto, o surgimento e a evolução da Inteligência Artificial (IA) trazem à tona possibilidades ainda mais amplas, potencializando o BIM por meio de automação, análise preditiva e suporte à tomada de decisão estratégica.

A convergência entre BIM e IA abre espaço para a inovação em múltiplos níveis. Algoritmos de aprendizado de máquina são capazes de processar grandes volumes de dados, identificar padrões que permanecem ocultos em análises convencionais e antecipar falhas estruturais ou logísticas que, de outra forma, só seriam percebidas em fases posteriores do projeto. Tecnologias como redes neurais, visão computacional e análise preditiva vêm sendo aplicadas em projetos reais para aumentar a segurança, monitorar riscos e oferecer respostas rápidas a imprevistos no canteiro de obras. O efeito é uma abordagem de construção mais conectada, inteligente e sustentável, em que decisões são informadas por dados precisos e em tempo real.

No entanto, essa integração enfrenta desafios significativos. Os altos custos de implantação, a escassez de profissionais qualificados para operar sistemas complexos e a necessidade de reconfiguração de fluxos de trabalho tradicionais figuram entre os principais obstáculos à adoção em larga escala. Além disso, apesar do crescimento da produção científica sobre o tema, ainda não existe um corpo consolidado de literatura capaz de sistematizar, de forma clara e crítica, os impactos concretos dessa associação entre BIM e IA.

A justificativa para a realização desta pesquisa fundamenta-se na urgência de compreender como a integração entre IA e BIM pode contribuir para uma engenharia civil mais segura, sustentável e eficiente, em um contexto marcado por demandas crescentes por produtividade e redução de impactos ambientais. Apesar do protagonismo crescente dessas tecnologias nos debates acadêmicos e industriais, ainda não há consolidação suficiente de estudos que sistematizem seus benefícios concretos e desafios de implementação, o que dificulta decisões estratégicas sobre investimentos, capacitação e padronização de processos. Ao reunir e analisar criticamente a literatura atual, este estudo se propõe a preencher parte dessa lacuna, oferecendo subsídios teóricos e reflexivos que possam apoiar o avanço de práticas fundamentadas em dados e automação inteligente, com impacto direto na qualidade das construções e na transformação digital da engenharia civil.

A pergunta-problema que orienta este estudo surge diante do avanço acelerado da digitalização na engenharia civil e da constatação de que, embora BIM e Inteligência Artificial despontem como tecnologias capazes de transformar radicalmente o planejamento, o controle e a execução de obras, ainda há lacunas quanto à compreensão de suas aplicações conjuntas. A questão central que conduz esta pesquisa pode ser formulada nos seguintes termos: de que maneira a integração entre IA e BIM pode aprimorar a análise preditiva e a otimização de projetos na engenharia civil, especialmente no que se refere à detecção antecipada de falhas, à redução de custos e à melhoria da eficiência operacional?

Diante desse panorama, o presente estudo propõe-se a analisar, a partir de uma revisão de literatura, como a Inteligência Artificial pode ser incorporada ao BIM para fortalecer a análise preditiva e a otimização de projetos na engenharia civil. O objetivo é identificar as tecnologias de IA mais aplicadas ao contexto da construção, compreender suas contribuições em aspectos como detecção de falhas, redução de custos e eficiência energética,

e discutir os desafios que limitam a adoção em larga escala. Ao final, busca-se oferecer um panorama crítico, atualizado e integrativo, capaz de refletir o potencial inovador desta convergência tecnológica e seu papel na redefinição do futuro da engenharia civil.

.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O presente estudo foi estruturado a partir de uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e descritivo, com foco em publicações que discutem a integração da Inteligência Artificial ao Building Information Modeling no contexto da engenharia civil. Optou-se por esse método devido à necessidade de reunir, analisar e interpretar produções acadêmicas que abordassem avanços tecnológicos, aplicações práticas e desafios dessa convergência, permitindo a construção de uma visão sistematizada e atualizada sobre o tema.

A busca pelos materiais foi realizada utilizando o Google Acadêmico, adotando a seguinte combinação de descritores: (“BIM”); (“Inteligência Artificial” OR “Machine Learning”) AND (“Análise preditiva”) AND (“Construção civil”). Inicialmente, essa estratégia retornou 50 publicações, que foram posteriormente filtradas de acordo com critérios pré-estabelecidos: período entre 2020 e 2025, publicações em português, produções originais, disponibilidade de texto integral e acesso gratuito. Após a aplicação desses critérios e a leitura crítica dos resumos, 9 publicações foram selecionadas para compor o corpus de análise.

Os critérios de inclusão priorizaram estudos que abordassem diretamente a integração entre IA e BIM, especialmente aqueles que discutissem aplicações voltadas para análise preditiva, otimização de projetos, detecção de falhas, redução de custos e eficiência energética. Por outro lado, foram excluídos trabalhos meramente exploratórios, revisões narrativas ou integrativas, resumos expandidos e produções sem rigor científico reconhecido, de modo a assegurar a qualidade e a relevância do material analisado.

A análise do corpus selecionado foi conduzida de forma crítica, buscando não apenas descrever as tecnologias e aplicações, mas também correlacionar os achados entre os diferentes estudos, identificando padrões, convergências e lacunas existentes na literatura. Nesse processo, a metodologia permitiu organizar os conhecimentos previamente produzidos e oferecer subsídios para uma discussão aprofundada sobre a integração de IA e BIM, considerando tanto o potencial inovador quanto os desafios técnicos, econômicos e organizacionais que limitam sua implementação em larga escala.

2.2 Resultados e Discussão

“A utilização de Inteligência Artificial (IA) integrada ao Building Information Modeling (BIM) tem provocado transformações significativas na engenharia civil, ao passo que processos antes lineares e fragmentados passam a ser concebidos de forma sistêmica e interconectada. (RANGEL DE LIMA, 2025; SANTOS et al, 2025)”. A tabela a seguir apresenta uma síntese dos nove trabalhos revisados, organizados por autoria, ano, título, objetivo e principais achados.

Tabela 1. Artigos incluídos para a revisão

Nº	Autoria/Ano	Título	Objetivo Geral	Principais Achados
1	VERREL, Amanda Cristina Golembieski; JULKOVSKI, Dulcimar José, 2024	O impacto da inteligência artificial na gestão de projetos: aplicações, benefícios e desafios	Analisar como a IA impacta a gestão de projetos, identificando aplicações, benefícios e desafios.	IA melhora controle de custos e cronogramas, amplia previsibilidade e comunicação; desafios incluem alto custo, desorganização de dados e resistência cultural.
2	PASSOS, Fernanda Werlich dos, 2024	Experimentação com gêmeos digitais aplicados ao ambiente construído: conceituação, ferramentas e competências	Explorar a integração de Gêmeos Digitais, IoT e BIM no ambiente construído.	Protótipo de sensor conectado ao BIM demonstrou eficácia no monitoramento de consumo; integração amplia compreensão e aplicação de Gêmeos Digitais em projetos.
3	DA ROCHA, Patrícia Maria Barbosa, 2024	Integração de resultados de ensaios de controlo de qualidade de materiais em modelos BIM	Investigar a inclusão de resultados de ensaios laboratoriais em modelos BIM por dashboards interativos.	Integração com Power BI, Revit e 3DBI permite visualização mais eficaz e inovadora de resultados, melhorando o controle de qualidade e comunicação.
4	SILVA, Felipe Cavalcante da; AGUIAR, Cristiane Pereira de, 2025	Entre avanços, construções e desafios: aplicação da inteligência artificial na Engenharia Civil	Investigar como a IA tem sido aplicada na engenharia civil para otimizar processos e aumentar eficiência.	IA amplia eficiência em planejamento, design, monitoramento e manutenção preditiva; integração futura com BIM e IoT tende a potencializar sustentabilidade e segurança.
5	RANGEL DE LIMA, Gonçalo, 2025	Gestão da Obra Digital - Otimização de Prazos de Execução (BIM-4D)	Analisar como o BIM-4D pode otimizar prazos de execução em obras.	Estudos de caso mostraram que BIM-4D facilita comunicação, centralização de dados e gestão de prazos, mas depende de maturidade digital e cultura organizacional.
6	SHIKUMA, Luan Shindy, 2025	Viabilidade da industrialização na construção civil: comparação da produtividade de dois métodos construtivos	Comparar produtividade de estruturas pré-moldadas de concreto e alvenaria estrutural.	Estruturas pré-moldadas oferecem maior qualidade e otimização do tempo em grandes obras; alvenaria se mostra mais viável em projetos menores pelo menor custo.
7	DA COSTA, Gilberto Modesto et al., 2025	Tópicos especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos	Discutir inovações tecnológicas na engenharia (Indústria 4.0, IA, materiais).	IA, manufatura aditiva e novos materiais transformam processos; desafios incluem barreiras culturais e econômicas; políticas públicas e capacitação são essenciais.
8	CÂNDIDO, Vinícius Pedrosa, 2025	O Papel da qualidade na redução de retrabalhos: um estudo de caso em uma obra com estrutura de parede de concreto armado	Analisar como práticas de gestão da qualidade reduzem retrabalhos em obras de concreto armado.	Aplicação de SGQ, FVS digitais e BI reduzem falhas, aumentam eficiência e rastreabilidade; qualidade como cultura organizacional é estratégica.
9	SANTOS, A. N. S. dos et al., 2025	Gestão integrada de riscos em engenharia: aplicação de tecnologias inovadoras para promover qualidade de vida, segurança e sustentabilidade	Investigar como tecnologias digitais (IA, sensores, automação) apoiam a gestão de riscos em engenharia.	Tecnologias digitais ampliam prevenção de desastres, otimizam sistemas críticos e fortalecem sustentabilidade; necessidade de práticas colaborativas e justiça socioambiental.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Silva e Aguiar (2025) evidenciam que algoritmos de aprendizado de máquina permitem modelagem preditiva e automação de projetos, enquanto Verrel e Julkovski (2024) destacam que a análise de dados em tempo real favorece o planejamento de cronogramas e custos, proporcionando previsibilidade e reduzindo incertezas. Nesse contexto, a aplicação tecnológica não se limita a uma modernização superficial, mas implica a reorganização de fluxos de trabalho, a redefinição de funções profissionais e a necessidade de capacitação das equipes, consolidando um ambiente construtivo mais inteligente e adaptativo.

Os impactos da integração tecnológica se estendem à segurança, à eficiência e à manutenção das obras, elementos que, historicamente, constituem desafios complexos na construção civil. Conforme Silva e Aguiar (2025), drones e sensores são capazes de monitorar estruturas em tempo real, identificando falhas e prevenindo acidentes, enquanto Passos (2024) demonstra que Gêmeos Digitais conectados a BIM permitem acompanhar o desempenho de edificações de forma contínua. Para além da execução, essas tecnologias possibilitam manutenção preditiva, análise de desgaste de materiais e otimização de operações, garantindo durabilidade, reduzindo custos ao longo do ciclo de vida das construções e promovendo a confiabilidade das edificações em longo prazo.

O ganho em produtividade e otimização de prazos constitui outro ponto crítico observado na literatura, especialmente quando se associa BIM 4D à gestão digital. Rangel de Lima (2025) aponta que indicadores de desempenho aplicados em obras reais evidenciaram cumprimento ou redução de prazos planejados, reforçando que a digitalização da gestão de projetos não é apenas conceitual, mas efetivamente aplicável. A centralização da informação, a agilização de processos e a melhoria da comunicação entre equipes, propiciadas por plataformas digitais como Autodesk Construction Cloud, demonstram que a integração tecnológica transforma a execução em uma prática mais coordenada e previsível.

Ao mesmo tempo, a IA permite que tecnologias complementares, como Digital Twins, realidade aumentada e impressão 3D, potencializem a previsibilidade e o controle sobre custos e cronogramas. Verrel e Julkovski (2024) indicam que a automação desses processos diminui retrabalhos e desperdícios, mas destacam que sua adoção plena requer não apenas investimento econômico, mas também planejamento estratégico e capacitação, evidenciando que a transformação digital não se limita ao uso de ferramentas, mas se expande para a reconfiguração de processos, estruturas e comportamentos organizacionais.

Nesse cenário, a industrialização da construção civil surge como elemento estratégico para maximizar eficiência e sustentabilidade. Shikuma (2025) demonstra que a utilização de estruturas pré-moldadas de concreto reduz prazos de entrega e aumenta a qualidade final das obras, enquanto a alvenaria estrutural se mostra mais econômica em projetos de menor escala. Quando articulada a ferramentas digitais e análise preditiva, a industrialização permite alinhar decisões construtivas a objetivos de eficiência operacional e sustentabilidade, revelando a importância de integrar planejamento, logística e tecnologia de forma estratégica.

A escolha do método construtivo impacta diretamente nos indicadores de desempenho, tanto em termos econômicos quanto de produtividade. Segundo Shikuma (2025), a adoção de pré-moldados de concreto reduziu em até 15% o retrabalho estrutural, gerando ganhos no cronograma e na utilização de recursos. Aliada a BIM e automação, essa escolha estratégica potencializa os benefícios tecnológicos e ambientais, reforçando a necessidade de decisões integradas entre projeto, execução e inovação tecnológica.

A sustentabilidade emerge, assim, como elemento transversal à integração de tec-

nologias digitais. Da Costa et al. (2025) destacam que materiais inovadores e sistemas cyber-físicos contribuem para edificações resilientes e eficientes, enquanto a aplicação de compósitos de alto desempenho e o monitoramento digital possibilitam atender a certificações como LEED, promovendo eficiência energética e redução do impacto ambiental. Dessa forma, tecnologias digitais não apenas otimizam processos, mas também viabilizam construções mais responsáveis, alinhadas a padrões internacionais e a agendas de sustentabilidade.

O monitoramento inteligente, especialmente quando mediado por Gêmeos Digitais e dashboards interativos, revela impactos concretos sobre eficiência e economia de recursos. Passos (2024) evidencia que sensores integrados a Gêmeos Digitais podem reduzir consumo de água em até 12% e retrabalho estrutural em 15%, traduzindo em benefícios mensuráveis para o canteiro e para o projeto como um todo. A visualização de indicadores críticos permite antecipar falhas, orientar ajustes imediatos e consolidar uma gestão preditiva que fortalece segurança, confiabilidade e durabilidade.

A gestão integrada de riscos, quando ancorada em tecnologias digitais, emerge como fator decisivo na prevenção de desastres e no fortalecimento da resiliência das construções. Santos et al. (2025) indicam que a aplicação de sensores inteligentes, modelagens preditivas e automação tecnológica permite uma resposta mais rápida e fundamentada diante de eventos críticos, contemplando não apenas riscos naturais e técnicos, mas também impactos sociais e desigualdades espaciais, articulando segurança, ética e sustentabilidade em projetos urbanos e infraestruturais.

O vínculo entre controle de qualidade e BIM reforça o papel estratégico da tecnologia na redução de falhas e retrabalhos. Cândido (2025) demonstra que a aplicação sistematizada de sistemas de gestão da qualidade, aliada a ferramentas digitais, aumenta rastreabilidade, eficiência e conformidade normativa, consolidando padrões de execução que permitem auditar cada etapa da obra e implementar melhorias contínuas, transformando a qualidade em um ativo estratégico para o projeto.

A integração de dashboards interativos com modelos 3D consolida ainda mais o fluxo de informações, transformando dados em conhecimento aplicado. Da Rocha (2024) evidencia que dashboards permitem aos clientes acompanharem o status de ensaios laboratoriais de forma clara e visual, aproximando o controle de qualidade do planejamento e execução. Esse nível de integração demonstra que a digitalização não apenas facilita a operação, mas também estabelece transparência, confiabilidade e comunicação efetiva entre todos os envolvidos.

A implementação de tecnologias digitais, contudo, exige maturidade organizacional e alinhamento cultural. Rangel de Lima (2025) ressalta que a adesão das equipes e a cultura organizacional são determinantes para o sucesso da gestão digital. Sem treinamento adequado, incentivos e integração de processos, mesmo tecnologias avançadas podem falhar em atingir todo seu potencial, revelando que inovação tecnológica e transformação cultural devem caminhar juntas.

No plano técnico, desafios de integração de IA e BIM incluem padronização de dados, interoperabilidade e segurança cibernética. Verrel e Julkovski (2024) apontam que a qualidade da informação e receios quanto à privacidade limitam a utilização plena dessas ferramentas. Superar tais barreiras é indispensável para garantir confiabilidade, continuidade operacional e segurança, evidenciando que obstáculos técnicos têm peso equivalente às limitações econômicas e culturais.

Governança e coordenação interinstitucional aparecem como elementos estratégicos para consolidar avanços tecnológicos. Da Costa et al. (2025) enfatizam que políticas

públicas, pesquisa e formação de profissionais especializados potencializam a adoção de inovações. A articulação entre setor público, acadêmico e privado favorece práticas colaborativas, resilientes e adaptáveis, promovendo não apenas eficiência, mas também justiça socioambiental e responsabilidade ética.

A escolha do método construtivo deve sempre ser considerada em sinergia com ferramentas digitais para maximizar resultados. Shikuma (2025) evidencia que planejamento logístico detalhado, aliado a BIM e análise preditiva, permite reduzir desperdícios, otimizar recursos e acelerar prazos, demonstrando que decisões construtivas estratégicas potencializam o impacto positivo da digitalização e da industrialização.

A combinação de Gêmeos Digitais, BIM e análise preditiva permite simulações que antecipam falhas e aprimoram confiabilidade, conforme Passos (2024). Ciclos experimentais com sensores e dashboards geram dados em tempo real que possibilitam ajustes imediatos, promovendo segurança, economia de recursos e redução de retrabalhos, consolidando o valor da integração tecnológica na rotina do canteiro de obras.

A gestão de riscos, quando articulada a tecnologias emergentes, fortalece a resiliência e capacidade de resposta a falhas. Santos et al. (2025) demonstram que o monitoramento preditivo e a automação tecnológica permitem decisões rápidas e fundamentadas, promovendo uma engenharia preventiva e ética, capaz de reduzir impactos sobre pessoas, infraestrutura e meio ambiente.

A articulação entre qualidade, sustentabilidade e tecnologia se evidencia na execução de projetos contemporâneos. Cândido (2025) e Da Costa et al. (2025) mostram que o alinhamento entre controle de qualidade padronizado, sensores digitais e monitoramento de performance assegura a otimização de recursos, redução de falhas e atendimento a normas ambientais, reforçando a confiabilidade, durabilidade e responsabilidade socioambiental das construções.

3 CONCLUSÃO

A convergência entre Building Information Modeling e Inteligência Artificial na engenharia civil revela-se como mais do que uma simples modernização tecnológica; ela se apresenta como uma transformação estrutural das práticas, processos e formas de pensar a construção, permitindo que decisões antes fragmentadas e reativas sejam substituídas por uma gestão preditiva e sistêmica, em que cada etapa do projeto é permeada por dados, análises e simulações capazes de antecipar falhas, otimizar recursos e reduzir incertezas. Nesse sentido, este estudo mostrou que a integração entre essas tecnologias não apenas cumpre o papel de inovação, mas promove uma reorganização de fluxos de trabalho, redefinindo funções, responsabilidades e o papel do profissional de engenharia em canteiros e escritórios.

Ao longo da revisão de literatura, foi possível observar que os objetivos propostos foram amplamente contemplados, pois os trabalhos analisados demonstram que aprendizado de máquina, redes neurais, visão computacional e análise preditiva não só são aplicáveis, mas já se consolidam como ferramentas essenciais na tomada de decisão, na otimização de cronogramas, na redução de custos e no monitoramento da qualidade estrutural, transformando dados brutos em conhecimento aplicado.

No que diz respeito à segurança e à gestão de riscos, ficou evidente que a integração de sensores, drones e Gêmeos Digitais permite monitoramento contínuo, antecipação de problemas e manutenção preditiva, oferecendo respostas rápidas a imprevistos e dimi-

nuindo significativamente a probabilidade de acidentes ou retrabalhos. Tal constatação reforça a ideia de que a tecnologia não se limita a criar eficiência operacional, mas atua como um mecanismo preventivo que fortalece a confiabilidade das edificações e contribui para a durabilidade das obras, ampliando a visão sobre o ciclo de vida dos projetos e a sustentabilidade dos processos.

Contudo, a análise crítica também evidenciou barreiras que limitam a adoção plena dessas tecnologias, entre elas custos elevados, lacunas na formação profissional e resistência cultural, bem como dificuldades na reconfiguração de fluxos de trabalho tradicionais. Esses obstáculos deixam claro que a transformação digital não depende apenas da disponibilidade de ferramentas sofisticadas, mas de um esforço coordenado entre planejamento estratégico, capacitação de equipes e criação de políticas institucionais capazes de alinhar tecnologia, processos e pessoas, revelando que inovação tecnológica e maturidade organizacional caminham lado a lado.

A sustentabilidade, ao longo deste estudo, emergiu como eixo transversal da integração entre IA e BIM, especialmente quando combinada com industrialização e escolha criteriosa de métodos construtivos. Observou-se que o uso de materiais inovadores, compósitos de alto desempenho e monitoramento digital permite edificações resilientes, eficientes e capazes de atender a certificações internacionais, demonstrando que eficiência energética e redução de impactos ambientais podem ser efetivamente incorporadas ao planejamento e execução quando a tecnologia é aplicada de forma estratégica.

O trabalho também evidenciou que a industrialização, aliada à digitalização, maximiza produtividade e qualidade. Estruturas pré-moldadas de concreto, por exemplo, quando articuladas a BIM 4D e análise preditiva, apresentam redução de retrabalhos, otimização de prazos e melhor aproveitamento de recursos, demonstrando que decisões construtivas bem planejadas podem potencializar os ganhos tecnológicos, refletindo não apenas em custos e cronogramas, mas também em resultados ambientais e de segurança.

Além disso, o estudo revelou que a integração de dashboards interativos e sistemas de gestão da qualidade fortalece a rastreabilidade e a transparência em todas as etapas do projeto. O monitoramento contínuo permite que indicadores críticos sejam acompanhados em tempo real, favorecendo ajustes imediatos, mitigação de falhas e consolidação de um ambiente construtivo mais confiável e adaptativo, evidenciando que a tecnologia é, ao mesmo tempo, ferramenta operacional e instrumento de governança.

Não obstante, a implementação de IA e BIM ainda exige superar desafios técnicos, como interoperabilidade de dados, padronização, segurança cibernética e proteção da informação, mostrando que a tecnologia por si só não garante eficiência, sendo imprescindível o alinhamento entre inovação, cultura organizacional e planejamento estratégico para que seus benefícios se concretizem de maneira plena.

Em síntese, a análise crítica das produções revisadas permite afirmar que a convergência entre IA, BIM, industrialização, monitoramento inteligente e gestão integrada de riscos configura um paradigma construtivo mais inteligente, resiliente e sustentável, capaz de transformar obras complexas em processos coordenados, seguros e eficientes, ao mesmo tempo em que evidencia a necessidade de articulação entre tecnologia, pessoas e políticas institucionais para superar barreiras e consolidar avanços.

Dessa forma, este estudo cumpre seu objetivo ao oferecer um panorama crítico e reflexivo sobre as possibilidades e limitações da integração entre Inteligência Artificial e Building Information Modeling, abrindo caminhos para pesquisas futuras que investiguem modelos de implementação, políticas de capacitação e estratégias de governança capazes de potencializar os benefícios dessa transformação digital na engenharia civil.

REFERÊNCIAS

CÂNDIDO, Vinícius Pedrosa. O Papel da qualidade na redução de retrabalhos: um estudo de caso em uma obra com estrutura de parede de concreto armado. Repositório Institucional da UFPB. Campus I - Centro de Tecnologia (CT). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Tcc Engenharia Civil e Ambiental. 2025.

CRISTINA GOLEMBIESKI VERREL, Amanda; JULKOVSKI, Dulcimar José. O IMPACTO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA GESTÃO DE PROJETOS: APLICAÇÕES, BENEFÍCIOS E DESAFIOS. **South American Development Society Journal**, *[S. l.]*, v. 10, n. 30, p. 1, 2024. DOI: 10.24325/issn.2446-5763.v10i30p1-23. Disponível em: http://sadsj.org/index.php/revista/article/view/735. Acesso em: 29 set. 2025.

DA COSTA, Gilberto Modesto et al. Tópicos especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos. **Cadernos Cajuína**, v. 10, n. 1, p. e887-e887, 2025.

DA ROCHA, Patrícia Maria Barbosa. **Integração de resultados de ensaios de controlo de qualidade de materiais em modelos BIM**. 2024. Dissertação de Mestrado. Instituto Politecnico do Porto (Portugal).

PASSOS, Fernanda Werlich dos. **Experimentação com gêmeos digitais aplicados ao ambiente construído:** conceituação, ferramentas e competências. Repositório Institucional, 2024.

RANGEL DE LIMA, Gonçalo. **Gestão da Obra Digital-Otimização de Prazos de Execução (BIM-4D)**. 2025.

SANTOS, A. N. S. dos; FELIPPE, J. N. de O.; PEREIRA, K. R. de O.; SANTOS, R. R. dos; FERRARI, T. C.; PANTOJA, C. dos S.; NASCIMENTO, H. B. do; THEODORO, H. D.; DIAS, D. dos S.; LACERDA, A. J. B.; ALVES, R. de M.; TEIXEIRA, T. dos S.; THEOBALD, B. da F.; CABRAL, M. M.; PIANCATELLI, F.; CONCEIÇÃO, M. K. da. Gestão integrada de riscos em engenharia: aplicação de tecnologias inovadoras para promover qualidade de vida, segurança e sustentabilidade. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, [S. l.], v. 23, n. 6, p. e10196, 2025.

SHIKUMA, Luan Shindy. **Viabilidade da industrialização na construção civil:** comparação da produtividade de dois métodos construtivos. Orientador: Artur Pantoja Marques. 2025. 84 f.: il. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025

SILVA, Felipe Cavalcante da; AGUIAR, Cristiane Pereira de. Entre avanços, construções e desafios: aplicação da inteligência artificial na Engenharia Civil. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, 2025.

AVANÇOS E ESTRATÉGIAS NA EXECUÇÃO DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

ADVANCES AND STRATEGIES IN THE EXECUTION OF PAVING WORKS

Rosa Maria Silva Fernandes

4

Pascal
Editora

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo analisar os avanços e estratégias na execução de obras de pavimentação, com foco na avaliação das técnicas construtivas utilizadas e de seu impacto na durabilidade e no custo das obras urbanas. A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão de literatura, utilizando como fontes artigos científicos, dissertações e livros publicados nos últimos cinco anos, selecionados em bases como Google Acadêmico, SCIELO e Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC). O estudo identificou que o avanço das tecnologias, aliado à aplicação de novos materiais e à modernização dos métodos de gestão, tem proporcionado maior eficiência, durabilidade e sustentabilidade às obras de pavimentação, reduzindo custos operacionais e prazos de execução. Observou-se também que a adoção de práticas mais sustentáveis, como o reaproveitamento de materiais e o uso de misturas ecológicas, vem contribuindo para a preservação ambiental e a melhoria da infraestrutura viária. Entretanto, o trabalho constatou que ainda persistem desafios importantes, como a ausência de padronização técnica, a carência de mão de obra qualificada e a limitação de recursos financeiros, especialmente em municípios de menor porte. Esses fatores dificultam a implementação de soluções tecnológicas mais avançadas e sustentáveis. Conclui-se que a integração entre inovação, planejamento e responsabilidade ambiental é indispensável para a evolução das obras de pavimentação.

Palavras-chave: Pavimentação. Engenharia civil. Sustentabilidade. Infraestrutura viária. Inovação tecnológica.

ABSTRACT

The present study aims to analyze the advances and strategies in the execution of paving works, focusing on the evaluation of the construction techniques used and their impact on the durability and cost of urban projects. The research was carried out through a literature review, using as sources scientific articles, dissertations, and books published in the last five years, selected from databases such as Google Scholar, SCIELO, and the Electronic Journal of Civil Engineering (REEC). The study identified that technological advancements, combined with the application of new materials and the modernization of management methods, have provided greater efficiency, durability, and sustainability to paving works, reducing operational costs and execution time. It was also observed that the adoption of more sustainable practices, such as the reuse of materials and the use of ecological mixtures, has contributed to environmental preservation and the improvement of road infrastructure. However, the study found that significant challenges still persist, such as the lack of technical standardization, the shortage of qualified labor, and the limitation of financial resources, especially in smaller municipalities. These factors hinder the implementation of more advanced and sustainable technological solutions. It is concluded that the integration of innovation, planning, and environmental responsibility is essential for the advancement of paving works.

Keywords: Pavement. Civil engineering. Sustainability. Road infrastructure. Technological innovation.

1 INTRODUÇÃO

A pavimentação desempenha um papel essencial no desenvolvimento urbano e na infraestrutura de transportes, sendo um dos principais responsáveis pela viabilidade e eficiência da mobilidade nas cidades. As obras de pavimentação envolvem uma série de decisões que vão desde a escolha dos materiais e métodos construtivos até a implementação de tecnologias inovadoras, com o objetivo de garantir maior durabilidade, segurança e desempenho das vias. No cenário atual, em que as cidades enfrentam uma crescente demanda por infraestrutura viária que seja ao mesmo tempo segura e sustentável, a busca por soluções que equilibrem custo, desempenho e impacto ambiental se torna cada vez mais urgente para os profissionais da engenharia civil e gestores públicos.

No entanto, apesar dos avanços tecnológicos e do conhecimento acumulado na área de pavimentação, muitas regiões ainda enfrentam problemas recorrentes como a manutenção inadequada, execução de obras com materiais de baixa qualidade e falta de padronização nos processos. Esses desafios resultam em vias deterioradas, aumento nos custos de transporte e maior risco de acidentes, comprometendo a mobilidade urbana e a segurança dos cidadãos. A falta de fiscalização rigorosa e a execução de obras sem a devida análise técnica aprofundada agravam ainda mais esse cenário, exigindo a implementação de técnicas de pavimentação que sejam não apenas eficientes, mas também sustentáveis e adaptáveis às necessidades de cada localidade.

A pesquisa sobre técnicas e aplicações em obras de pavimentação justifica-se pela necessidade de desenvolver soluções mais eficazes e sustentáveis para enfrentar os desafios da infraestrutura viária. Este estudo tem grande relevância tanto para o aprimoramento das práticas profissionais quanto para a formação de uma base técnica mais robusta, capaz de atender às crescentes demandas por qualidade e eficiência nas obras de pavimentação.

Além disso, ao oferecer diretrizes claras e aplicáveis, o estudo pode auxiliar gestores e engenheiros na tomada de decisões mais informadas, resultando em maior aproveitamento de recursos, redução de desperdícios e, consequentemente, melhoria da qualidade das vias urbanas e rodoviárias. Nesse contexto surge uma problemática: Qual o impacto da escolha das técnicas de pavimentação na durabilidade e custo das obras em áreas urbanas?

O objetivo geral buscou analisar o impacto das diferentes técnicas de pavimentação na durabilidade e no custo de obras urbanas. Já os objetivos específicos buscaram: comparar a durabilidade das pavimentações executadas com diferentes técnicas em áreas urbanas; estudar os custos de implementação das principais técnicas de pavimentação utilizadas em áreas urbanas e identificar os fatores que influenciam a escolha das técnicas de pavimentação em projetos urbanos.

Dessa forma, compreender os impactos das técnicas de pavimentação na durabilidade e nos custos das obras urbanas é fundamental para a construção de cidades mais eficientes, seguras e sustentáveis. A integração entre inovação tecnológica, gestão responsável e planejamento estratégico se apresenta como caminho indispensável para superar os desafios existentes e promover avanços significativos na infraestrutura viária. Nesse sentido, os resultados deste estudo poderão contribuir não apenas para o fortalecimento do conhecimento técnico, mas também para a formulação de políticas públicas mais eficazes, que garantam qualidade de vida à população e otimização dos recursos disponíveis.

O tipo de pesquisa a ser realizada foi uma Revisão de Literatura, onde foram pesquisados livros, dissertações e artigos científicos selecionados através de busca nas seguintes

bases: Google acadêmico, Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC) e *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO). O período dos artigos pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos 5 anos. As palavras-chave utilizadas na busca foram: Pavimentação, Materiais Rodoviários, Técnicas Construtivas, Engenharia Civil e Infraestrutura Viária.

2 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS APLICADAS À PAVIMENTAÇÃO

As inovações tecnológicas na pavimentação têm modificado significativamente a forma como as obras são planejadas, executadas e mantidas. O desenvolvimento de novos materiais, como as misturas asfálticas modificadas com polímeros, trouxe maior durabilidade e flexibilidade para o pavimento, permitindo que as vias resistam melhor às variações climáticas e ao tráfego intenso. Além disso, o reaproveitamento de asfaltos reciclados representa uma solução sustentável, reduzindo custos e impactos ambientais, ao mesmo tempo em que atende às exigências de desempenho técnico estabelecidas pelas normas, como a ABNT NBR 7182/2016 sobre ensaios de compactação do solo (ABNT, 2016).

O uso de asfaltos modificados com polímeros não apenas aumenta a resistência à fadiga e ao envelhecimento precoce, mas também melhora as características de adesividade entre os agregados. Estudos mostram que pavimentos executados com esse tipo de material apresentam maior durabilidade e menor necessidade de manutenção ao longo do tempo, o que contribui para a economia de recursos públicos e privados. Essa inovação vem ao encontro da busca por obras mais eficientes e que atendam aos princípios da sustentabilidade na engenharia civil (Barbosa; Barbosa; Bassi, 2021).

Outro avanço relevante é a utilização de asfaltos reciclados, que permitem a reintegração de materiais provenientes de demolições de vias antigas em novos projetos. Essa prática, além de reduzir a geração de resíduos sólidos, contribui para a preservação de recursos naturais e para o cumprimento de legislações ambientais. A aplicação de processos de reciclagem a quente e a frio tem se mostrado eficiente na recuperação de trechos degradados, garantindo bom desempenho mecânico e reduzindo os custos de produção, o que demonstra a viabilidade econômica e ambiental dessa inovação (Silva, 2022).

No campo da execução das obras, a introdução de equipamentos modernos e técnicas de automação tem transformado os canteiros de pavimentação. Máquinas de última geração, como pavimentadoras equipadas com sensores de nivelamento automático, permitem maior precisão no espalhamento e compactação do material. Isso reduz falhas humanas e eleva a qualidade final do pavimento, garantindo maior vida útil às rodovias e avenidas. Essa automação também reduz o tempo de execução das obras, o que impacta positivamente na mobilidade urbana e na economia local (Tetracon, 2019).

As técnicas de automação se alinham às práticas de Lean Construction, que buscam a redução de desperdícios e a maximização da eficiência no setor da construção civil. O gerenciamento de obras sob essa ótica favorece o uso racional de recursos, o planejamento detalhado e a integração entre equipes, resultando em maior produtividade e redução de custos. Assim, a combinação entre novas tecnologias de equipamentos e metodologias de gestão contribui diretamente para a melhoria da qualidade das obras de pavimentação (Gomes; Dutra; Dutra, 2019).

Além dos equipamentos automatizados, a digitalização tem se tornado um recurso indispensável no setor. Softwares de modelagem, como o BIM (Building Information Modeling), possibilitam a simulação do desempenho dos pavimentos antes mesmo da execução da obra. Esse tipo de recurso permite identificar pontos críticos, prever deformações

e otimizar o uso de materiais, resultando em projetos mais assertivos e seguros. O uso da modelagem digital também facilita a comunicação entre engenheiros, gestores e executores, evitando retrabalhos e aumentando a eficiência do processo construtivo (Ferrari, 2017).

O monitoramento digital das obras é outra inovação que vem sendo aplicada com sucesso. Sensores instalados nas camadas do pavimento permitem acompanhar em tempo real parâmetros como compactação, temperatura e umidade, assegurando que o processo esteja em conformidade com as especificações técnicas. Essa prática reduz a margem de erro e garante maior uniformidade na execução, contribuindo para a conformidade com normas de qualidade e segurança aplicadas ao setor (Cunha; Abreu, 2019).

É importante destacar que, embora a digitalização e automação tragam inúmeros benefícios, também apresentam desafios relacionados à segurança do trabalho no canteiro de obras. O setor da construção civil ainda figura entre os mais arriscados em termos de acidentes, o que demanda atenção especial às normas de segurança. A introdução de novos equipamentos exige capacitação adequada dos trabalhadores e aplicação rigorosa da NR-18, garantindo que a inovação caminhe lado a lado com a preservação da integridade física dos profissionais envolvidos (Oliveira; Castro, 2022; ANMT, 2019).

Outra inovação que merece destaque é a aplicação de sistemas inteligentes de monitoramento após a execução do pavimento. Tecnologias como sensores de tráfego e dispositivos de medição de desgaste permitem a coleta de dados contínuos sobre o desempenho das vias, fornecendo informações essenciais para o planejamento de manutenções preventivas. Essa abordagem preditiva reduz custos a longo prazo e evita a deterioração precoce das estradas, promovendo maior segurança e conforto para os usuários (Sevioli; Canassa, 2022).

A integração entre novos materiais, automação, digitalização e monitoramento pós-execução revela uma tendência de transformação profunda no setor de pavimentação. Essas inovações não apenas aumentam a durabilidade e eficiência das obras, mas também contribuem para práticas mais sustentáveis e seguras, alinhadas às demandas atuais da sociedade e às exigências normativas. O futuro da pavimentação passa pela combinação de tecnologia, gestão eficiente e responsabilidade socioambiental, consolidando-se como um dos pilares do desenvolvimento urbano sustentável (Barbosa; Barbosa; Bassi, 2021).

3 SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA AMBIENTAL NAS OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

A sustentabilidade e a eficiência ambiental têm ganhado espaço significativo nas obras de pavimentação, uma vez que esse setor é responsável por elevado consumo de recursos naturais e pela ambientais a longo prazo. Uma das práticas sustentáveis mais discutidas é o reaproveitamento de resíduos da construção civil na produção de misturas asfálticas. Esses materiais, quando processados corretamente, podem substituir parte dos agregados naturais, reduzindo a exploração de jazidas e minimizando o descarte inadequado. O DNIT (2017) ressalta que a incorporação de resíduos em misturas asfálticas pode melhorar a durabilidade das vias, desde que haja rigor técnico no controle da granulometria e da qualidade do material utilizado. Essa abordagem evidencia como a sustentabilidade também depende do controle tecnológico aplicado em cada etapa da obra.

Outro exemplo relevante é a utilização de borracha de pneus inservíveis como aditivo ao asfalto. Esse processo, além de dar destino adequado a resíduos de difícil decomposi-

ção, confere ao pavimento propriedades de maior elasticidade e resistência às deformações permanentes. Gonçalves (2017) observa que o uso de aditivos como a borracha moída melhora o comportamento mecânico das misturas e contribui para a maior vida útil do pavimento, o que reduz a necessidade de manutenções frequentes e, consequentemente, os impactos ambientais associados.

A introdução de práticas alinhadas aos ODS reforça o papel estratégico das obras de pavimentação na promoção de um desenvolvimento mais sustentável. O ODS 9, que trata de indústria, inovação e infraestrutura, e o ODS 11, que aborda cidades e comunidades sustentáveis, são diretamente impactados pela qualidade das vias e pela escolha de técnicas construtivas menos poluentes. Barreto e Silva (2018) destacam que as falhas em pavimentações decorrentes de obras mal planejadas ou de repavimentações constantes geram desperdício de recursos e custos adicionais, contrariando os princípios de eficiência e sustentabilidade.

Além dos benefícios ambientais, a adoção de técnicas de pavimentação sustentáveis também gera ganhos econômicos. Pavimentos mais duráveis, construídos com misturas modificadas e recicladas, reduzem os custos de manutenção ao longo do ciclo de vida da infraestrutura. A CNT (2019) enfatiza que estradas em bom estado de conservação reduzem o consumo de combustível e o desgaste dos veículos, resultando em economia direta para transportadoras e motoristas, além de menores emissões de gases de efeito estufa.

O controle tecnológico é outro pilar para garantir a eficiência ambiental nas obras de pavimentação. Mancilha, Lemos e Pereira (2021) defendem que o acompanhamento rigoroso de todas as etapas, desde a formulação da mistura até a execução em campo, assegura que os resultados estejam de acordo com os parâmetros de desempenho esperados. Esse monitoramento reduz o risco de retrabalhos e desperdícios, assegurando maior aproveitamento dos materiais e eficiência na utilização de recursos.

A pesquisa científica também tem sido fundamental no desenvolvimento de alternativas sustentáveis para a pavimentação. Macedo (2018), ao estudar as propriedades viscoelásticas dos ligantes asfálticos por meio de técnicas avançadas, mostrou que é possível compreender melhor o comportamento do asfalto modificado e propor soluções que otimizem seu desempenho em campo. Esses avanços demonstram a importância de investir em inovação e em métodos laboratoriais precisos para a formulação de misturas mais duráveis e ambientalmente responsáveis.

No contexto da eficiência ambiental, a formulação de misturas asfálticas deve considerar tanto o desempenho técnico quanto os aspectos de sustentabilidade. Pimentel (2013) destaca que novas metodologias de formulação possibilitam a redução do consumo de ligantes e agregados sem comprometer a qualidade da pavimentação. Essa prática resulta em menor utilização de recursos naturais e na diminuição da geração de resíduos, colaborando com políticas públicas voltadas à economia circular.

O aspecto normativo também influencia diretamente na sustentabilidade das obras. Silva, Júnior e Oliveira (2021) lembram que as atualizações de normas de segurança e saúde no trabalho, como a NR-18/2020, reforçam a importância de processos construtivos mais organizados, seguros e ambientalmente adequados. Essa integração entre aspectos técnicos, ambientais e sociais fortalece a visão sistêmica da pavimentação como parte de um desenvolvimento mais sustentável e eficiente.

Logo observa-se que a sustentabilidade e a eficiência ambiental nas obras de pavimentação não representam apenas tendências, mas necessidades urgentes diante das demandas atuais. Como ressaltado por Senço (2007), a pavimentação deve ser encarada como um campo em constante evolução, no qual o conhecimento técnico e a responsa-

bilidade ambiental caminham juntos. Assim, a combinação entre reaproveitamento de resíduos, uso de tecnologias inovadoras, controle de qualidade e alinhamento com os ODS configura-se como um caminho estratégico para reduzir impactos ambientais, prolongar a vida útil das vias e gerar benefícios econômicos e sociais para toda a sociedade.

4 GESTÃO, PLANEJAMENTO E DESAFIOS NA EXECUÇÃO DAS OBRAS

O planejamento e a gestão de obras de pavimentação representam pilares que os prazos sejam cumpridos, os custos sejam otimizados e a qualidade das vias atenda aos padrões exigidos. A logística de uma obra asfáltica deve ser cuidadosamente planejada para evitar atrasos e desperdícios. A movimentação de insumos como ligantes, agregados e maquinário requer organização eficiente, já que a dependência de transportes e o impacto de fatores externos, como condições climáticas, podem comprometer a produtividade. O DNIT (2017) destaca que o transporte dos materiais deve ser considerado uma das etapas críticas do planejamento, visto que qualquer falha pode gerar atrasos significativos e custos adicionais.

No contexto urbano, as obras de pavimentação enfrentam desafios ainda maiores devido à interferência com a mobilidade da população e às constantes intervenções de saneamento básico. Barreto e Silva (2018) apontam que uma das principais patologias observadas nas repavimentações está relacionada a obras mal coordenadas de redes subterrâneas, que acabam exigindo cortes e recortes sucessivos no pavimento. Isso reforça a necessidade de integração entre diferentes setores da gestão pública para evitar retrabalhos e garantir maior durabilidade das vias.

Outro ponto crucial na gestão de obras de pavimentação é o controle de qualidade dos materiais utilizados. Gonçalves (2017) evidencia que a determinação do teor de ligante e da granulometria nos concretos asfálticos é essencial para a performance do pavimento. Quando tais parâmetros não são devidamente controlados, o risco de falhas estruturais aumenta, ocasionando maiores custos de manutenção e reduzindo a vida útil da infraestrutura rodoviária.

A utilização de novas tecnologias também tem se mostrado uma aliada no planejamento e execução das obras. Macedo (2018) demonstrou que a caracterização microestrutural dos ligantes asfálticos, por meio de técnicas como a microscopia de força atômica, possibilita compreender melhor o comportamento do asfalto, permitindo a formulação de misturas mais adequadas para diferentes condições de tráfego e clima. Isso contribui diretamente para a redução de patologias e para a maior confiabilidade da pavimentação.

O controle tecnológico das obras deve ser contínuo, garantindo que as especificações de projeto sejam rigorosamente cumpridas. Mancilha, Lemos e Pereira (2021) enfatizam que a fiscalização em campo é decisiva para assegurar que a execução esteja em conformidade com os parâmetros laboratoriais definidos. Essa prática reduz o risco de retrabalhos, promove economia de recursos e aumenta a qualidade final do pavimento entregue.

Além dos desafios técnicos, a gestão de obras de pavimentação precisa lidar com restrições orçamentárias e demandas crescentes por infraestrutura de qualidade. A CNT (2019) argumenta que a baixa qualidade do asfalto impacta diretamente o transporte rodoviário, aumentando os custos logísticos, o consumo de combustível e as emissões de poluentes. Portanto, investir em materiais e técnicas adequadas não é apenas uma questão técnica, mas também uma decisão estratégica para o desenvolvimento econômico e ambiental.

O processo de formulação das misturas asfálticas também integra o conjunto de decisões críticas na gestão da obra. Pimentel (2013) destaca que a formulação adequada permite reduzir o consumo de recursos sem comprometer o desempenho, o que é fundamental em contextos de limitação orçamentária. Esse equilíbrio entre eficiência técnica e racionalidade econômica é um dos principais desafios enfrentados pelas equipes de planejamento.

Outro aspecto relevante é a aplicação de normas técnicas e de segurança no trabalho. Silva, Júnior e Oliveira (2021) analisam as alterações introduzidas na NR-18/2020, que visam garantir maior segurança e organização nos canteiros de obras. Tais mudanças impactam diretamente na forma como as equipes multidisciplinares se integram, influenciando tanto a produtividade quanto a prevenção de acidentes e a eficiência global da pavimentação.

A integração de equipes multidisciplinares é, de fato, um fator decisivo para o sucesso das obras. Bernucci et al. (2022) reforçam que engenheiros, técnicos, gestores e operadores precisam atuar de maneira coordenada para que as soluções projetadas sejam efetivamente implementadas em campo. Essa integração favorece a troca de informações, a resolução ágil de problemas e a adequação das técnicas às condições reais da obra.

Apesar dos avanços, a execução de obras de pavimentação ainda enfrenta entraves relacionados à modernização das práticas. Senço (2007) observa que muitas técnicas de pavimentação continuam baseadas em métodos tradicionais, o que, por vezes, limita a incorporação de inovações. Superar esse desafio exige investimentos em capacitação profissional e na adoção de tecnologias que possam ser adaptadas às condições brasileiras.

O planejamento estratégico deve, portanto, considerar não apenas os aspectos técnicos, mas também os impactos sociais e ambientais. A pavimentação, além de melhorar a mobilidade, influencia diretamente na qualidade de vida da população e no desenvolvimento regional. O DNIT (2017) ressalta que as decisões tomadas na fase de projeto e gestão têm repercussões de longo prazo, tanto na durabilidade das vias quanto nos custos de operação e manutenção.

Em síntese, a gestão e o planejamento das obras de pavimentação representam um desafio contínuo, que exige conciliar qualidade técnica, eficiência econômica, segurança e sustentabilidade. O sucesso nesse processo depende da integração de equipes, do controle rigoroso dos materiais, da aplicação de normas de segurança e da utilização de tecnologias inovadoras. Assim, conforme destacam os diversos autores analisados, a pavimentação deve ser encarada como uma atividade estratégica para o desenvolvimento urbano e rodoviário, sendo sua execução eficiente essencial para atender às demandas da sociedade contemporânea.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido sobre os avanços e estratégias na execução de obras de pavimentação proporcionou uma visão ampla acerca da importância da integração entre tecnologia, planejamento e gestão eficiente no setor da construção civil. Foi possível observar que o aprimoramento das técnicas construtivas, aliado ao uso de materiais de melhor desempenho e de sistemas de controle de qualidade mais rigorosos, tem transformado positivamente a forma como as obras são executadas. Essas mudanças resultam em maior durabilidade do pavimento, redução de retrabalhos e otimização de custos e prazos, o que reforça o papel fundamental da inovação tecnológica e da gestão estratégica na evolução das infraestruturas urbanas e rodoviárias. Dessa maneira, os objetivos propostos foram

plenamente atingidos, ao se comprovar que o investimento em inovação e capacitação é determinante para elevar o padrão de qualidade das obras públicas e privadas.

No entanto, o estudo também evidenciou que ainda existem obstáculos que dificultam a adoção plena das estratégias mais modernas, sobretudo relacionados aos altos custos de implantação, à escassez de mão de obra qualificada e à falta de padronização nos processos construtivos. Essas limitações se tornam ainda mais críticas quando se considera a realidade de diversas regiões brasileiras, nas quais a infraestrutura viária carece de manutenção adequada e de um planejamento mais eficiente. Diante desse cenário, é essencial que haja maior comprometimento dos gestores públicos e das empresas privadas em adotar políticas de inovação contínua, promovendo o desenvolvimento de tecnologias acessíveis e sustentáveis, além de estimular a formação de profissionais especializados na área de pavimentação.

Considerando os resultados obtidos, recomenda-se que pesquisas futuras se dediquem a explorar o impacto do uso de tecnologias inteligentes e de sistemas automatizados de monitoramento em tempo real nas obras de pavimentação, bem como a aplicação de metodologias de construção mais sustentáveis. Estudos comparativos entre métodos tradicionais e inovadores podem oferecer subsídios valiosos para aprimorar a eficiência e a sustentabilidade das obras, além de contribuir para a formulação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento urbano responsável.

REFERÊNCIAS

ANMT- Associação Nacional de Medicina do Trabalho. **Construção Civil está entre os setores com maior risco de acidentes de trabalho.** 2019. Disponível em: https://www.anamt.org.br/portal/2019/04/30/construcao-civil-esta-entre-os-setores-com-maior-risco-de-acidentes-de-trabalho/. Acesso em: 04 set. 2025.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182/2016 **Ensaio de compactação e compressão do solo**. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.

BARBOSA, Eduardo Samuel da Costa; BARBOSA, FGR; BASSI, VB. **Pavimentação com blocos intertravados de concreto:** estudo de caso: comparativo de dimensionamento do pavimento na obra CLPA 02 empreendimentos imobiliários ltda. Repositório universitário Ânima (RUNA), 2021. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/19269/1/Artigo%20-%20Pavimenta%C3%A7%C3%A3o%20Intertravada%20%281%29.pdf . Acesso em: 20 de setembro de 2025.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação Asfáltica:** formação básica para engenheiros. Petrobras; Associação Brasileira das Empresas Distribuidora de Asfalto, Rio de Janeiro, 2022.

BARRETO, Camila Soares de Melo; SILVA, Lícia Bomfim Oliveira. **Reflexões acerca das principais patologias na repavimentação de trechos devido a obras de saneamento.** Monografia (Graduação). CESMAC, Maceió – AL, 2018. Disponível em: https://enacorrapv.com.br/anais/2024/EC641.pdf.Acesso em: 3 mai. 2025.

CNT - **Confederação Nacional do Transporte. Transporte Rodoviário:** Impactos da Qualidade do Asfalto Sobre o Transporte Rodoviário. Brasília: CNT, 2019.

CUNHA, Joyce Dias da Costa da; ABREU, Victor Hugo Souza de. **Aplicação do Método PDCA para melhoria do processo construtivo de uma empresa de grande porte**. Boletim do Gerenciamento, v. 9, n. 9, p. 11-18, 2019.

DNIT. Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Coordenação-Geral de Estudos e Pesquisa. **Manual de pavimentos**: Publicação IPR – 719. 13 ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas rodoviárias. 2017.

GOMES, Johnnata Guilherme; DE SOUZA DUTRA, Clézio Thadeu; DE SOUZA DUTRA, Vinicius Araújo**. Gerenciamento de obras da construção civil sob a ótica do *Lean Construction***. Projectus, v. 4, n. 4, p. 18-40, 2019.

GONÇALVES, Bruno César Silva. A**valiação dos Procedimentos para Determinação de Teor de Ligante e Granulometria em Concretos Asfálticos de diferentes faixas Granulométricas e origens Mineralógicas.** Santa Maria, RS. 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/handle/1/14067?locale-attribute=en. Acesso

em: 11 set. 2025.

FERRARI, T. D. **Planejamento e controle da produção:** teoria e prática, 3. ed. São Paulo: Grupo GEN, 2017.

MACEDO, T.F. **Caracterização microestrutural de propriedades viscoelásticas de ligantes asfálticos usando a microscopia de força atômica.** Tese (Doutorado de engenharia civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ, 2018. Disponível em: https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/11665/1/886829.pdf. Acesso em: 17 set. 2025.

MANCILHA, Ogor O; LEMOS, Carolina. L; PEREIRA, Alex G. Controle tecnológico de uma obra asfáltica da Avenida Farquar/RO. **Revista de Engenharia e Tecnologia.** V.13, n°4.dezembro 2021. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/15837/2/Alex_Augusto_Melo_Santos.pdf. Acesso em: 18 set. 2025.

OLIVEIRA, Sabrine Gois; CASTRO, Daniela Soares. **Segurança do trabalho na construção civil:** aplicação da NR-18 no canteiro de obras. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de engenharia civil da universidade do sul de santa catarina, Palhoça/SC, 2022.

PIMENTEL, C. A, A. **Formulação de misturas asfálticas a quente: contribuição para um novo método de formulação**. Dissertação de mestrado (Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, Portugal, 2013. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/14097/1/Andrea_Silva.pdf. Acesso em: 10 set. 2025.

SENÇO, Wlastermiler de, 1929 – **Manual de técnicas de pavimentação**. vol.1, 2.ed, São Paulo: Pini, 2007.

SEVIOLI, Murilo Trevisan; CANASSA, Poliana Lima. **Gerenciamento de obras: análise comparativa de layout de canteiros de obras e verificação de adequação às normas regulamentadoras**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão/Paraná, 2022.

SILVA, Cláudio O. **Pavimento Intertravado:** Manual de desempenho. 1 ed. São Paulo, SP: ABCP: Associação Brasileira da Industria de Blocos de Concreto BlocoBrasil, 2022.

SILVA, Ronaldo Maldonado; JÚNIOR, Vilmar Da Silva Oliveira; DE OLIVEIRA, Luciano Lacerda. Análise das principais alterações da nr-18/2020. **Revista Ibero Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 10, p. 2810-2824, 2021. Disponível em: https://periodicorease.pro.br/rease/issue/view/29. Acesso em: 10 set. 2025.

TETRACON. Pisos Intertravados. **Qual a diferença entre pavimento de concreto e pavimento asfáltico?** Goiânia: Tetracon, 2019. Disponível em: https://tetraconind.com.br/pisos-intertravados/qual-a-diferenca-entrepavimento-de-concreto-e-pavimento-asfaltico/ Acesso em: 20 de setembro de 2025.

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PATOLOGIA EM CERÂMICA, PAREDE E CONCRETO

PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS IN CIVIL CONSTRUCTION: PATHOLOGY IN CERAMICS, WALLS, AND CONCRETE

Abimael da Silva Costa
Mirian Nunes de Carvalho Nunes
Sara Raquel Fajardo Costa

5

Pascal
Editora

RESUMO

As manifestações patológicas na construção civil consistem em falhas que comprometem a durabilidade, funcionalidade, segurança e estética das edificações. Esse campo busca compreender os sintomas, causas e mecanismos de degradação, possibilitando identificar e recuperar estruturas afetadas. Mesmo com o avanço tecnológico e a adoção de novos materiais e processos sustentáveis, ainda são observadas falhas que causam deformações e deteriorações nos elementos construtivos, podendo até inviabilizar o uso da edificação. Mas de que maneira poderia ser possível contribuir para que a vida útil da cerâmica, das paredes e do concreto se estendesse por mais tempo, sem que houvesse manifestações patológicas? Diante disso, torna-se essencial estudar as patologias mais recorrentes, identificar em que fase da obra surgem e propor intervenções adequadas, contribuindo para o aumento da vida útil e da qualidade das construções, especialmente as de alvenaria tradicional. A relevância do tema se fundamenta na alta incidência de patologias em paredes, cerâmicas e concreto, mesmo com o uso de técnicas modernas. A ampliação da vida útil desses elementos depende da adoção de medidas preventivas em todas as fases da construção: projeto, execução e manutenção. No projeto, deve-se escolher materiais adequados, prever sistemas de impermeabilização, drenagem e detalhar juntas de dilatação. Na execução, é essencial o controle de qualidade e o cumprimento das normas técnicas. Por fim, a manutenção preventiva, com inspeções e reparos regulares, é decisiva para evitar danos. A aplicação conjunta dessas medidas reduz as manifestações patológicas e garante maior durabilidade e desempenho às edificações.

Palavras-chave: Patologia, Cerâmica, Parede.

ABSTRACT

The pathological manifestations in civil construction consist of failures that compromise the durability, functionality, safety and aesthetics of buildings. This field seeks to understand the symptoms, causes and mechanisms of degradation, making it possible to identify and recover affected structures. Even with the technological advance and the adoption of new materials and sustainable processes, failures are still observed that cause deformations and deterioration in the construction elements, and may even make it impossible to use the building. But how could it be possible to contribute so that the useful life of ceramics, walls and concrete extended for longer, without pathological manifestations? Therefore, it is essential to study the most recurrent pathologies, identify in which phase of the work arise and propose appropriate interventions, contributing to increase the useful life and quality of buildings, especially traditional masonry. The relevance of the theme is based on the high incidence of pathologies in walls, ceramics and concrete, even with the use of modern techniques. The extension of the useful life of these elements depends on the adoption of preventive measures in all phases of construction: design, execution and maintenance. In the project, one should choose suitable materials, provide waterproofing systems, drainage and detail expansion joints. In the execution, quality control and compliance with technical standards are essential. Finally, preventive maintenance, with regular inspections and repairs, is crucial to prevent damage. The joint application of these measures reduces pathological manifestations and ensures greater durability and performance to buildings.

Keywords: Pathology, Ceramics, Wall.

1 INTRODUÇÃO

A patologia pode ser compreendida como um componente da engenharia que estuda tanto os sintomas, como os processos, assim como as causas e as origens da falha na construção, pois é através desse estudo que é possível compreender e diagnosticar o problema. Assim, quando verificar alguma patologia em sua obra saiba que ainda há possibilidade de recupera-la.

Com a procura de melhor qualidade e conforto, os avanços tecnológicos englobam a construção civil com processos inovadores que ao longo dos tempos tem aumentando em larga escala, obtendo qualidade de produção, sem deixar de lado a questão sustentável e o reaproveitamento dos materiais assim como evitar os desperdícios. Entretanto, ainda existem falhas, que resultam em deformação, que acabam comprometendo a estrutura, assim como a sua estética indesejável, o que poderá ocasionar ao longo do tempo a danificação dos matérias utilizados, e até mesmo a impossibilidade de uso.

A importância deste estudo deu-se pela necessidade de realizar um levantamento das patologias apresentadas na construção civil, descobrir em qual processo construtivo elas se iniciaram e, assim, apontar alternativas de intervenção, apresentando as principais técnicas de preparo e os materiais utilizados, com a finalidade de contribuir para o conhecimento técnico no que diz respeito às patologias em casas tradicionais de alvenaria.

A relevância desse estudo justificou-se pelo grande número de patologias que foram visualizadas com frequência no dia a dia, o que contribuiu para um curto tempo de vida útil das obras. Mesmo com o surgimento de novas técnicas e materiais de qualidade para a execução de serviços que favoreceram a prevenção do surgimento de patologias, ainda se observa construções com revestimentos cerâmicos, paredes e concreto apresentando manifestações patológicas.

Portanto, este estudo foi relevante por ajudar a expandir e possibilitar uma compreensão mais completa das causas de manifestações patológicas. O resultado desse estudo pretende orientar para aprimorar o processo construtivo das edificações.

Dessa forma, o problema pesquisado foi: de que maneira poderia ser possível contribuir para que a vida útil da cerâmica, das paredes e do concreto se estendesse por mais tempo, sem que houvesse manifestações patológicas?

Para nortear ao questionamento o trabalho teve como objetivo, compreender como as manifestações patológicas prejudicam às paredes, às cerâmicas e ao concreto. Para isso, buscou-se identificar quais foram essas manifestações patológicas, suas causas e possíveis soluções e, por fim, verificar quais impactos elas causam nas citadas estruturas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A abordagem que foi utilizada na elaboração deste trabalho consiste na Revisão da Literatura. Onde foram utilizados artigos científicos selecionados através de busca nas seguintes bases de dados: scielo, google acadêmicos e livros.

Foi dada a preferência aos artigos publicados nos últimos 10 anos. As palavras-chave utilizadas na busca serão: manifestações patológicas, paredes, cerâmicas e concreto.

2.2 Resultados e Discussão

As manifestações patológicas na construção correspondem a analisar as edificações e os componentes que por algum motivo apresenta um problema, segundo Lima, et al. (2020), patologia pode ser comparada com a medicina, pois elas estão relacionadas aos meios que desenvolvem alguma enfermidade.

Na construção de uma obra, ela passa por algumas etapas que são chamadas de fases, são elas: a fase de projeto, fase execução e fase habitação ou ocupação de imóvel. Se houver problemas em qualquer uma dessas etapas, isso pode resultar em defeitos que prejudicam tanto a segurança quanto a durabilidade da obra. Segundo Miranda júnior (2019), é de suma importância estudar as patologias na construção civil, entender suas origens e as maneiras de preveni-las.

As principais patologias em paredes estão relacionadas as fissuras, trincas, rachaduras e umidade por infiltração, esse tipo de patologia indica que a estrutura da obra está comprometida ou não. Segundo Caporrino, Cristina Furlan (2018) as trincas podem indicar um possível colapso da estrutura, além de afetar a durabilidade da obra e transtornos psicológicos. Ao surgimento de fissuras, trincas e rachaduras isso pode indicar um sinal de que a estrutura da edificação não está em boas condições.

De acordo com Zanzarini (2008 apud Holanda Jr, 2018) as fissuras surgem devido as falhas no desempenho da alvenaria, o que pode afetar tanto a aparência quanto a durabilidade e as características estrutural do edifício. A origem dessas fissuras, esta relacionadas as tensões que atuam sobre os matérias. Quando ocorre o aparecimento de fissuras nada mais é do que a sinalização das tensões, ou seja, quando essas tensões superam a capacidade de resistência do material.

Ainda, de acordo com Zanzarini (2016) as fissuras passam por uma classificação, sendo fissuras, aberturas finas que atingem a pintura e o revestimento, embora não represente grande risco para a estrutura, porém permite a entrada da água da chuva, o que facilita o surgimento de bolores, aumento das fissuras, assim como a profundidade das fissuras. As trincas afetam a estrutura da parede e podem representar um risco a obra. As rachaduras por sua vez, são aberturas maiores e mais profundas, que podem comprometer ainda mais a estrutura da obra.

Por outro lado, as fissuras no concreto vêm surgindo ao logo do tempo, em conformidade com Bolina et al. (2019), por acreditar que o concreto era um material duradouro, por possuir um bom desempenho ao longo do tempo e resistia bem ao uso e as condições do ambiente. Com a ampliação do seu uso em diferentes ambientes e sob várias solicitações mecânicas, em certos momentos sob condições especificas, alguns de seus componentes podem começar a se deteriorar.

Além disso, Bolina et al. (2019), explica que quando o concreto está recém misturado pode ocorrer os mecanismos físicos, devido ao desgaste superficial que ocorre no concreto já endurecido. Onde esse desgaste ocorre pelo atrito entre uma fonte externa e a superfície do concreto, levando a formação de erosões e cavidades nos elementos.

Ainda de acordo com Bolina et al. (2019), a forma como se prepara o concreto pode afetar sua resistência final, quando há afastamento ou separação do agregado graúdo da pasta de argamassa, isso pode ocasiona bicheiras ou vazios no concreto, assim como pode ocorrer pela falta de adensamento do concreto no ato da concretagem, com isso as armações que o concreto faz o cobrimento podem ficar expostas, ocasionando a exposição a intemperes as ferragens, surgindo a corrosão e carbonatação das armaduras.

De acordo com Bolina et al. (2019), o concreto pode encolher por vários motivos, como retração de secagem, retração por assentamento plástico, autógena e retração por carbonatação. A retração por assentamento plástico acontece enquanto o concreto ainda está se formando. Depois de endurecido, ele fica preso por elementos fixos e rígidos, que limitam seus movimentos. Quando o volume dos componentes hidratados provoca contração na mistura temos uma retração autógena. Por fim, temos a retração por carbonatação, que acontece devido a uma reação química, nesse processo, o hidróxido de cálcio (CaOH2), presente no concreto hidratado, reage com o dióxido de carbono (CO2) do ambiente, que formam o carbonato de cálcio (CaCO3). A retração por carbonatação ocorre porque o CaCO3 é menor do que o CaOH2, causando uma redução no volume do concreto ao longo de vida útil do elemento.

Ainda sobre fissuras em concreto, vale ressaltar que a corrosão, também é um problema que está ligado a patologia. Segundo Pereira (2017), no concreto armado, a corrosão se deteriora por duas óticas, a de ação simultânea, já que ela perde a seção das barras e seus efeitos, já a outra ótica é sobre o seu comportamento mecânico em relação a fissuração do concreto assim como as suas consequências.

Por fim, para sanar as trincas e fissuras é necessário que as manutenções preventivas sejam realizadas e pode ocorrer a troca do revestimento do mesmo ou o cobrimento de fissuras. Vale ressaltar que se a fissura já está estabilizada, a substituição do revestimento é válida. A técnica de selagem em fissuras geométricas sazonais, segundo Viapol (2021), ela possui uma boa aderência e resistência a intempéries, essa técnica e utilizada para calafetação de fissuras de baixa movimentação, dando um visual melhor ao ambiente. Ainda tem as fissuras mapeadas ou disseminadas, que são aquelas fissuras que tem forma de um mapa, o que na maioria das vezes as aberturas superficiais deixam o revestimento feio.

Em conformidade com Lima, Augusto e Santos (2017) as fissuras podem ocorrer de forma ativa ou passiva. Onde as fissuras ativas se subdividem em sazonais ou progressiva. As fissuras ativas tem variações sensíveis de abertura e fechamento, e ocorrem devido as mudanças de temperaturas, mas elas não oferecem risco a estrutura, porém as fissuras progressivas com o passar do tempo aumentam de tamanho.

Nos revestimentos cerâmicos existem alguns fatores que permitem o surgimento de manifestações patológicas, segundo a NBR 13755 (2017), o processo de execução do revestimento cerâmico deve seguir arrisca todo processo de execução do revestimento das paredes com placas cerâmicas e qual argamassa colante será utilizada. A mesma relata que o assentamento das placas deve ser feito de cima para baixo. É preciso ficar atento quando for assentar as placas cerâmicas sobre a argamassa fresca, pois é preciso deixar o espaçamento adequado entre elas, além do seu alinhamento.

Quando ocorre uma falha na ligação entre as interfaces que ligam a placa cerâmica as demais camadas do sistema de revestimento cerâmico é chamada de deslocamento. As tenções nos elementos do revestimento são superiores a capacidade de aderência entre camadas. Essa patologia tem como primeiro sinal a aparição de um som oco em determinada área da camada externa do revestimento cerâmico. Segundo Silva (2017), isso ocorre porque em algum momento ocorreu um rompimento nessa ligação, ou seja, perda de aderência entre as placas cerâmicas e a camada de emboço ou entre a camada do emboço e a base. Após o descolamento das placas ocorre o desplacamento, ainda conforme Silva (2017) no desplacamento as placas cerâmicas começam a cair, o que podem provocar acidentes ou prejuízos financeiros.

Quanto as possíveis causas em conformidade com Santos (2017), podem ser estruturais, naturais ou biológicas. Quando a causa for estrutural, sofre deformações físicas jun-

tamente com os componentes do revestimento. Diante disse, as tensões da deformação são transferidas para o revestimento que se adere. Se por acaso a resistência de aderência seja superada, resultara no desprendimento das placas. Já a causa natural, há variação de temperatura que provoca a contração e a expansão dos elementos estruturais, onde as mudanças de temperatura provocam deformações continua gerando esforços internos e provocando o surgimento de patologias. As causas biológicas podem se desenvolver através da argamassa, são os casos de fungos e bactérias o que torna a aderência da argamassa prejudicial e causa o deslocamento além das patologias estéticas.

Segundo a diretriz da norma NBR 13755 (2017), para o processo de colagem das placas cerâmicas, deve ser aplicada com o uso de uma desempenadeira, para dar ligação a placa e a camada de argamassa e dado sulcos na camada. Ainda de acordo com a NBR 13755 (2017) é recomendado para o revestimento de fachadas a argamassa do tipo AC-II, para que tenha um bom desempenho. Além do uso de desempenadeira com 6 mm x 6mm x 6mm, com espessura de argamassa com 3mm a 4 mm, já em caso da desempenadeira de 8mm x 8mm x8mm a espessura deve ser de 5mm a 6 mm, e os cordões devem ser esmagados para que a aderência entre a placa e a camada seja eficaz.

3 CONCLUÇÃO

Diante do exposto, fica claro que as manifestações patológicas nas construções representam um grande desafio para a engenharia civil. Isso porque essas falhas podem afetar não só a durabilidade do prédio, mas também a segurança e o conforto das pessoas que dele usam. Como resultado do problema apresentado ao longo do trabalho, conclui-se que a ampliação da vida útil da cerâmica, paredes e do concreto depende da adoção de medidas preventivas em todas as fases da construção, desde o projeto a execução e manutenção.

Na etapa de projeto, essa etapa é essencial realizar a correta especificação dos matérias, considerando as condições ambientais a qual serão expostos, assim como garantir o detalhamento técnico adequado, prevendo juntas de dilatação, sistemas de impermeabilização e drenagem. Além de outros fatores que possam comprometer o desempenho dos elementos construtivos.

Já durante a execução, deve-se assegurar o controle de qualidade dos materiais, seguir as normas técnicas vigentes e aplicar boas práticas construtivas, como a cura adequada do concreto, o assentamento correto das cerâmicas e o uso apropriado de argamassas e rejuntes. Além da impermeabilização das áreas sujeitas à umidade, o que é fundamental para prevenir infiltrações e o surgimento de patologias.

Por fim, na fase de uso, a manutenção preventiva desempenha um papel decisivo na durabilidade das edificações, sendo necessário realizar inspeções periódicas, assim como manter a limpeza com produtos adequados, além de reparar fissuras e infiltrações de forma imediata e garantir uma boa ventilação e drenagem. A aplicação conjunta dessas medidas reduz significativamente as manifestações patológicas e aumenta a durabilidade e o desempenho dos sistemas construtivos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13.755**: revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante- Projeto, execução, inspeção e aceitação- Procedi-

mento, Rio de Janeiro, 2017.

BOLINA, Fabricio Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de texto, 2019.

CAPORRINO, Cristiana Furlan. **Patologias em alvenarias**. São Paulo: Oficina de texto, 2018.

LIMA. Natália Maria. et al. **Patologia das construções**. Salvador: Ekoa,2020.

MIRANDA JUNIOR, Noel Gonçalves. **Alvenaria estrutural e suas patologias na construção civil**. TCC (Graduação)- Curso de Engenharia Civil, Unic, Rondonópolis,2018.

PEREIRA, Thiago Ramo. **Corrosão em armaduras de concreto**. 2017.

SANTOS, Mayara Jordana Barros Oliveira. **Catalogação de patologias em faixadas de edifícios residenciais de Brasília**. Brasília, p.212. 2017.

SILVA, Thawan Douglas Alves; CARVALHO, Magaly Araújo. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento cerâmico de fachadas e edifícios residenciais**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás). Goiás, 2017.

VIAPOL, **Hey' dicryl mastique**. Disponível em: http://www.viapol.com.br/produtos/tratamento-de-junta/selante/hey-dicryl-mastique/. Acesso em: 06 jan.2025.

ZANZARINI, J C. **Analise das causas e recuperações de fissuras em edificação residencial em alvenaria estrutura- Estudo de caso**. 2016. 82 f. TCC (Curso de Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6296. Acesso em: 06 jan.2025.

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: DESAFIOS, INOVAÇÕES E IMPACTOS AMBIENTAIS

SUSTAINABILITY IN CIVIL CONSTRUCTION: CHALLENGES, INNOVATIONS, AND ENVIRONMENTAL IMPACTS

Higo Charles da Silva Dias
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

6

Pascal
Editora

RESUMO

A construção civil é um dos setores com maior impacto ambiental, sendo responsável pelo consumo elevado de recursos naturais, emissão de poluentes e geração de resíduos. Com a crescente preocupação sobre os efeitos das atividades humanas no meio ambiente, a sustentabilidade na construção civil se tornou uma necessidade urgente. Este artigo tem como objetivo discutir os principais desafios, inovações tecnológicas e impactos ambientais associados à implementação de práticas sustentáveis no setor. Os desafios culturais e econômicos, como a resistência à mudança e a falta de capacitação dos profissionais, ainda são obstáculos significativos para a transição para práticas mais sustentáveis. No entanto, o avanço de tecnologias como Building Information Modeling (BIM), materiais ecológicos e sistemas de energia renovável tem mostrado resultados promissores na redução do impacto ambiental das construções. A integração de tecnologias inovadoras, como a automação e a robotização, também contribui para a melhoria da eficiência no uso de recursos e a redução de desperdícios. Além disso, políticas públicas, como incentivos fiscais e regulamentações de eficiência energética, desempenham um papel fundamental na promoção da construção sustentável. Este estudo destaca a importância da educação e capacitação dos profissionais da área, bem como a necessidade de parcerias estratégicas entre os setores público e privado para garantir a implementação de práticas responsáveis e inovadoras. A sustentabilidade na construção civil representa uma oportunidade de transformação para um setor mais responsável, eficiente e alinhado com as demandas ambientais globais.

Palavras-chave: Sustentabilidade, construção civil, impacto ambiental, eficiência energética.

ABSTRACT

The construction industry is one of the sectors with the greatest environmental impact, being responsible for high consumption of natural resources, emission of pollutants, and generation of waste. With growing concern about the effects of human activities on the environment, sustainability in construction has become an urgent necessity. This article aims to discuss the main challenges, technological innovations, and environmental impacts associated with the implementation of sustainable practices in the sector. Cultural and economic challenges, such as resistance to change and lack of professional training, are still significant obstacles to the transition to more sustainable practices. However, advances in technologies such as Building Information Modeling (BIM), ecological materials, and renewable energy systems have shown promising results in reducing the environmental impact of construction. The integration of innovative technologies, such as automation and robotics, also contributes to improved resource efficiency and reduced waste. In addition, public policies, such as tax incentives and energy efficiency regulations, play a fundamental role in promoting sustainable construction. This study highlights the importance of education and training for professionals in the field, as well as the need for strategic partnerships between the public and private sectors to ensure the implementation of responsible and innovative practices. Sustainability in civil construction represents an opportunity for transformation towards a more responsible, efficient sector aligned with global environmental demands.

Keywords: Sustainability, civil construction, environmental impact, energy efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais relevantes da economia brasileira, responsável por uma significativa parcela do Produto Interno Bruto (PIB) e pela geração de empregos em diversas regiões do país. No entanto, esse setor também é um dos maiores causadores de impactos ambientais, sendo responsável por grande parte do consumo de recursos naturais, como água, energia e matérias-primas, além da emissão de poluentes e da geração de resíduos sólidos. Estima-se que cerca de metade do consumo de materiais naturais no Brasil esteja vinculado à construção civil. Diante desse quadro, a adoção de práticas sustentáveis nesse setor é crucial para reduzir os impactos ambientais e promover o uso mais eficiente dos recursos naturais.

A sustentabilidade na construção civil envolve a implementação de técnicas e tecnologias que visem minimizar os impactos ambientais, melhorar a eficiência energética e reduzir o desperdício de materiais. No entanto, a transição para práticas mais sustentáveis enfrenta obstáculos significativos, como o elevado custo de adoção de novas tecnologias e a resistência cultural dentro da indústria. Além disso, as políticas públicas desempenham um papel fundamental nesse processo, pois podem criar incentivos e regulamentações que incentivem o uso de práticas mais ecológicas e a incorporação de tecnologias inovadoras no setor.

Este artigo visa revisar a literatura sobre os principais desafios que a construção civil enfrenta para adotar práticas sustentáveis, com ênfase na inovação tecnológica e nas políticas públicas necessárias para promover a sustentabilidade no setor. A pesquisa busca entender as barreiras que dificultam a implementação dessas práticas, bem como identificar soluções viáveis para superá-las, contribuindo para o avanço da sustentabilidade no setor da construção.

A principal questão que orienta este estudo é: Quais são os principais desafios que impedem a adoção efetiva de práticas sustentáveis na construção civil? Esses desafios incluem o custo elevado da implementação de tecnologias sustentáveis, a falta de capacitação técnica e a resistência das empresas a adotar novas práticas. Identificar essas barreiras é essencial para traçar estratégias que possam acelerar a transição para um modelo de construção mais sustentável.

O objetivo geral deste estudo é analisar os obstáculos enfrentados pela construção civil na implementação de práticas sustentáveis e avaliar como as inovações tecnológicas e as políticas públicas podem ajudar a superar esses desafios. Os objetivos específicos incluem a análise das tecnologias sustentáveis mais relevantes para o setor, a investigação das políticas públicas existentes e a proposição de soluções que incentivem a adoção de práticas mais verdes no setor da construção civil.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa realizado neste trabalho foi uma Revisão de Literatura, de abordagem qualitativa e natureza descritiva. Foram consultados livros, dissertações e artigos científicos selecionados por meio de busca nas seguintes fontes: Google Scholar, SciELO, Scopus, Web of Science e relatórios técnicos de organizações nacionais. O período dos artigos pesquisados compreendeu os últimos dez anos, priorizando publicações a partir de 2014, mas admitindo fontes anteriores com alta relevância teórica.

As palavras-chave utilizadas na busca foram: *"sustentabilidade na construção civil"*, *"inovações tecnológicas sustentáveis"*, *"políticas públicas de sustentabilidade"* e *"impactos ambientais da construção civil"*. A busca também foi refinada pela análise dos resumos e das palavras-chave de cada artigo, garantindo a seleção de estudos alinhados aos objetivos da pesquisa.

Os critérios de inclusão adotados foram: textos completos, escritos em português, que abordem diretamente temas relacionados às práticas sustentáveis, inovações tecnológicas e políticas públicas aplicadas à construção civil. Foram excluídos artigos de revisão, resumos, primeiras impressões e publicações que não tratassem diretamente do objeto de estudo. A diversidade de fontes utilizadas contribuiu para maior profundidade e confiabilidade na análise.

Essa metodologia visa identificar lacunas na literatura e oferecer uma leitura crítica sobre o papel das inovações tecnológicas e das políticas públicas na promoção de práticas sustentáveis, contribuindo para o avanço do desenvolvimento consciente e responsável na construção civil.

2.2 Resultados e Discussão

A sustentabilidade na construção civil é objeto de crescente atenção acadêmica e institucional, sendo considerada elemento essencial para a modernização do setor e a mitigação de seus impactos socioambientais. A literatura contemporânea evidencia que a adoção de práticas sustentáveis é dificultada por múltiplas barreiras, entre elas a cultura organizacional baseada na redução de custos imediatos, a ausência de capacitação técnica adequada, a fragmentação das responsabilidades no ciclo construtivo e o descompasso entre os avanços tecnológicos disponíveis e sua efetiva aplicação nos canteiros de obra (John et al., 2001).

Para melhor visualizar os principais entraves e as soluções propostas pela literatura especializada, apresenta-se a seguir o Quadro 1, que resume essas informações de forma comparativa.

BARREIRAS	SOLUÇÕES E PROPOSTAS
Cultura organizacional voltada ao custo imediato	Incentivos fiscais e certificações ambientais
Falta de capacitação técnica	Inserção do tema em currículos técnicos e superiores
Descarte inadequado de resíduos	Políticas de reaproveitamento e economia circular
Baixa adesão tecnológica	Implantação do BIM e digitalização de processos

Quadro 1. Barreiras e soluções para a sustentabilidade na construção civil

Fonte: Elaborado pela autora com base em John et al. (2001), Ribeiro, Cruz e Monteiro (2016), Techio et al. (2016), Yemal et al. (2011), Freitas e Librelotto (2016).

A apresentação comparativa reforça como as barreiras à sustentabilidade podem ser superadas com estratégias coordenadas que envolvem formação, planejamento e uso de tecnologias. A clareza dessas relações contribui para o delineamento de políticas públicas mais eficazes.

A formação deficiente da mão de obra, sobretudo no que se refere à sustentabilidade e ao uso racional de materiais e recursos, contribui para a manutenção de práticas convencionais. Ribeiro, Cruz e Monteiro (2016) argumentam que a construção sustentável exige, além de infraestrutura normativa, uma mudança paradigmática no comportamento dos

agentes envolvidos. Essa lacuna formativa está diretamente ligada à limitada inserção do tema nos currículos da educação técnica e superior, o que perpetua a baixa qualificação no trato de questões ambientais. Techio et al. (2016) reforçam a necessidade de políticas educacionais que aproximem teoria e prática, com foco na sustentabilidade aplicada à construção.

Do ponto de vista técnico-operacional, destaca-se o desafio da eficiência energética, especialmente em edificações urbanas. Porto e Milanez (2009) identificam que a maioria dos projetos ainda negligencia estratégias passivas de climatização, resultando em edificações com alto consumo energético. A inércia na adoção de soluções mais eficientes compromete o desempenho ambiental e encarece o uso prolongado dos empreendimentos. A gestão de resíduos, por sua vez, carece de planejamento específico e de sistemas eficazes de reaproveitamento. O descarte inadequado gera implicações diretas sobre o meio ambiente, sobretudo quando se trata de resíduos de difícil decomposição. Yemal, Teixeira e Naas (2011) apontam que empresas que incorporam práticas de descarte consciente e reaproveitamento de insumos fortalecem sua imagem institucional e agregam valor à sua atuação no mercado.

Em contraponto às dificuldades, a literatura revela um conjunto expressivo de soluções viáveis. A modelagem da informação da construção (BIM) é destacada por Freitas e Librelotto (2016) como instrumento estratégico para o planejamento, simulação e controle de obras com foco na sustentabilidade. Ao permitir o mapeamento detalhado do projeto e a antecipação de interferências, o BIM reduz significativamente desperdícios e retrabalhos. A automação e a digitalização dos processos produtivos, com o suporte da inteligência artificial, contribuem para maior precisão na alocação de recursos e para o monitoramento de indicadores de sustentabilidade.

A seguir, a Figura 1 apresenta os principais ganhos apontados pelas empresas que adotaram o BIM em seus projetos sustentáveis, segundo levantamento de Souza et al. (2022).

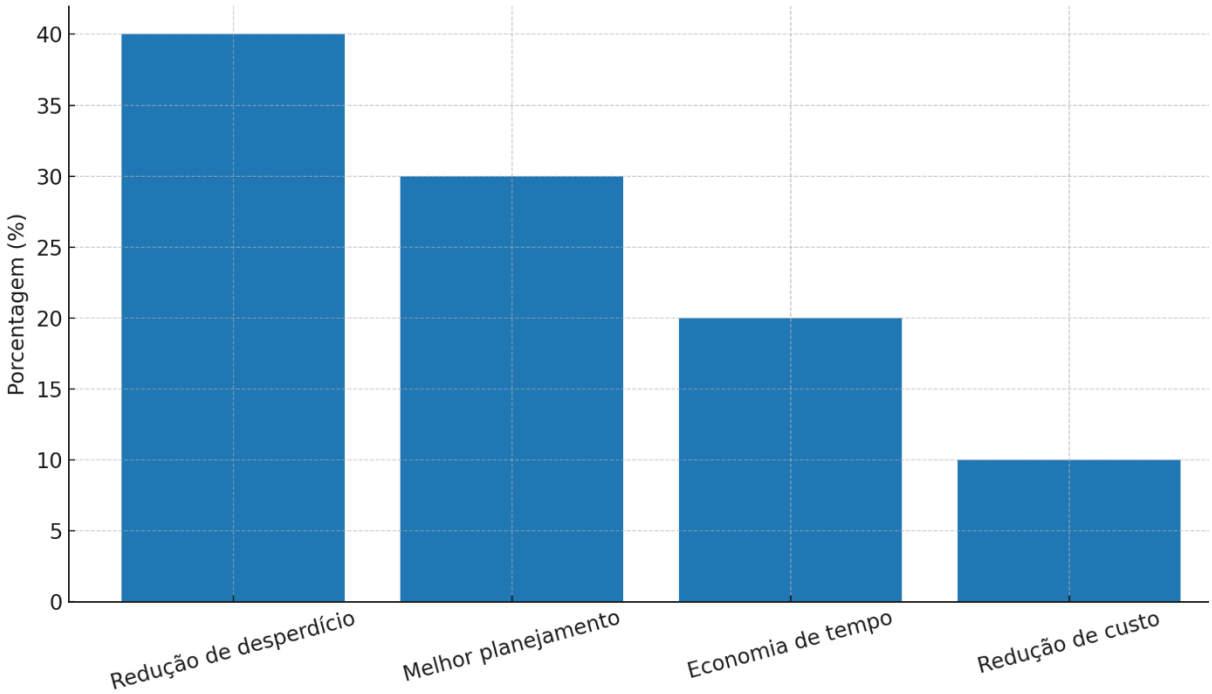


Figura 1. Benefícios percebidos com o uso do BIM em projetos sustentáveis

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2022).

Os dados ilustram o papel estratégico do BIM na sustentabilidade, reforçando sua capacidade de integrar planejamento, execução e controle em um mesmo ambiente digital, otimizando recursos e tempo.

A incorporação de materiais de menor impacto ambiental, como concretos com adições minerais, blocos ecológicos, tintas à base d'água e isolantes térmicos de origem renovável, é outro eixo relevante. Rocha et al. (2024) destacam que tais materiais, além de reduzirem a pegada de carbono das construções, favorecem a economia circular e diminuem a dependência de insumos não renováveis. Corrêa (2009) observa que a inovação tecnológica no setor construtivo deve considerar as especificidades do contexto local, promovendo soluções viáveis tanto técnica quanto economicamente.

A geração de energia por fontes renováveis é também enfatizada na literatura. Nascimento (2024) ressalta que a integração de painéis fotovoltaicos e sistemas eólicos em edificações amplia a autossuficiência energética, contribuindo para a descarbonização da matriz energética do setor. Tais sistemas, embora ainda considerados investimentos de médio a longo prazo, têm se mostrado financeiramente vantajosos frente aos custos operacionais convencionais, sobretudo em edifícios públicos e comerciais.

Adicionalmente, estudos têm mostrado a relevância da análise de ciclo de vida (ACV) como ferramenta estratégica para mensurar e comparar os impactos ambientais associados a diferentes materiais e sistemas construtivos ao longo do tempo. Segundo Silva e Mendes (2021), a ACV permite ao projetista e ao gestor de obras tomar decisões mais conscientes, priorizando soluções que resultem em menor consumo de energia e emissão de gases de efeito estufa ao longo do tempo de uso do edifício. Essa abordagem contribui para qualificar os critérios técnicos e ambientais nas licitações públicas e privadas, exigindo maior transparência dos fornecedores quanto à origem e desempenho ambiental dos produtos.

No campo das certificações, programas como o LEED, AQUA-HQE e EDGE ganham destaque ao estabelecerem parâmetros mínimos de desempenho ambiental e conforto dos usuários, além de fortalecerem a governança ambiental nas empresas do setor. Souza e Araújo (2020) ressaltam que empreendimentos certificados apresentam valorização de mercado, menor custo de operação e maior atratividade para investidores e usuários finais. Esses programas vêm sendo cada vez mais incorporados por incorporadoras e construtoras de médio e grande porte, especialmente nas regiões metropolitanas.

A Figura 2 apresenta a distribuição percentual dos principais tipos de certificações ambientais adotadas em empreendimentos brasileiros, conforme dados do Green Building Council (2023).

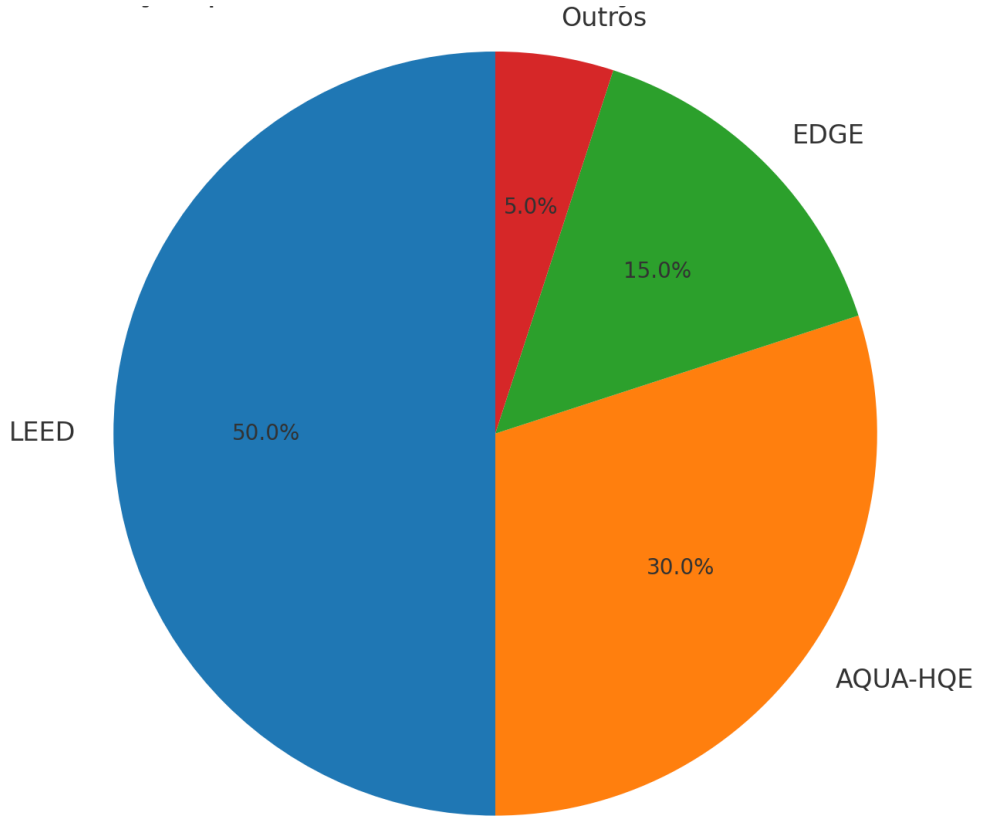


Figura 2. Distribuição percentual das certificações ambientais em edificações no Brasil (2023)

Fonte: Adaptado de Green Building Council Brasil (2023).

A predominância da certificação LEED indica maior reconhecimento internacional, enquanto o crescimento da AQUA-HQE reflete a adaptação de parâmetros sustentáveis ao contexto brasileiro. A análise desses dados reforça a crescente institucionalização da sustentabilidade no setor.

Do ponto de vista institucional, as políticas públicas exercem papel fundamental como indutoras da sustentabilidade na construção civil. Porto e Milanez (2009) alertam que os instrumentos normativos devem ser atualizados e ampliados, de forma a contemplar critérios objetivos de desempenho e penalidades para práticas inadequadas. A NBR 15575/2013, conforme análise de De Carvalho et al. (2020), ainda carece de dispositivos que permitam a mensuração dos impactos ambientais efetivos das construções, limitando seu alcance prático. Além das normas, os incentivos fiscais e creditícios representam mecanismos importantes para estimular práticas sustentáveis. Corrêa (2009) defende a criação de linhas de financiamento específicas para empreendimentos com certificação ambiental ou que comprovem desempenho superior aos mínimos legais. Complementarmente, Almeida (2023) enfatiza a importância da articulação entre políticas públicas e qualificação profissional para a consolidação de um ambiente regulatório robusto, capaz de sustentar o desenvolvimento de um mercado de crédito de carbono nacional.

Outro aspecto relevante diz respeito ao papel da inovação digital e da Indústria 4.0 na construção civil sustentável. O uso de sensores inteligentes, Internet das Coisas (IoT) e big data permite o acompanhamento em tempo real do consumo de energia, água e materiais, possibilitando ajustes imediatos que otimizam o desempenho das edificações. Segundo Moura e Paiva (2022), a digitalização das obras não apenas melhora a eficiência operacional, mas também cria bases de dados fundamentais para pesquisas futuras e para a formulação de políticas públicas mais assertivas. Essa transformação digital pode

ser vista como um divisor de águas para o setor, promovendo um salto qualitativo em termos de rastreabilidade e transparência.

A literatura também destaca a importância da economia circular na construção civil. Esse conceito, que preconiza a redução, reutilização e reciclagem de materiais, pode alterar significativamente a lógica linear de produção e descarte predominante no setor. De acordo com Santos e Oliveira (2021), a adoção de princípios da economia circular em canteiros de obras viabiliza não apenas ganhos ambientais, mas também econômicos, pela redução dos custos com matéria-prima e pela criação de novos mercados para materiais reciclados. Além disso, essa perspectiva alinha-se às diretrizes globais da Agenda 2030, contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura), 11 (Cidades e comunidades sustentáveis) e 12 (Consumo e produção responsáveis).

Um ponto de debate crescente refere-se à resiliência urbana e à adaptação das edificações às mudanças climáticas. As construções precisam responder a eventos extremos como ondas de calor, enchentes e tempestades intensas, que têm se tornado cada vez mais frequentes. Segundo Carvalho e Pinto (2020), projetar edificações resilientes requer o uso de materiais e técnicas capazes de suportar condições adversas, garantindo a segurança dos usuários e a continuidade das atividades. Nesse contexto, a sustentabilidade não é apenas uma questão ambiental, mas também de segurança e saúde pública, inserindo-se no campo mais amplo da justiça socioambiental.

Além dos aspectos técnicos e normativos, a literatura analisa o papel dos stakeholders no avanço da construção sustentável. A participação de arquitetos, engenheiros, gestores públicos, investidores, fornecedores e usuários finais é determinante para o sucesso das práticas adotadas. Rodrigues e Almeida (2022) destacam que a sustentabilidade na construção civil demanda processos colaborativos e integrados, rompendo com a lógica fragmentada que historicamente caracteriza o setor. A criação de fóruns, conselhos e redes colaborativas pode potencializar a troca de experiências e acelerar a adoção de soluções inovadoras.

A dimensão social também ocupa espaço relevante nas discussões sobre sustentabilidade. Empreendimentos que incorporam práticas inclusivas e acessíveis contribuem para a redução das desigualdades e para a promoção do direito à cidade. De acordo com Fernandes e Lima (2019), habitações sustentáveis de interesse social podem aliar tecnologias de baixo impacto ambiental a soluções que atendam populações vulneráveis, garantindo maior qualidade de vida. Essa perspectiva amplia o escopo da sustentabilidade, incluindo a justiça social como elemento indissociável do debate.

Outra contribuição relevante dos estudos analisados refere-se à integração da sustentabilidade com instrumentos de governança corporativa. Empresas que estabelecem metas ambientais claras e relatórios de sustentabilidade transparentes ganham maior credibilidade perante investidores e consumidores. Segundo Oliveira e Barros (2021), a responsabilidade socioambiental corporativa tornou-se diferencial competitivo, especialmente em mercados globalizados em que critérios ESG (Environmental, Social and Governance) orientam decisões de investimento. Nesse sentido, a construção civil sustentável não se limita ao canteiro de obras, mas perpassa toda a cadeia de valor, incluindo planejamento estratégico, marketing e relacionamento com stakeholders.

A sustentabilidade na construção civil tem se consolidado como tema central nas discussões acadêmicas e setoriais, refletindo a urgência de transformar práticas tradicionais em modelos mais conscientes e responsáveis. A literatura recente evidencia que o setor ainda enfrenta entraves estruturais significativos para a incorporação de práticas

sustentáveis, especialmente no que diz respeito à cultura organizacional, à capacitação técnica dos profissionais e à resistência a investimentos de maior custo inicial, apesar das vantagens de longo prazo. John et al. (2001) destacam que os profissionais da construção devem incorporar critérios de sustentabilidade às suas atividades, não apenas por razões econômicas, mas também pela preservação dos recursos naturais e bem-estar das futuras gerações.

A ausência de formação específica dos trabalhadores da construção civil contribui para o afastamento de técnicas sustentáveis no cotidiano dos canteiros de obras. Conforme apontado por Ribeiro, Cruz e Monteiro (2016), além da responsabilidade individual dos profissionais, é imprescindível que o setor esteja respaldado por normativas que incentivem práticas com menor impacto ambiental. O problema do descarte inadequado de resíduos também permanece crítico: o setor é responsável por elevada produção de entulho, cuja gestão inadequada resulta em danos ao solo e aos recursos hídricos. Techio et al. (2016) ressaltam a importância de inserir a temática da sustentabilidade nos currículos acadêmicos, de modo a formar profissionais mais conscientes e tecnicamente preparados para enfrentar tais desafios.

Outro fator limitante é a baixa atenção dedicada à eficiência energética desde a etapa de projeto. Porto e Milanez (2009) afirmam que edificações planejadas sem critérios de desempenho energético acarretam custos operacionais elevados e impactos ambientais evitáveis. A implantação de estratégias de reaproveitamento de materiais e descarte adequado não só agrega valor à imagem institucional das empresas, como também reforça o compromisso com a coletividade e as futuras gerações (Yemal; Teixeira; Naas, 2011).

Por outro lado, avanços tecnológicos apresentam soluções concretas para os desafios do setor. Ferramentas como o Building Information Modeling (BIM), destacadas por Freitas e Librelotto (2016), permitem visualizar integralmente o projeto, possibilitando maior precisão no planejamento e menor desperdício de recursos. A digitalização dos processos, aliada à inteligência artificial, favorece a automação e o gerenciamento eficiente de recursos, fortalecendo a transição para modelos construtivos mais sustentáveis. A adoção de materiais alternativos, como concretos ecológicos e elementos recicláveis, contribui diretamente para a mitigação dos impactos ambientais, como apontado por Rocha et al. (2024).

Nesse sentido, Corrêa (2009) defende que a sustentabilidade deve ser baseada no alinhamento entre ganhos ambientais, sociais e econômicos, sendo essencial o fortalecimento das relações entre empresas, fornecedores e agentes de inovação. Nascimento (2024) complementa ao enfatizar que a inserção de sistemas de energia renovável em projetos de construção viabiliza a autossuficiência energética e a redução das emissões de carbono.

As políticas públicas, por sua vez, exercem função estruturante no incentivo à sustentabilidade no setor. Porto e Milanez (2009) observam a necessidade de revisão dos marcos regulatórios para garantir maior justiça ambiental. A implementação de códigos de construção sustentável, que exigem requisitos mínimos de desempenho energético e gestão de resíduos, bem como incentivos fiscais, têm favorecido a adesão a práticas mais responsáveis. Para De Carvalho et al. (2020), a norma brasileira NBR 15575/2013 representa um avanço, mas ainda carece de critérios objetivos para avaliação da adequação ambiental no contexto da construção civil.

A articulação entre governo, setor privado e organizações da sociedade civil é estratégica para impulsionar a adoção de soluções sustentáveis. Corrêa (2009) enfatiza a importância de regulamentações claras e eficazes, aliadas à oferta de incentivos econômicos.

Nesse cenário, Almeida (2023) destaca que a combinação entre políticas públicas e formação técnica adequada é fundamental para fomentar um ambiente propício à consolidação do mercado de crédito de carbono no Brasil, ampliando o impacto positivo das práticas sustentáveis na construção civil.

3 CONCLUSÃO

A sustentabilidade na construção civil, conforme analisado neste estudo, revela-se um desafio multifacetado que envolve aspectos culturais, técnicos, econômicos e institucionais. O objetivo principal de compreender as barreiras que dificultam a adoção de práticas sustentáveis foi alcançado, destacando-se a resistência à mudança cultural, a falta de capacitação técnica e o custo elevado para implementação de tecnologias inovadoras como os principais obstáculos. Da mesma forma, as inovações tecnológicas, como o BIM, materiais ecológicos e sistemas de energia renovável, mostraram-se soluções promissoras, assim como o papel das políticas públicas na criação de incentivos e na regulamentação do setor. O debate evidenciou que a transformação sustentável depende de um conjunto integrado de ações envolvendo educação, tecnologia e governança.

No entanto, algumas limitações foram identificadas durante o desenvolvimento da pesquisa, principalmente relacionadas à escassez de estudos que aprofundem a eficácia prática das políticas públicas adotadas e a real capacidade de implementação tecnológica em pequenas e médias empresas do setor, que representam a maior parcela do mercado. Também se percebeu que a literatura ainda carece de abordagens mais detalhadas sobre a integração entre sustentabilidade e justiça social, especialmente no contexto das habitações populares. Essas lacunas apontam para a necessidade de futuras investigações que explorem, além do aspecto ambiental, a equidade e a participação social como fundamentos para a construção civil sustentável.

Para avançar nesse cenário, recomenda-se que pesquisas futuras ampliem o foco para estudos de casos práticos, avaliando a replicabilidade das inovações tecnológicas em diferentes contextos regionais e econômicos. Além disso, é fundamental aprofundar a análise de políticas públicas eficazes, promovendo a articulação entre governos, empresas e sociedade civil, para fortalecer o ambiente regulatório e os incentivos que propiciem a transição para um setor mais sustentável. Por fim, o estímulo à formação contínua e multidisciplinar dos profissionais emerge como um eixo estratégico indispensável para consolidar a sustentabilidade como prática cotidiana e transformadora na construção civil brasileira.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. F. **Políticas públicas e sustentabilidade na construção civil: desafios e oportunidades no Brasil**. Revista Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 18, n. 2, p. 85–102, 2023.

CARVALHO, R. A.; PINTO, M. S. **Resiliência urbana e adaptação da construção civil às mudanças climáticas. Revista de Engenharia Civil**, v. 17, n. 3, p. 45–60, 2020.

CORRÊA, C. M. **Sustentabilidade na construção civil: desafios e perspectivas. Revista Tecnológica**, v. 13, n. 1, p. 25–40, 2009.

DE CARVALHO, M. A.; FERREIRA, J. A.; LIMA, P. R. **Análise crítica da NBR 15575: desempenho e sustentabilidade. Revista Ambiente Construído**, v. 20, n. 4, p. 233–252, 2020.

FERNANDES, P. C.; LIMA, S. R. **Habitação social sustentável: inclusão e qualidade de vida. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 26, n. 2, p. 77–91, 2019.

FREITAS, L. G.; LIBRELOTTO, L. I. **BIM como ferramenta estratégica para construção sustentável. Revista Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, p. 65–82, 2016.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Relatório Anual 2023: Certificações ambientais no Brasil. São Paulo: GBC Brasil**, 2023.

JOHN, V. M.; ÂNGULO, S. C.; AGOPYAN, V. **Sustentabilidade na construção civil: desafios e oportunidades. Revista de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, p. 39–50, 2001.

MOURA, D. L.; PAIVA, J. M. **Indústria 4.0 e a construção civil sustentável: potencialidades da digitalização. Revista Brasileira de Engenharia de Produção**, v. 28, n. 1, p. 102–119, 2022.

NASCIMENTO, T. R. **Energias renováveis na construção civil: avanços e desafios. Revista de Energia e Sustentabilidade**, v. 15, n. 1, p. 55–71, 2024.

OLIVEIRA, R. S.; BARROS, A. P. **ESG e construção civil: impactos na governança corporativa. Revista de Administração Contemporânea**, v. 25, n. 6, p. 990–1008, 2021.

PORTO, M. F.; MILANEZ, B. **Construção civil e meio ambiente: eficiência energética e sustentabilidade. Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 67–78, 2009.

RIBEIRO, D. C.; CRUZ, M. C.; MONTEIRO, P. S. **Capacitação técnica e sustentabilidade na construção civil. Revista de Educação e Engenharia**, v. 12, n. 2, p. 115–128, 2016.

ROCHA, F. A.; ALVES, G. C.; DIAS, L. R. **Materiais sustentáveis e inovação tecnológica na construção civil. Revista Construa**, v. 22, n. 1, p. 45–62, 2024.

SANTOS, R. V.; OLIVEIRA, A. C. **Economia circular aplicada à construção civil: revisão e perspectivas. Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 210–228, 2021.

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) E SUA UTILIZAÇÃO NO COMBATE ÀS IRREGULARIDADES EM OBRAS PÚBLICAS

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) AND ITS USE IN COMBATING IRREGULARITIES IN PUBLIC WORKS

Ítalo Gustavo Da Silva
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

7

Pascal
Editora

RESUMO

A prática do emprego de metodologias inovadoras tem cumprido um papel crucial na administração pública. Entre as diversas tecnologias, destaca-se a metodologia Building Information Modeling (BIM). Tem-se que a adoção do Building Information Modeling na gestão pública colabora expressivamente para a maximização dos recursos públicos e a entrega de serviços de qualidade à sociedade. Uma vez associado com as durações de atividades ou etapas da construção, o modelo resultante (modelo BIM 4D) pode ser utilizado para projetar e planejar sistemas de produção de empreendimentos de construção através da visualização do plano de execução da obra. Em geral, os estudos sobre o uso combinado da modelagem 4D e a Building Information Modeling concretizados até a atualidade tem apresentado como enfoco disposições acerca do planejamento de processos construtivos específicos, dedicando pouca atenção quanto à implementação de modelos BIM 4D na gestão de sistemas de produção no contexto organizacional de empresas de construção. O objetivo desse artigo é demonstrar que a tecnologia Building Information Modeling tem potencial para mitigar a ocorrência das principais irregularidades em obras públicas, incluindo a probabilidade de dar cumprimento com melhor qualidade e aderentes ao preço e prazo contratados. Diversos países vêm tomando como base o uso do BIM obrigatório devido aos diversos benefícios advindos dessa tecnologia na construção civil. A metodologia utilizada foi revisão de literatura com base nos buscadores: Scientific Electronic Library Online (SciELO) com disponibilidade do texto de forma integral, publicados no período de 2015 a 2024. Conclui-se que apesar da necessidade de melhorias nas obras públicas no Brasil, inclusive no tocante à redução de irregularidades, o uso do Building Information Modeling, no setor público, ainda é incipiente.

Palavras-chave: Modelagem da informação da construção. Obras públicas. Fiscalização.

ABSTRACT

The practice of employing innovative methodologies has played a crucial role in public administration. Among the various technologies, Building Information Modeling (BIM) stands out. The adoption of Building Information Modeling in public management significantly contributes to maximizing public resources and delivering quality services to society. Once associated with the durations of activities or construction phases, the resulting model (4D BIM model) can be used to design and plan production systems for construction projects through the visualization of the work execution plan. In general, studies on the combined use of 4D modeling and Building Information Modeling carried out to date have focused on provisions regarding the planning of specific construction processes, paying little attention to the implementation of 4D BIM models in the management of production systems within the organizational context of construction companies. The objective of this article is to demonstrate that Building Information Modeling technology has the potential to mitigate the occurrence of the main irregularities in public works, including the probability of achieving higher quality and adherence to the contracted price and deadline. Several countries have been making the use of BIM mandatory due to the various benefits of this technology in civil construction. The methodology used was a literature review based on the search engines: Scientific Electronic Library Online (SciELO) with full text availability, published between 2015 and 2024. It is concluded that despite the need for improvements in public works in Brazil, including regarding the reduction of irregularities, the use of Building Information Modeling in the public sector is still incipient.

Keywords: Building information modeling. Public works. Inspection.

1 INTRODUÇÃO

O Building Information Modeling tem potencialidade para abrandar a ocorrência das principais irregularidades em obras públicas, acrescentando a possibilidade de executá-las com qualidade melhorada e favoráveis ao preço e prazo acertados. Diversos países têm tornado o uso desse modelo obrigatório devido aos diversos benefícios advindos dessa tecnologia na construção civil. A melhoria da eficiência na indústria com essa tecnologia é amplamente conhecida, o que tem levado a sua adoção em várias partes do mundo, como, por exemplo, no setor privado brasileiro. Apesar da necessidade de melhorias nas obras públicas no Brasil, inclusive no tocante à redução de irregularidades, o uso do Building Information Modeling, no setor público, ainda é incipiente. Devido a isso, existem poucos exemplos de obras públicas projetadas e executadas nessa tecnologia, bem como estudos da área acadêmica brasileira nesse setor, em especial, existe uma lacuna sobre o emprego desse processo para mitigar a ocorrência de irregularidades em obras públicas. Assim, este artigo tem o objetivo de verificar o uso dessa ferramenta para resolver tais problemas, mediante uma análise das irregularidades mais frequentes em obras públicas e os usos e benefícios relatados pelas pesquisas sobre o Building Information Modeling.

Nesse contexto, o Building Information Modeling ajuda na otimização dos recursos empregados em obras públicas, colaborando para uma gestão mais eficiente dos custos e prazos. Através dos modelos virtuais, é possível simular diferentes cenários e identificar possíveis problemas antes mesmo do início da construção, evitando retrabalhos e desperdícios. Dessa forma, irá proporcionar uma maior previsibilidade e controle sobre os aspectos financeiros e temporais das obras públicas, minimizando as chances de ocorrência de irregularidades (EASTMAN *et al*., 2016).

Justifica-se o estudo por compreender que, a utilização do Building Information Modeling em obras públicas é uma tendência que vem se consolidando ao longo dos últimos anos. O Building Information Modeling permite uma gestão mais eficiente e transparente dos projetos, reduzindo custos, aumentando a eficiência e melhorando a qualidade das construções. Além disso, o BIM pode ajudar a combater as irregularidades em obras públicas, o que é fundamental para a gestão dos recursos públicos e para a melhoria da qualidade de vida da população.

Então, surgiu o questionamento: como o Building Information Modeling pode ser utilizado no combate às irregularidades em obras públicas? A fim de responder a essa pergunta, o objetivo geral do estudo foi investigar o potencial do Building Information Modeling como uma ferramenta para prevenção e detecção de irregularidades em obras públicas. Para tanto, os objetivos específicos foram dispostos em: Analisar a aplicação do Building Information Modeling na gestão de projetos de construção e como isso pode impactar na prevenção de irregularidades em obras públicas; identificar as principais irregularidades em obras públicas e como o Building Information Modeling pode ser utilizado para detectá-las; avaliar a efetividade da utilização do Building Information Modeling como uma ferramenta de combate às irregularidades em obras públicas por meio de estudos de caso e análise comparativa de projetos que utilizam ou não o Building Information Modeling.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O presente trabalho corresponde a uma pesquisa de revisão de literatura a respeito do tema Building Information Modeling (BIM) que trata como um modelo de informações de um edifício que compreende os dados completos e suficientes para suportar todos os processos do seu ciclo de vida e que podem ser interpretados diretamente por aplicações informáticas A coleta de dados é dividida em cinco etapas e consiste: na identificação do tema e seleção da hipótese ou questão de pesquisa; no estabelecimento de critérios para inclusão e exclusão de estudos, amostragens e busca na literatura; na definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados e categorização dos estudos; na avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa; na interpretação dos resultados e na apresentação da revisão e síntese do conhecimento. A pesquisa dos artigos realizou-se nas seguintes bases de dados: Scientific Electronic Library Online (SciELO). Os critérios de inclusão foram artigos publicados na integra com idioma (português); disponibilidade do texto de forma integral, publicados no período de 2015 a 2024. Os critérios de exclusão foram artigos que a sua publicação foi fora do período inferior a 2015, sendo que foram selecionados para a realização do trabalho, os artigos pesquisados que se basearam no consenso dos limites dos objetivos deste estudo, desconsiderando aqueles que, apesar de aparecerem nos resultados de busca, não abordavam assunto sob o ponto de vista da pesquisa. A análise de dados se deu por meio de leitura e interpretação dos dados encontrados nas respectivas publicações, na busca de responder os levantamentos propostos pela temática abordada, usando palavras-chaves: “Modelagem da informação da construção”; “Obras públicas”; “Fiscalização”.

2.2 Resultados e Discussão

Segundo Eastman *et al*. (2016), o Building Information Modeling (BIM) corresponde a um modelo de informações de um edifício que compreende os dados completos e suficientes para suportar todos os processos do seu ciclo de vida e que podem ser interpretados diretamente por aplicações informáticas. Isso inclui informações sobre o edifício em si, bem como seus componentes e compreende as referências sobre propriedades, tais como função, forma, material e processos para o ciclo de vida do edifício. Essa tecnologia pode facilitar e aprimorar muitas práticas do setor da construção civil e, apesar do seu uso ainda estar em fase inicial, ganhos significativos já foram registrados em todas as fases de ciclo da edificação, como demostrados a seguir

Segundo Albuquerque e Ferreira (2023, p.11), “a aplicação do Building Information Modeling (BIM) na gestão de projetos de construção tem se mostrado uma poderosa ferramenta para prevenção de irregularidades em obras públicas”. Dessa forma, o Building Information Modeling se trata de um processo integrado que permite a criação e o gerenciamento de informações digitais de uma edificação ao longo de seu ciclo de vida, abrangendo desde o projeto até a operação e a manutenção. Nesse contexto, o uso do BIM pode trazer benefícios significativos para a qualidade e a transparência das obras públicas, bem como para a prevenção de práticas irregulares (MELO; SANTOS, 2022).

Entre as principais irregularidades em obras públicas, destacam-se o superfaturamento, a utilização de materiais de baixa qualidade, a má execução e a falta de fiscalização adequada. O BIM pode auxiliar na detecção dessas irregularidades, pois proporciona uma visualização precisa e integrada de todas as etapas do projeto, desde a concepção até a

entrega final. Por exemplo, por meio do modelo BIM, é possível simular o desempenho energético da edificação, identificando se as especificações técnicas estão sendo atendidas. Além disso, o BIM facilita a coordenação entre os diversos profissionais envolvidos na obra, permitindo uma comunicação mais eficiente e evitando falhas de projeto que podem levar a irregularidades (AMORIM; QUEIROZ, 2020).

A utilização do Building Information Modeling como uma ferramenta de combate às irregularidades em obras públicas tem se mostrado efetiva por meio de estudos de caso e análise comparativa de projetos que utilizam ou não essa metodologia. Em diversos países, como o Reino Unido e os Estados Unidos, o Building Information Modeling já é adotado como uma exigência para projetos de infraestrutura pública, resultando em benefícios como redução de custos, maior controle de qualidade e menor ocorrência de irregularidades. Esses resultados positivos são decorrentes da capacidade do BIM de fornecer informações precisas e atualizadas, promover a colaboração entre os diversos atores envolvidos e possibilitar uma gestão mais eficiente e transparente das obras (AMORIM; QUEIROZ, 2020).

A aplicação bem-sucedida do Building Information Modeling na prevenção de irregularidades em obras públicas é o caso do projeto de uma rodovia de grande porte. Utilizando essa ferramenta, foi possível simular o fluxo de tráfego e otimizar o layout da via, evitando gargalos e reduzindo os riscos de acidentes. Além disso, esse modelo permitiu uma análise detalhada dos custos e prazos, identificando possíveis sobreposições de atividades e incompatibilidades entre os diferentes projetos e disciplinas. Isso proporcionou uma gestão mais eficiente, evitando atrasos e retrabalhos, além de garantir a conformidade com as normas e regulamentos aplicáveis (CATALDO; ALMEIDA; SANTOS, 2019).

Outro exemplo relevante de acordo com Costa e Silva (2023), é a construção de um complexo hospitalar. Com o uso do Building Information Modeling, foi possível realizar a detecção de conflitos entre sistemas hidráulicos, elétricos e estruturais antes mesmo do início da construção. Essa detecção precoce permitiu ajustes no projeto, evitando retrabalhos e custos adicionais. Além disso, o BIM possibilitou a integração das informações dos diferentes fornecedores e contratados, promovendo uma colaboração mais efetiva e uma comunicação mais clara entre as equipes envolvidas.

A efetividade do uso do Building Information Modeling como ferramenta de combate às irregularidades em obras públicas também pode ser comprovada através de estudos comparativos. Ao analisar projetos similares, onde um utilizou o BIM e o outro não, é possível constatar diferenças significativas no que diz respeito à qualidade, custos e prazos. Projetos que adotaram o Building Information Modeling apresentaram um menor número de problemas de execução, uma vez que as incompatibilidades e erros foram identificados e solucionados previamente. Além disso, esses projetos tendem a cumprir os prazos estabelecidos e a respeitar os orçamentos planejados, contribuindo para a eficiência na gestão pública (GOMES; FERREIRA, 2022).

Martins e Santos (2023) citam que é importante ressaltar que a efetividade do Building Information Modeling na prevenção de irregularidades em obras públicas depende de uma série de fatores. Um deles é a correta implementação da metodologia, que envolve treinamento e capacitação adequada dos profissionais envolvidos. Ademais, torna-se indispensável o estabelecimento de diretrizes e padrões específicos para a utilização do BIM em projetos públicos, garantindo a padronização e a interoperabilidade das informações.

Nesse interim, outro desafio a ser considerado é a atualização e manutenção dos modelos Building Information Modeling ao longo de todo o ciclo de vida da edificação. É fundamental que as informações sejam atualizadas e estejam disponíveis para consulta e

tomada de decisão, mesmo após a conclusão da obra. Essa continuidade do uso do BIM permite uma gestão mais eficiente da infraestrutura, bem como a identificação de eventuais irregularidades ou necessidades de manutenção (MELO; SANTOS, 2022).

De acordo com Sousa e Pereira (2022), discorrem em seu estudo que a aplicação do BIM na gestão de projetos de construção apresenta um grande potencial para prevenir irregularidades em obras públicas. Por isso, através da sua utilização, é possível detectar problemas antes da execução física, promover a colaboração entre os envolvidos, controlar custos e prazos, e garantir a conformidade com as normas e regulamentos.

Através de estudos de caso e análises comparativas, tem-se evidenciado a efetividade do BIM como uma ferramenta de combate às irregularidades, contribuindo para uma gestão mais transparente e eficiente das obras públicas. No entanto, é fundamental que haja investimento em capacitação e padronização, bem como a manutenção dos modelos BIM ao longo de todo o ciclo de vida da edificação. Dessa forma, é possível garantir a eficácia contínua do Building Information Modeling como instrumento de prevenção de irregularidades em obras públicas (VIEIRA; RODRIGUES, 2023).

A aplicação do BIM na gestão de projetos de construção também proporciona uma melhor comunicação e coordenação entre os envolvidos. Os diversos profissionais, como arquitetos, engenheiros, projetistas e empreiteiros, podem trabalhar de forma colaborativa no ambiente digital do Building Information Modeling, compartilhando informações e evitando erros de comunicação. Isso reduz as chances de falhas na execução, além de facilitar o trabalho em equipe e o alinhamento de todos os aspectos do projeto (SOUSA; PEREIRA, 2022).

Entende-se que a aplicação do BIM também promove a melhoria da qualidade das obras públicas. Ao permitir a visualização detalhada e precisa do projeto, o BIM facilita a identificação de possíveis falhas de projeto, incompatibilidades entre disciplinas e até mesmo problemas estruturais. Isso possibilita a realização de ajustes antes da construção, evitando retrabalhos e aumentando a qualidade final da obra (ALBUQUERQUE; FERREIRA, 2023).

No ramo de projetos de engenharia, a inclusão dessas tecnologias não é atual. A década de 1950 sinaliza o início da computação gráfica, quando apareceram os terminais gráficos O Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) foi o responsável por providenciar os estudos sobre tecnologias gráficas (CAD/CAM) (CAMPESTRINI, *et al*., 2015).

Segundo Vieira e Rodrigues (2023), com o uso do Building Information Modeling, todas as informações relevantes sobre o projeto, desde o planejamento até a execução, ficam disponíveis em um modelo digital compartilhado. Isso contribui para a prestação de contas e para a transparência na utilização dos recursos públicos, uma vez que qualquer interessado pode ter acesso às informações e acompanhar o andamento da obra.

Assim sendo, foi mencionado por Santos, Silva e Oliveira (2021) a importância de se ressaltar que, a adoção do Building Information Modeling como ferramenta de prevenção de irregularidades em obras públicas requer um investimento inicial significativo. É necessário adquirir software especializado, capacitar os profissionais envolvidos e promover uma mudança cultural nas práticas de gestão. Esses desafios podem representar obstáculos para a implementação do Building Information Modeling em larga escala, especialmente em países em desenvolvimento.

A respeito dos benefícios do Building Information Modeling na gestão pública:

> É fundamental que os governos e órgãos responsáveis pela gestão pública da construção civil reconheçam os benefícios do Building Information Modeling e incentivem sua adoção. Isso pode ser feito por meio da criação de políticas e regulamentações que estimulem o uso do BIM em projetos públicos, bem como pela disseminação de boas práticas e casos de sucesso. Além disso, é importante investir na capacitação dos profissionais e na criação de uma cultura de inovação e colaboração no setor da construção civil (MELO; SANTOS, 2022, p.22).

Nesse contexto, há consciência de que o Building Information Modeling apresenta um potencial significativo para a prevenção de irregularidades em obras públicas. Sua aplicação na gestão de projetos de construção permite a detecção precoce de problemas, a melhoria da qualidade, a transparência na gestão pública e a melhor comunicação entre os envolvidos. No entanto, é necessário enfrentar desafios como o investimento inicial e a capacitação dos profissionais. Por meio de estudos de caso e análises comparativas, é possível avaliar a efetividade do BIM como ferramenta de combate às irregularidades em obras públicas e impulsionar sua adoção em larga escala, promovendo uma construção civil mais eficiente, transparente e qualitativa (GOMES; FERREIRA, 2022).

Nesse ínterim, torna-se indispensável mais estudos de caso que comprovem a efetividade do BIM no cuidado de irregularidades em obras públicas. Esses estudos podem comparar projetos que utilizaram o Building Information Modeling com projetos similares que não adotaram a metodologia. A análise comparativa permite verificar os resultados alcançados, levando em consideração aspectos como qualidade, prazos, custos e conformidade com normas e regulamentos (COSTA; SILVA, 2023).

Ao se analisar os casos de sucesso, enfatizam que é possível constatar que o uso do BIM contribui para a redução de erros de projeto e execução, evitando irregularidades decorrentes dessas falhas. A detecção antecipada de incompatibilidades e problemas construtivos possibilita a tomada de medidas corretivas antes que se tornem mais complexas e onerosas de serem solucionadas. Além disso, a transparência e a padronização de informações proporcionadas pelo BIM permitem uma fiscalização mais eficiente, dificultando a ocorrência de desvios e práticas irregulares (CATALDO; ALMEIDA; SANTOS, 2019).

Enquanto a tecnologia CAD - Computer Aided Design é baseada em documentos, que usam desenhos em 2D, no máximo, em perspectivas usando pontos, linhas, polígonos elementares, planos, o Building Information Modeling se baseia em modelos inteligentes, que fornecem os desenhos de plantas, cortes, vistas, perspectivas em um mesmo modelo. Vale citar que entende a tecnologia CAD como um ponto de partida para o surgimento do Building Information Modeling, ou seja, a partir das necessidades sentidas com o uso do CAD, foram se desenvolvendo as características do Building Information Modeling (EASTMAN *et al*., 2014).

Nos modelos em Building Information Modeling, qualquer alteração, seja em apenas em um elemento ou vários, reflete na mudança dos seus itens vinculados, alterando também plantas, vistas, cortes e perspectivas automaticamente. Na prática, sem o uso da tecnologia, uma mudança de projeto exigirá alteração em vários desenhos, além de análise de compatibilização com os projetos existentes, o que dependeria exclusivamente da atenção do desenhista ou do respectivo profissional, facilitando o surgimento de inconsistências entre os projetos e, por consequência, dificultando o trabalho da equipe de execução da edificação (CAMPESTRINI *et al*., 2015).

Existe a possibilidade de rastreamento e controle das informações ao longo do ciclo de vida da obra. O Building Information Modeling permite registrar e armazenar dados sobre os materiais utilizados, os processos construtivos e as manutenções realizadas. Isso facilita a identificação de possíveis irregularidades, como o uso de materiais de baixa qualidade, desvios de verba e falhas na manutenção, promovendo a responsabilização dos envolvidos (VIEIRA; RODRIGUES, 2023).

Discorrem que a utilização do Building Information Modeling na gestão de projetos de construção pública pode estabelecer uma cultura de integridade e compliance, uma vez que a metodologia incentiva a transparência, a colaboração e a responsabilidade compartilhada entre os profissionais envolvidos. A disseminação de boas práticas e a conscientização sobre a importância da ética na execução das obras contribuem para a prevenção de irregularidades e para a construção de uma imagem positiva do setor público (VIEIRA; RODRIGUES, 2023).

É fundamental que haja um engajamento efetivo por parte das instituições responsáveis pela fiscalização e pelo controle, bem como uma cultura de integridade e transparência na administração pública. O Building Information Modeling deve ser visto como uma ferramenta complementar, que auxilia na identificação e prevenção de irregularidades, mas que depende da atuação responsável e ética de todos os envolvidos no processo (SANTOS; SILVA; OLIVEIRA, 2021).

Por fim, a aplicação do BIM na gestão de projetos de construção pode impactar positivamente na prevenção de irregularidades em obras públicas. Por meio de estudos de caso e análises comparativas, é possível avaliar sua efetividade na detecção de problemas, na melhoria da qualidade e no aumento da transparência. No entanto, é necessário um esforço conjunto entre os setores público e privado para promover a adoção do Building Information Modeling, investir em capacitação e fomentar uma cultura de integridade e colaboração. Somente assim será possível colher os benefícios do BIM e contribuir para a realização de obras públicas mais eficientes, seguras e alinhadas (SOUSA; PEREIRA, 2022).

3 CONCLUSÃO

Através do estudo se chegou à conclusão de que o Building Information Modeling ainda tem obstáculos, porém, pode-se garantir que o uso dessa tecnologia, desde a fase de projeto e durante a execução da obra, irá aliviar a ocorrência das anormalidades mais frequentes em obras públicas. Dessa maneira, acrescentam a perspectiva de dar cumprimento obras com melhor qualidade e favoráveis às condições contratuais de preço e prazo.

Foi demonstrando que, com o emprego dessa metodologia pode abrandar os episódios de irregularidades em obras públicas. Haja vista o fato de da não existência de trabalhos nessa área associado ao uso incipiente do Building Information Modeling em obras públicas brasileiras.

Conclui-se que a utilização do Building Information Modeling pode trazer benfeitorias expressivas para a indústria da construção, promovendo uma abordagem mais colaborativa, hábil e concisa no desenvolvimento e execução de projetos. Entretanto, torna-se necessário lembrar a importância de uma implementação apropriada e da habilitação dos profissionais envolvidos para elevar ao máximo os benefícios potenciais dessa tecnologia, de forma a suplantar os desafios associados à sua adoção.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Gabriela; FERREIRA, Roberto. **BIM e gestão de projetos públicos: uma análise da efetividade na prevenção de irregularidades**. Revista Brasileira de Gestão Pública**,** v. 24, n. 3, p.11, 2023. Disponível em: https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/5454. Acessado em: 22. Ago. 2025.

AMORIM, Isabela; QUEIROZ, Cesar. **Uso do Building Information Modeling (BIM) na prevenção de irregularidades em obras públicas: estudo de caso de um órgão governamental**. Revista de Construção Civil e Gestão, v. 10, n. 2, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362901366_PANORAMA_SOBRE_ENSINO_DO_BUILDING_INFORMATION_MODELING_-_BIM_E_CONSTRUCAO_ENXUTA_NAS_UNIVERSIDADES_DO_RIO_DE_JANEIRO_E_DE_NITEROI. Acessado em: 23. Ago. 2025.

CAMPESTRINI, T. F. *et al*. **Entendendo BIM**. Curitiba, PR, 2015. Disponível em: livro_entendendo_bim.pdf (ufba.br). Acessado em: 22. Ago. 2025.

CATALDO, Thiago; ALMEIDA, Manoel; SANTOS, Márcio. **Building Information Modeling (BIM) e a gestão de projetos de obras públicas. Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 7, n. 1, 2019. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/2439?articlesBySimilarityPage=13. Acessado em: 23. Ago. 2025.

COSTA, Ricardo; SILVA, Ana. **Utilização do BIM como ferramenta de combate a irregularidades em obras públicas: estudo de caso de um projeto de infraestrutura urbana**. Revista de Engenharia e Arquitetura, v. 18, n. 1, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284283576_USO_DO_BIM_NO_COMBATE_AS_IRREGULARIDADES_EM_OBRAS_PUBLICAS. Acessado em: 23. Ago. 2025.

EASTMAN, C.; *et al*. **Manual de BIM - Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2016.

GOMES, Renata; FERREIRA, João. **Análise comparativa da efetividade do BIM na prevenção de irregularidades em obras públicas: estudo de caso de um município brasileiro**. Revista de Gestão Pública, v. 20, n. 1, 2022. Disponível em: https://sinaenco.com.br/ANAIS-7-CONGRESSO-AERABIM.pdf. Acessado em: 25. Ago. 2025.

MATOS, Cleiton Rocha de; MIRANDA, A. C. O. **Uso Do Bim No Combate Às Irregularidades Em Obras Públicas**. Encontro Técnico Nacional de Auditoria de Obras Públicas – ENAOP –Campo Grande/MS, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/A-Miranda-2/publication/284283576_USO_DO_BIM_NO_COMBATE_AS_IRREGULARIDADES_EM_OBRAS_PUBLICAS/links/5650a2d308aeafc2aab72e00/USO-DO-BIM-NO-COMBATE-AS-IRREGULARIDADES-EM-OBRAS-PUBLICAS.pdf. Acessado em: 22. Ago. 2025.

MARTINS, Carlos; SANTOS, Carolina. **Implementação do BIM em obras públicas e seu impacto na prevenção de irregularidades: análise de casos no setor de saneamento básico**. Revista de Engenharia Sanitária, v. 30, n. 4, 2023. Disponível em: https://sinaenco.com.br/ANAIS-7-CONGRESSO-AERABIM.pdf. Acessado em: 22. Ago. 2025.

MELO, Marcelo; SANTOS, André. **BIM como ferramenta para gestão de projetos e prevenção de irregularidades em obras públicas: uma revisão bibliográfica**. Revista de Arquitetura e Urbanismo**,** v. 25, n. 2, 2022. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/35070/1/potencialbimotimizacaocompatibilizacao.pdf. Acessado em: 25. Ago. 2025.

SANTOS, Fabiano; SILVA, Patrícia; OLIVEIRA, Carlos. **Aplicação do Building Information Modeling (BIM) para detecção de irregularidades em obras públicas**. Revista Brasileira de Engenharia Civil, v. 15, n. 3, 2021. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/35070/1/potencialbimotimizacaocompatibilizacao.pdf. Acessado em: 25. Ago. 2025.

SOUSA, Fernanda; PEREIRA, Pedro. **Aplicação do BIM na prevenção de irregularidades em obras públicas de infraestrutura: estudo de caso de uma rodovia**. Revista de Infraestrutura e Construção Civil, v. 8, n. 2, 2022. Disponível em: https://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/491. Acessado em: 22. Ago. 2025.

VIEIRA, Lucas; RODRIGUES, Renata. **BIM e a transparência na gestão de projetos de construção pública**. Revista Brasileira de Construção Civil, v. 12, n. 2, 2023. . Disponível em: https://irbcontas.org.br/wp-content/uploads/2022/01/licitacoes_contratos_administrativos_teoria_jurisprudencia_4ed.pdf. Acessado em: 22. Ago. 2025.

AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL CLASSE D

EVALUATION OF CLASS D CONSTRUCTION WASTE MANAGEMENT

Amanda Cristina Lima Dos Santos
Mirian Nunes de Carvalho Nunes
José Atila Matos Aroucha Junior

8

Pascal
Editora

RESUMO

A presente pesquisa tem como foco a avaliação do gerenciamento de resíduos da construção civil classificados como Classe D, os quais demandam atenção especial devido à sua periculosidade e impacto ambiental. A problemática central consiste em compreender a importância da gestão adequada desses resíduos, considerando os riscos associados ao descarte indevido. O estudo tem como objetivo geral analisar a gestão e operação dos resíduos Classe D provenientes da construção civil, abordando os métodos utilizados para seu controle e descarte. Para isso, foram definidos objetivos específicos como destacar as técnicas empregadas no gerenciamento, evidenciar as consequências da dissipação inadequada e apresentar as formas corretas de descarte conforme as normas vigentes. A metodologia adotada foi uma revisão bibliográfica, de natureza qualitativa e descritiva, permitindo a análise crítica de fontes acadêmicas e normativas sobre o tema. Os resultados apontam para a necessidade de maior conscientização e fiscalização no setor da construção civil, visando à minimização dos impactos ambientais e à promoção de práticas sustentáveis. Conclui-se que a gestão eficiente dos resíduos Classe D é essencial para garantir a segurança ambiental e a conformidade legal das atividades construtivas.

Palavras-chave: Construção civil. Resíduos sólidos. Classe D. Gestão ambiental. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The present research focuses on the evaluation of the management of construction waste classified as Class D, which requires special attention due to its hazardous nature and environmental impact. The central issue lies in understanding the importance of proper management of these wastes, considering the risks associated with their improper disposal. The general objective of the study is to analyze the management and operation of Class D waste generated by civil construction, addressing the methods used for their control and disposal. To achieve this, specific objectives were defined, such as highlighting the techniques employed in waste management, emphasizing the consequences of inadequate disposal, and presenting proper disposal methods in accordance with current regulations. The adopted methodology was a bibliographic review, with a qualitative and descriptive approach, allowing for a critical analysis of academic and regulatory sources on the subject. The results indicate the need for greater awareness and supervision within the construction sector, aiming to minimize environmental impacts and promote sustainable practices. It is concluded that the efficient management of Class D waste is essential to ensure environmental safety and legal compliance in construction activities.

Keywords: Civil construction. Solid waste. Class D. Environmental management. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Durante anos com a crescente populacional e das indústrias, cresceu também o número resíduos que prejudicam até os dias de hoje o meio ambiente, assim houve uma preocupação das empresas em minimizar a geração de resíduos, e consequentemente as perdas. A escassez e poluição das águas, o agravamento da poluição atmosférica, as mudanças climáticas, a geração e disposição inadequada de resíduos tóxicos, a poluição do solo e a perda da biodiversidade são exemplos desses impactos ambientais, que consideram o meio ambiente como um local de aquisição de matéria-prima e destinação de resíduos.

Nesse sentido Resíduo Sólido Urbano deriva do latim *residuu,* possui o significado de sobra ou resto de qualquer substância, e o acréscimo sólido serve para diferenciar este tipo dos resíduos líquidos como o esgoto sanitário e o resíduo gasoso como emissões de gases provenientes de chaminés. Eles podem ser classificados como classe A, B, C ou D.

Eles são causadores de vários tipos de problemas, principalmente os classificados como classe D, o mesmo é taxado como perigoso por serem capazes de prejudicar a saúde humana ou ao meio ambiente. Podem ser patogênicos (capazes de transmitir doenças), reativos (capazes de causar explosões), tóxicos ou inflamáveis. Além do descarte irregular, a quantidade de volume causa problemas em sua disposição regular em aterros sanitários, pois tem sua vida útil reduzida. No entanto é preciso estar atento com o descarte dos materiais utilizados de acordo com cada classe determinada pela resolução no 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

Nesse sentido a presente pesquisa é de suma relevância por que traz uma conscientização e um conhecimento maior sobre o assunto em questão. É relevante ressaltar que o setor da Construção Civil é responsável por boa parte da economia do país. É notória que essa pesquisa contribui tanto em âmbito acadêmico quanto profissional para que haja uma mudança da paisagem, bem como a utilização desmoderada de recursos naturais e a alta produção de resíduos, a construção civil torna-se uma prática altamente degradante ao ambiente.

A problemática que norteou a pesquisa foi: qual a importância da Avaliação Do Gerenciamento De Resíduos D provenientes da construção Civil.

Sendo assim o objetivo geral da pesquisa foi analisar a gestão e operação dos resíduos classe D provenientes da construção Civil. E como objetivos específicos foram: frisar técnicas usadas para o gerenciamento de resíduos da construção civil; evidenciar as possíveis consequências da dissipação indevida e destacar a maneira precisa do descarte dos resíduos do tipo d de acordo com a normalização.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa a ser realizada será uma revisão bibliográfica, de natureza qualitativa e descritiva, com o objetivo de reunir e analisar produções científicas recentes sobre o tema em questão. Deste modo a pesquisa foi conduzida por meio de leitura crítica e análise interpretativa de artigos científicos, dissertações, teses e livros técnicos, acessados em bases de dados confiáveis como GOOGLE ACADÊMICO e SciELO (Scientific Electronic Library Online). Os descritores utilizados foram: Construção civil; resíduos sólidos; classe D e avaliação.

Foram considerados, para compor esta revisão, os materiais publicados entre os anos de 2020 a 2025, a fim de garantir a atualidade e a relevância científica dos dados utilizados. Como critérios de inclusão foram inclusos estudos nos idiomas português e inglês e que estivessem ligados ao tema e dentro da faixa temporal estabelecida e com isso foi utilizado como referência a resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que é responsável por classificar e padronizar os tipos de resíduos. Como critérios de exclusão, ressalta-se que foram excluídos: resumos simples, artigos sem acesso completo, trabalhos repetidos, publicações com dados inconclusivos, além de textos opinativos, blogs, notícias, materiais sem validação científica e que estivessem fora da faixa temporal exigida.

2.2 Resultados e Discussão

Os resíduos da Construção Civil são todos os materiais consumidos em uma obra e considerados lixos por não terem mais utilização na aplicação a qual foi designada. Os próprios métodos de execução de um serviço na construção civil, tanto ele por algum tipo de demolição, são geradores de resíduos. Em uma cidade, os responsáveis pela maior parte do lixo são os resíduos gerados nas construções civis (Cardoso e Freitas, 2022).

Eles são classificados em resíduos do tipo classe A (materiais cerâmicos, tijolos, azulejos), ou seja, é materiais que podem ser reutilizados, os resíduos classe B (papel, vido, madeira), eles podem ser reutilizados para outros fins, já a classe C são considerados os que não podem ser reciclados, no entanto não oferecem perigo, posteriormente existe os resíduos classe D (tintas, solventes) que oferecem risco a natureza e humanos caso seja indevidamente descartado (Jacinto e Carvalho, 2022).

O gerenciamento de resíduos da construção civil (RCC) envolve um conjunto de técnicas que visam minimizar os impactos ambientais causados pela atividade construtiva e promover o uso racional dos recursos. Entre as principais estratégias utilizadas está a segregação na origem, que consiste na separação dos resíduos diretamente no canteiro de obras, conforme sua classificação (classes A, B, C e D), conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 307/2002. Essa prática facilita o reaproveitamento, a reciclagem e o descarte ambientalmente adequados (Mendonça, 2025).

Outra técnica amplamente adotada é o reaproveitamento e a reciclagem de materiais como concreto, argamassa, tijolos e blocos, que podem ser utilizados em camadas de sub-base ou em enchimentos. Materiais como madeira, gesso, metais e plásticos também são recicláveis, desde que atendam aos critérios técnicos e econômicos de viabilidade. A logística reversa é outra estratégia relevante, por meio da qual é possível firmar parcerias com fornecedores e recicladoras para a devolução de embalagens, sobras de produtos e outros resíduos reutilizáveis (Kabirifar, 2020).

A implementação do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) é fundamental para garantir o controle eficiente dos resíduos gerados durante a obra. Esse plano detalha todas as etapas do manejo, desde a geração até a destinação final dos resíduos, sendo exigido por órgãos ambientais e prefeituras como condição para o licenciamento da construção. Além disso, a capacitação da equipe envolvida na obra é essencial, uma vez que o manuseio adequado dos materiais e o conhecimento sobre práticas sustentáveis contribuem diretamente para a redução de perdas e desperdícios (Maciel e Melhado, 2020).

O uso de tecnologias construtivas mais limpas, como a construção a seco e a pré-fa-

bricação, bem como o controle e monitoramento contínuo dos resíduos, são medidas que fortalecem uma gestão eficaz e responsável dos resíduos da construção civil. Atualmente, os resíduos tornaram um empecilho para as empreiteiras. Pois é de responsabilidade do gerador dar a destinação ambientalmente adequada aos RCC. Se não houver um plano de gerenciamento claro e objetivo no que se refere à destinação final, projetos nunca vão sair do papel (Felisardo e Santos, 2021).

Para Kabirifar (2020) o descarte inadequado dos resíduos na demolição e construção civil implica na degradação da paisagem local; prejudicando o trafego dos pedestres e veículos, provoca o assoreamento de rios, córregos e lagos; a obstrução de drenagens urbanas, ocasionando enchentes, além de servirem de pretexto para que outras pessoas façam o descarte irregular de lixo não inerte no mesmo local, propiciando o aparecimento e a multiplicação de condutores de doenças, colocando em risco a saúde da população próxima ao local

Paulino *et al,.* (2023) ressaltam que quando estes são descartados de forma irregular, em vias públicas terrenos baldios, margens de rios, entre outros, ocorre a parti de problemas de saúde pública, até inundações e deslizamentos. Porém, além do descarte irregular, o considerável volume também gera problemas em sua disposição regular em aterros sanitários, que tem sua vida útil reduzida.

Felisardo e Santos (2021) ressaltam é preciso que os resíduos de construção civil recebam atenção do poder público, levando em consideração que a disposição irregular dos RCC gera custos econômicos para as prefeituras. Desse modo, as regularizações de descarte tornam-se obviamente necessária e precisa ser cumprida, pois são inúmeros os problemas que podem ocorrer, principalmente economicamente.

De acordo com Souza *et al.* (2022) os resíduos da construção civil classificados como Classe D, segundo a Resolução CONAMA n° 307/2002, são aqueles considerados perigosos, como resíduos contaminados, materiais com amianto, tintas, solventes, óleos e outros produtos químicos que demandam tratamento e destinação especial. Devido ao seu potencial poluidor e aos riscos à saúde humana e ao meio ambiente, esses resíduos exigem um gerenciamento rigoroso, conforme orientações técnicas e legais. A avaliação da gestão desses materiais nas obras civis é essencial para garantir a conformidade com as normas ambientais, a segurança do canteiro de obras e a prevenção de passivos ambientais.

Kabirifar (2020) Infelizmente, ainda é comum a falta de controle adequado desses resíduos em pequenas e médias obras, seja por desconhecimento, seja por negligência, o que pode gerar sérias consequências legais e ambientais. Diante disso, é necessário compreender como está sendo feito o gerenciamento da Classe D nas diferentes etapas da obra, desde a geração até a destinação final. A tabela a seguir apresenta os principais critérios de avaliação aplicáveis à gestão de RCC Classe D, com base em boas práticas e exigências normativas. Esses critérios são úteis tanto para diagnósticos técnicos quanto para auditorias ambientais em obras públicas e privadas (TABELA 1).

Tabela 1. Critérios de Avaliação do Gerenciamento de Resíduos Classe D

CRITÉRIO AVALIADO	DESCRIÇÃO	AVALIAÇÃO
Identificação dos resíduos Classe D	Verifica se os resíduos perigosos foram corretamente identificados e rotulados	Adequado / Inadequado
Armazenamento temporário	Avalia se os resíduos são armazenados separadamente, em locais seguros e sinalizados	Adequado / Inadequado

Equipamentos de proteção individual (EPIs)	Verifica se os trabalhadores que lidam com Classe D utilizam EPIs adequados	Adequado / Inadequado
Transporte para destino licenciado	Checa se os resíduos são transportados por empresas licenciadas até o destino final	Adequado / Inadequado
Documentação e rastreabilidade (MTR)	Avalia se há Manifesto de Transporte de Resíduos e registros atualizados	Adequado / Inadequado
Treinamento da equipe	Verifica se os profissionais da obra foram capacitados para o manejo correto	Adequado / Inadequado
Destinação final ambientalmente adequada	Confirma se os resíduos foram destinados conforme legislação vigente (aterros especiais ou incineração)	Adequado / Inadequado

Fonte: Elaborado pelo autor com base na Resolução CONAMA nº 307/2002 e no Manual de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2020).

A avaliação dos critérios apresentados na tabela é fundamental para que o gerenciamento dos resíduos Classe D atenda às exigências legais e minimize os impactos ambientais negativos. O correto manejo desse tipo de resíduo não só contribui para a preservação ambiental, mas também protege os trabalhadores e a comunidade do entorno da obra, evitando contaminações, acidentes e sanções legais. É responsabilidade do gerenciador da obra, juntamente com a equipe técnica e as empresas terceirizadas, garantir que todas as etapas do processo — identificação, armazenamento, transporte e destinação — sejam executadas conforme a legislação (Mendonça, 2025).

Além disso, Paulino *et al.* (2023) ressaltam que o uso de registros como o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) e a capacitação contínua das equipes são medidas que fortalecem a rastreabilidade e a segurança na gestão dos resíduos perigosos. Obras que adotam práticas sustentáveis e legalmente corretas tendem a ter maior credibilidade no mercado e menos riscos de paralisações por infrações ambientais. Assim, o gerenciamento adequado dos resíduos Classe D deve ser tratado como parte integrante do planejamento ambiental e estratégico de qualquer empreendimento da construção civil.

Paulino *et al.* (2023) é de grande importância um estudo das características físico-químicas e as propriedades dos resíduos, por meio de ensaios e métodos apropriados. Tais informações darão meios para a seleção das prováveis aplicações dos resíduos. O entendimento da maneira que leva a geração do resíduo oferece informações fundamentais à elaboração de uma estratégia de reciclagem com viabilidade no mercado.

De acordo com Maciel e Melhado (2020) os destinos dos RCC devem ser feitos de acordo com o tipo de resíduo. Os RCC classe A deverão ser conduzidos para áreas de triagem e redestinação, áreas de reciclagem ou aterros da construção civil. Já os resíduos classe B podem ser comercializados com empresas, cooperativas ou associações de coleta seletiva que comercializam ou reciclam esses resíduos ou até mesmo tornarem-se combustível para fornos e caldeiras. Para os resíduos das categorias C e D, deverá acontecer o envolvimento dos fornecedores para que se configure a corresponsabilidade na destinação dos mesmos.

Para Mendonça (2025) são inúmeros os benefícios que acompanham o tratamento correto dos resíduos de construção, de acordo com estabelecido na polícia nacional de resíduos sólidos - PNRS, como ganhos ambientais com a redução do uso dos recursos naturais, a valorização dos resíduos e os inserindo novamente na cadeia produtiva, pela minimização da poluição, pelo aumento da vida útil de operação dos locais de disposição final e a geração de emprego e renda.

De acordo com Jacinto e Carvalho (2022) os resíduos perigosos precisam ser direcionados para aterros industriais, que possui artifícios tecnológicos para minimizar os danos ambientais do passivo. Vernizes e tintas podem ser enviados para empresas que reciclam esses materiais, no entanto, quando a quantidade gerada não for significativa, essa destinação pode não ser viável na prática.

A Resolução n° 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, alterada pelas Resoluções n° 348, n° 431 e n° 448, estabelece a gestão dos RCC no país, com critérios, diretrizes, procedimentos e dá responsabilidades e deveres a serem seguidos pelos municípios quanto ao gerenciamento destes resíduos. Com isso o Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil caracteriza-se como um instrumento para a redução dos prejuízos ambientais provenientes do setor em questão. Ou seja, mesma visa priorizar a não geração de resíduos sólidos e proibir a disposição final em locais inadequados como aterros sanitários, bota-foras, lotes vagos, encostas e áreas protegidas por lei (CONAMA, 2002).

Para a efetiva prática da gestão, a resolução determinou a execução de um Plano Integrado de Gerenciamento de RCD, que compreende o Programa Municipal de Gerenciamento a ser elaborado, implementado e coordenado pelos municípios e Distrito Federal, tendo como prazos máximos: 12 meses para a elaboração (término em janeiro de 2004) e 18 meses para implementação (término em julho de 2004). Compreende também o projeto de Gerenciamento de RCD, a ser elaborado pelos médios e grandes geradores no prazo máximo de 24 meses (término em janeiro de 2005), devendo contemplar a caracterização dos resíduos, triagem, acondicionamento, transporte e destinação (Mendonça, 2025).

Para Souza *et al.* (2022) a resolução também determina um prazo de 18 meses (término em julho de 2004) para que os municípios e Distrito Federal parem de dispor os RCD em aterros de resíduos domiciliares e em áreas de bota-fora. Em alguns estados como São Paulo e Minas Gerais, entre outros, houve um avanço na gestão dos RCD para atendimento da legislação, enquanto que em outros, como é o caso do Rio de Janeiro, a resolução ainda não produziu os efeitos esperados.

3 CONCLUSÃO

A pesquisa realizada permitiu alcançar o objetivo geral de analisar a gestão e operação dos resíduos Classe D provenientes da construção civil. Através da revisão bibliográfica, foi possível compreender as práticas adotadas no gerenciamento desses resíduos, bem como identificar os desafios enfrentados pelo setor na busca por soluções ambientalmente adequadas. A investigação evidenciou que, embora existam normas e diretrizes específicas para o descarte correto, ainda há lacunas na aplicação efetiva dessas regulamentações, o que compromete a eficiência do processo e acentua os riscos ambientais.

A resposta à problemática proposta — sobre a importância da avaliação do gerenciamento de resíduos Classe D — revelou que essa análise é essencial para promover melhorias na sustentabilidade das atividades construtivas. A gestão inadequada desses resíduos pode gerar impactos significativos à saúde pública e ao meio ambiente, reforçando a necessidade de ações mais rigorosas e conscientes. No entanto, a pesquisa enfrentou limitações, como a escassez de dados atualizados e a dificuldade de acesso a estudos de caso específicos, o que restringiu a profundidade da análise em alguns aspectos.

Diante disso, recomenda-se que futuras pesquisas explorem abordagens práticas de gestão em diferentes regiões do país, com foco na eficácia das políticas públicas e na atuação dos agentes envolvidos. Além disso, seria relevante investigar tecnologias emergentes

para o tratamento de resíduos perigosos e estratégias de educação ambiental voltadas aos profissionais da construção civil. A continuidade desses estudos poderá contribuir significativamente para a construção de um cenário mais responsável e sustentável no setor.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Raquel Salles de. **Estudo de caso do gerenciamento de resíduos da construção civil nas esferas acadêmica e industrial**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2022.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente.** Manual para gerenciamento de resíduos da construção civil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agenda-ambiental-urbana/arquivos/manual-residuos-construcao.pdf. Acesso em: 23 set. 2025.

CONAMA. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 136, p. 95–96, 17 jul. 2002. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2002/res_307_2002_conama_residuos_construcao.pdf. Acesso em: 23 set. 2025.

CARDOSO DE LUNA, F.; FREITAS, F. B. **Sustentabilidade em Canteiros de Obras**. Epitaya E-books, *[S. l.]*, v. 1, n. 6, p. 311-337, 2021. DOI: 10.47879/ed.ep.2021250p311. Disponível em: https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/178. Acesso em: 23 set. 2025.

JACINTO, M. E. L.; CARVALHO, E. M. R. **Educação Ambiental na Construção Civil: Práticas de Gestão de Resíduos no Canteiro de Obras**. Em: SALES, R. E. D. S. et al. A Construção Civil: em uma perspectiva econômica, ambiental e social - Volume 2. 1. ed. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2022. p. 103–118. E-book. Disponível em: http://www.editoracientifica.com.br/articles/code/220508951. Acesso em: 23 ago. 2025.

KABIRIFAR, K. et al. **A conceptual foundations for effective construction and demolition waste management.** Cleaner Engineering and Technology, v. 1, p. 100019, oct. 2020.

FELISARDO, A. J. R.; SANTOS, N. G. **Aumento da geração de resíduos sólidos com a pandemia do COVID-19: desafios e perspectivas para a sustentabilidade**. Revista Meio Ambiente Brasil., v.3, n.3, p.30-36, 2021. Disponível em: https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/138/99. Acesso em: 23 ago. 2025.

MACIEL, L. L.; MELHADO, B. S. **Organização do canteiro de obras para produção do revestimento de argamassa**. Revista Researchgate (2020). Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Silvio- Acesso em: 23 ago. 2025.

MENDONÇA, João Clever da Silva. **Gestão de resíduos na construção civil: prevenção de perdas em obras**. Engenharias, v. 29, n. 144, 09 mar. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.69849/revistaft/pa10202503091917. Acesso em: 23 set. 2025.

PAULINO, R. S. et al.. **Atualização do cenário da reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil:** 2008-2020. Ambiente Construído, v. 23, n. 3, p. 83–97, jul. 2023.

SOUZA, F. da S. et al. **Mapping and recycling proposal for the construction and demolition waste generated in the Brazilian Amazon**. Conservation and Recycling, v. 176, p. 105896, 2022.

ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: VIGAS INCLINADAS PARA COMBATER DESLOCAMENTOS EM GRANDES VÃOS

REINFORCED CONCRETE STRUCTURE: INCLINED BEAMS TO COMBAT DISPLACEMENTS IN LARGE SPANS.

Glausthon Moura dos Santos
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

9

Pascal
Editora

RESUMO

A pesquisa aborda o uso de vigas inclinadas como uma solução estrutural eficiente para combater deslocamentos em grandes vãos, uma questão desafiadora na engenharia civil. Ao contrário das vigas horizontais convencionais, as vigas inclinadas distribuem as forças de forma mais equilibrada, o que melhora a estabilidade estrutural. Sua geometria facilita a dissipação das cargas, reduzindo os efeitos das flexões e minimizando os riscos de falhas estruturais. Além de sua eficiência técnica, as vigas inclinadas também oferecem um apelo estético, conferindo um toque moderno aos projetos arquitetônicos. O estudo busca analisar como esse tipo de viga pode ser empregado de maneira eficaz em diferentes condições de carga, especialmente em grandes vãos, e compara seu desempenho com outros tipos de vigas, como as horizontais. A pesquisa conclui que as vigas inclinadas podem melhorar significativamente a resistência estrutural e a distribuição de cargas, sendo uma alternativa inovadora e sustentável para estruturas que exigem vãos largos e sem apoio intermediário. O uso de tecnologia e análise computacional também é essencial para o sucesso na implementação dessa técnica, garantindo maior precisão nos projetos.

Palavras-chave: Estabilidade. Estruturais. Estético.

ABSTRACT

This research addresses the use of inclined beams as an efficient structural solution to combat displacements in large spans, a challenging issue in civil engineering. Unlike conventional horizontal beams, inclined beams distribute forces more evenly, improving structural stability. Their geometry facilitates load dissipation, reducing the effects of bending and minimizing the risk of structural failures. In addition to their technical efficiency, inclined beams also offer aesthetic appeal, giving a modern touch to architectural designs. The study seeks to analyze how this type of beam can be effectively employed under different load conditions, especially in large spans, and compares its performance with other types of beams, such as horizontal beams. The research concludes that inclined beams can significantly improve structural resistance and load distribution, being an innovative and sustainable alternative for structures that require wide spans without intermediate support. The use of technology and computational analysis is also essential for the successful implementation of this technique, ensuring greater precision in the designs.

Keywords: Stability. Structural. Aesthetic.

1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil tem se destacado pelo desenvolvimento de soluções inovadoras e eficientes que visam otimizar a resistência e a durabilidade das estruturas. Dentre as diversas alternativas adotadas, as vigas inclinadas se configuram como uma solução particularmente eficaz para combater deslocamentos em grandes vãos. Essas estruturas, com sua geometria diferenciada, segundo Custodio, (2018, p. 151) vigas inclinadas são aplicadas em situações em que a geometria estrutural exige apoios diferenciados, como no caso de vigas de escada apoiadas entre diferentes níveis da edificação, contribuindo para a estabilidade do conjunto apresentando uma distribuição mais eficiente das forças, o que as torna vantajosas em projetos que exigem a superação de grandes distâncias sem o uso de colunas intermediárias.

Conforme Scandaroli (2015, p. 1), “estruturas de concreto com grandes vãos exigem soluções para garantir a estabilidade e o controle de deformações em vigas e lajes”. Nesse sentido, a necessidade de vencer grandes vãos sem comprometer a estabilidade estrutural tem impulsionado o estudo e a aplicação de vigas inclinadas em obras de grande porte, como pontes, estádios e edifícios comerciais.

A adoção de vigas inclinadas representa uma solução para problemas típicos de estruturas com grandes vãos, como a flexão excessiva e a vulnerabilidade a deslocamentos. Sua capacidade de redistribuir as tensões de forma mais equilibrada minimiza os efeitos das forças de flexão, oferecendo maior rigidez à estrutura. Além disso, a configuração dessas vigas permite que as cargas sejam direcionadas para pontos de suporte mais resistentes, aumentando a estabilidade da construção.

Como explica Bastos (2024, p. 151), “em uma viga, antes do surgimento das fissuras inclinadas [...] somente após ocorrer o início da fissuração inclinada é que os estribos passam a transferir efetivamente força cortante”. Essa observação técnica demonstra como o comportamento das forças internas em vigas inclinadas está intimamente relacionado ao controle de esforços cortantes e à redistribuição de cargas — aspectos fundamentais para combater deslocamentos excessivos em grandes vãos.

Essa técnica inovadora tem ganhado espaço devido à sua capacidade de oferecer tanto vantagens estruturais quanto estéticas, conferindo uma aparência moderna às construções. O problema central da pesquisa girou em torno da questão: de como as vigas inclinadas podem ser utilizadas de maneira otimizada para melhorar a resistência a deslocamentos em estruturas com grandes vãos?

Este estudo buscou compreender as características dessas vigas e sua eficácia na redução de deformações, comparando-as com outros tipos de vigas tradicionais, como as horizontais. A investigação de sua performance em condições de carga e seu comportamento estrutural sob diferentes configurações são cruciais para validar sua aplicação em projetos mais exigentes.

A relevância deste estudo se deu pela necessidade crescente de soluções inovadoras e eficientes na engenharia estrutural, especialmente em projetos que demandam grandes vãos e alta resistência a deslocamentos. O uso de vigas inclinadas não só contribui para a melhoria da estabilidade estrutural, como também permite otimizar o uso de materiais, resultando em construções mais econômicas e sustentáveis. Além disso, a pesquisa pretendeu analisar o impacto da geometria das vigas inclinadas nas propriedades mecânicas das estruturas, visando garantir a durabilidade e segurança das edificações.

Diante disso, o objetivo principal deste estudo foi investigar a utilização das vigas inclinadas para otimizar a resistência ao deslocamento em estruturas com grandes vãos. As-

sim como, buscou analisar a eficiência das vigas inclinadas na redução de deslocamentos, estudou o impacto de diferentes orientações das vigas na resistência estrutural e comparou o desempenho das vigas inclinadas com outras soluções estruturais em situações de carga.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A pesquisa intitulada "Estruturas de Concreto Armado: Vigas Inclinadas para Combater Deslocamentos em Grandes Vãos" teve como metodologia a Revisão de Literatura. Nesse sentido, foi realizada uma busca detalhada em bases de dados acadêmicas que reúnem publicações relevantes nos últimos cinco anos. As bases consultadas incluíram, mas não se limitaram a, Google Scholar, Scopus, Web of Science, além de outras plataformas especializadas em engenharia e arquitetura.

Durante o processo de investigação, foram utilizados critérios de inclusão rigorosos para selecionar obras que abordaram diretamente as palavras-chave "concreto-armado", "vigas inclinadas", "deslocamentos" e "vãos". Assim, foram selecionados livros, dissertações e artigos científicos que discutiram a aplicação de vigas inclinadas em estruturas de concreto armado, com foco nos benefícios de sua utilização no controle de deslocamentos em grandes vãos.

Os resultados das buscas orientaram a escolha das obras mais relevantes, que forneceram uma fundamentação teórica sólida e atualizada sobre o tema. Ao revisar a literatura, foram identificadas diferentes abordagens e soluções propostas por pesquisadores nas publicações mais recentes, o que possibilitou uma análise crítica sobre o desempenho das vigas inclinadas em situações específicas da engenharia estrutural.

A revisão também permitiu a comparação entre metodologias e resultados apresentados nos trabalhos selecionados, enriquecendo a compreensão acerca dos desafios enfrentados em grandes vãos e da eficácia das soluções existentes no combate aos deslocamentos. Por fim, essa abordagem metodológica contribuiu para a construção de um referencial teórico robusto, que serviu como base para futuras investigações e aplicações práticas na área de estruturas de concreto armado.

A análise das publicações revelou uma convergência significativa quanto à confiabilidade dos resultados obtidos em diferentes contextos de pesquisa. Autores de distintas instituições chegaram a conclusões semelhantes sobre o comportamento das vigas inclinadas, especialmente no que se refere à redistribuição de esforços e à redução de deformações. Essa consistência entre os estudos reforça a validade científica da técnica e destaca a importância de seu aprofundamento em pesquisas experimentais e computacionais.

A literatura evidenciou que o uso de vigas inclinadas não apenas aprimora o desempenho estrutural, mas também amplia as possibilidades de inovação em projetos arquitetônicos e construtivos. Assim, o estudo assume relevância não apenas acadêmica, mas também profissional, ao oferecer subsídios teóricos que podem orientar decisões de projeto e execução em obras que demandem eficiência, segurança e sustentabilidade.

2.2 Resultados e Discussão

A engenharia estrutural tem avançado de forma expressiva nas últimas décadas,

sobretudo pela busca de soluções inovadoras que otimizem a rigidez e a resistência das construções. Entre essas soluções, as vigas inclinadas despontam como alternativa capaz de melhorar a capacidade de carga e reduzir deslocamentos em grandes vãos.

Segundo Scandaroli (2015, p. 2), “estruturas de concreto com grandes vãos exigem soluções para garantir a estabilidade e o controle de deformações em vigas e lajes”. Nesse contexto, as vigas inclinadas surgem como uma das soluções mais promissoras, especialmente em obras de grande porte, como estádios e pontes, em que a eliminação de colunas intermediárias é essencial para o aproveitamento do espaço e para o desempenho estrutural.

Projetos que exigem vencer longas distâncias trazem desafios de estabilidade e rigidez. De acordo com o estudo de dimensionamento ótimo de vigas contínuas, a análise estrutural envolve a obtenção detalhada dos deslocamentos e esforços internos da estrutura, etapa fundamental para garantir estabilidade em vãos longos (Pierott, 2018, p. 22). A redução de deslocamentos é um fator essencial a ser considerado no dimensionamento estrutural, principalmente em edificações que lidam com cargas dinâmicas. As vigas inclinadas têm conquistado espaço por sua eficiência, pois essa abordagem melhora a estabilidade da estrutura e possibilita uma distribuição mais equilibrada das tensões, reduzindo falhas potenciais.

No campo da arquitetura moderna, em que prevalecem espaços livres e funcionais, as vigas inclinadas apresentam papel estratégico. Ao redistribuir os esforços internos, reduzem deslocamentos indesejados que comprometem a segurança e aumentam a estabilidade global das construções. Como destaca Mendes (2022, P. 8), compreender o comportamento das vigas sob esforços é essencial para garantir soluções estruturalmente seguras e eficientes, especialmente quando se busca vencer grandes distâncias com estabilidade. Isso as torna particularmente adequadas para edificações esportivas e comerciais que demandam grandes vãos. Como podemos ver no esquema da figuara 1.

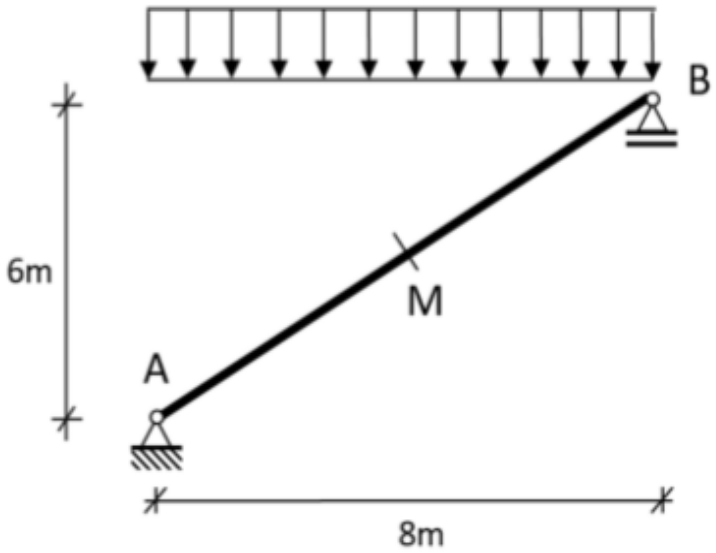


Figura 1. Distribuição de carga

Fonte: Teoria das Estreuturas I (2024)

Embora as vigas horizontais sejam de aplicação comum, apresentam limitações em grandes estruturas. Estudos e análises estruturais evidenciam que a inclinação pode trazer vantagens relevantes, permitindo redistribuir as cargas, favorecer a rigidez da estrutura e minimizar deslocamentos. Conforme apontado no estudo da UNESP de Bastos (2024, p. 12), a redistribuição dos esforços internos pode levar a seções estruturais mais eficien-

tes e menor solicitação negativa, reforçando a vantagem de configurações alternativas de geometria em comparação às vigas convencionais, Além disso, a adaptação da seção transversal aumenta o desempenho global, mostrando que a geometria inclinada supera a convencional em cenários críticos.

Bastos (2024) ainda ressalta que "em uma viga, antes do surgimento das fissuras inclinadas [...] somente após ocorrer o início da fissuração inclinada é que os estribos passam a transferir efetivamente força cortante". Esse comportamento evidencia a importância da inclinação e do controle das tensões internas para a durabilidade e a segurança estrutural das vigas, especialmente em grandes vãos. A figura 2 demonstra os esforços solicitados.

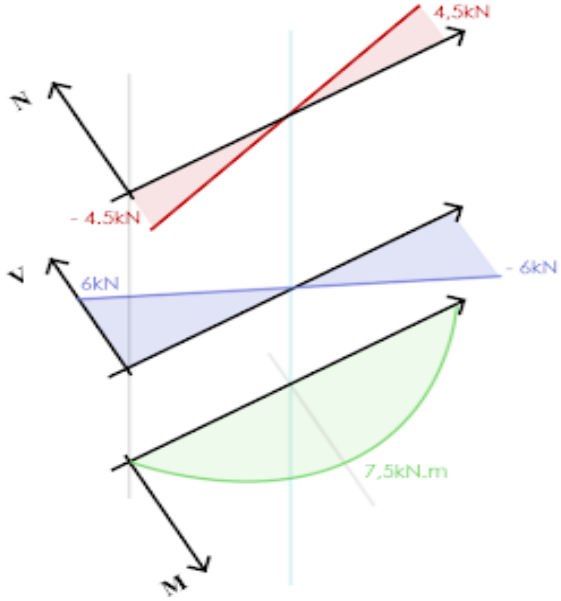


Figura 2. Diagrama de esforços solicitantes

Fonte: Edficações Modernas (2012)

Conforme Cintra (2019, p. 20): "No Brasil e no mundo, é notório o aumento na quantidade de projetos arquitetônicos mais arrojados, com grandes aberturas e enormes áreas de claridade [...]" Esse cenário exige soluções estruturais mais resistentes e flexíveis. As vigas inclinadas, nesse contexto, oferecem vantagens para vencer vãos amplos e atender às demandas estéticas e funcionais da arquitetura contemporânea.

O exame das propriedades mecânicas dessas vigas confirma que sua configuração geométrica reduz de maneira significativa as deformações. A inclinação modifica a trajetória das cargas e contribui para maior equilíbrio na distribuição dos esforços. Sengundo Mendes (2022), Essa característica também atua na mitigação da flambagem em elementos delgados, garantindo mais estabilidade local. Em obras de grande porte, isso se traduz em segurança e maior confiabilidade.

> A inclinação das bielas comprimidas e a formação das fissuras diagonais alteram a trajetória dos esforços internos, contribuindo para uma redistribuição mais equilibrada das tensões e influenciando diretamente as deformações observadas na viga (MENDES, 2022, p. 27).

Segundo Mendes, Florentin e Moreira (2023, p. 10): "A otimização de vigas em concreto armado concentra-se na proposição de uma equação para o pré-dimensionamento de vigas através da otimização e o uso da regressão linear." Essa perspectiva reforça a importância de abordagens que melhorem o comportamento estrutural sem comprometer a

economia de materiais — um princípio também presente na concepção das vigas inclinadas.

Outro aspecto que merece atenção é o impacto econômico associado ao uso dessa técnica. Segundo Bastos (2024), “As vigas inclinadas possibilitam melhor distribuição de forças, o que resulta em maior eficiência no uso de materiais e redução de custos”. Isso demonstra que, em comparação às vigas horizontais, as inclinadas oferecem desempenho superior com menor consumo de recursos. Tal vantagem reforça seu alinhamento às práticas de sustentabilidade cada vez mais presentes na engenharia civil. A maior rigidez estrutural obtida com a aplicação das vigas inclinadas também merece destaque. Esse tipo de viga aumenta a proporção entre altura e comprimento, proporcionando maior resistência a esforços cortantes e momentos fletores. Segundo Sena (2022, p. 60) “o dimensionamento otimizado de vigas em concreto armado pode ser mais vantajoso que o dimensionamento convencional visto que houve redução de custos para os quatro problemas em estudo [...]. O trabalho conclui pela eficiência do dimensionamento otimizado na redução de custos de execução de vigas e no atendimento dos parâmetros de segurança.”

Em comparação às vigas horizontais, as inclinadas sofrem menos deformações e apresentam desempenho melhor sob cargas extremas. Essa eficiência ainda contribui para construções mais econômicas e sustentáveis. Custódio (2018, p. 24) afirma que “essa redução no custo do empreendimento foi possível em função da ótima concepção estrutural proposta por você e sua equipe, pois possibilitou a otimização dos materiais, mantendo a qualidade, a segurança da obra e o atendimento às normas brasileiras.”

Em regiões onde as estruturas estão sujeitas a cargas dinâmicas, como áreas sísmicas, as vigas inclinadas mostram-se ainda mais relevantes. A inclinação das vigas altera a forma como as cargas são transferidas, possibilitando desempenho superior em cenários que exigem controle rigoroso de esforços. Conforme destaca a obra: “Vigas de Concreto Armado – Dimensionamento, Flecha e Fissuração, estruturas sob ações horizontais e verticais” de Bastos,(2024, p. 6), apresentam “deslocamentos horizontais e verticais nas vigas e pilares” que devem ser cuidadosamente analisados Esse comportamento evidencia que a técnica é eficaz tanto em termos de segurança quanto de funcionalidade. Além de aumentar a rigidez, as vigas inclinadas permitem a criação de espaços internos amplos e livres, sem comprometer a integridade estrutural.

Estudos comparativos reforçam os ganhos associados a essa solução. O uso de vigas inclinadas pode reduzir de maneira considerável os deslocamentos verticais e horizontais, aumentando a rigidez e garantindo desempenho elevado mesmo sob solicitações dinâmicas complexas, como afirma Cintia (2019). Essa técnica também viabiliza projetos mais ousados e sofisticados, respondendo satisfatoriamente às exigências da engenharia contemporânea. Quando combinadas com materiais de alta resistência, as vigas inclinadas atingem resultados ainda mais eficientes, consolidando-se como alternativa de destaque na concepção de grandes estruturas. A comparação direta entre vigas convencionais e vigas inclinadas feias por Bastos (2024), Cintia (2019) e Ferreira (2023), permite compreender de forma mais clara as diferenças no comportamento estrutural e nas vantagens associadas a cada solução. A Tabela 1 resume os principais pontos discutidos na literatura recente.

cto	Vigas Convencionais (Horizontais)	Vigas Inclinadas
Distribuição de cargas	Predominantemente vertical, concentrada nos apoios	Redistribuição eficiente, direcionando forças para apoios resistentes
Controle de deslocamentos	Maior incidência de deslocamentos em grandes vãos	Redução significativa de deslocamentos verticais e laterais
Rigidez estrutural	Dependente de reforços adicionais	Geometria contribui para rigidez intrínseca
Economia de materiais	Maior consumo em reforços	Menor necessidade de material devido à eficiência geométrica
Sustentabilidade	Uso intensivo de recursos	Alinhada à redução de custos e menor impacto ambiental
Estética arquitetônica	Tradicional, com menor apelo visual	Forma dinâmica e arrojada, valorizando o projeto arquitetônico

Tabela 1. Comparativos

Fonte: Bastos (2024); Cintia (2019); Ferreiras (2023).

A inovação tecnológica também fortalece o uso das vigas inclinadas. A associação desse recurso a materiais compostos e técnicas digitais pode levar a construções mais leves e sustentáveis. Essa integração favorece a eficiência energética e a redução da pegada de carbono, além de impulsionar soluções alinhadas às novas demandas do setor. Assim, a técnica se apresenta como estratégia promissora para o futuro da construção civil. Ferreira (2023, p. 7–8) afirma em seu trabalho que "atualmente, com o emprego de novos materiais e tecnologias na produção de fibras, a adição de fibras no concreto tem mostrado incremento nas resistências mecânicas do material.

A análise crítica das pesquisas evidencia que o uso de vigas inclinadas não deve ser visto apenas como uma solução estrutural, mas como uma estratégia de projeto integrada. Como observa Pierott (2018, p. 17), "na construção civil, procura-se o melhor aproveitamento das características dos materiais e, por consequência, projetos estruturais mais econômicos". A eficiência na distribuição de forças contribui para que os engenheiros trabalhem com seções mais econômicas, reduzindo a necessidade de reforços complementares. Essa característica amplia a viabilidade técnica da solução, sobretudo em obras de maior complexidade, nas quais o controle de deslocamentos é fator determinante.

Segundo o artigo de Scandaroli (2015) com o título de "estruturas de concreto com grandes vãos exigem soluções para garantir a estabilidade e o controle de deformações em vigas e lajes" publicado na Revista TECHNE, ele ressalta que nesse contexto, as vigas inclinadas surgem como alternativa eficiente, especialmente em obras de grande porte, como estádios e pontes, em que a eliminação de colunas intermediárias é essencial para o desempenho estrutural.

O estudo dos deslocamentos em estruturas que utilizam esse tipo de viga confirma vantagens significativas. Onhegero (2020) diz: "A inclinação das vigas reduz deslocamentos verticais e laterais quando comparada a vigas horizontais equivalentes". Para garantir tais benefícios, é necessário considerar os parâmetros de rigidez e as condições de apoio. Uma modelagem adequada é determinante para o sucesso dessa aplicação em obras de grande porte. Onhgero (2020, p. 7) em seu trabalho sobre "Estruturas de Concreto Armado" ressalta que a rigidez das estruturas está diretamente relacionada ao controle dos deslocamentos, sendo necessária a verificação das condições de apoio e das deformações para assegurar o desempenho adequado.Como pode ser visualisado na figura 3 de estudo de compatibilidade no Eberick.

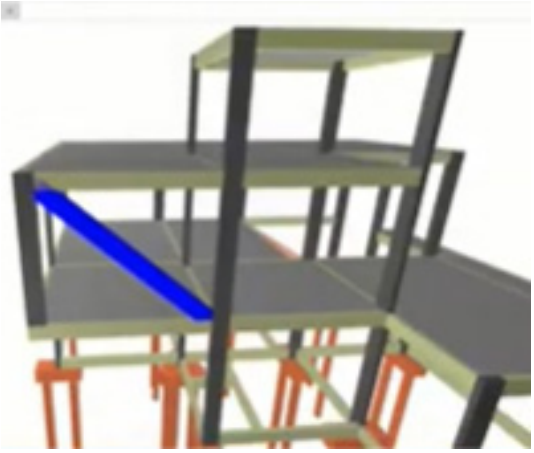


Figura 3. Lançamento de viga

Fonte: Eberick

De acordo com Bastos (2024, p. 12), “em uma viga, antes do surgimento das fissuras inclinadas [...] somente após ocorrer o início da fissuração inclinada é que os estribos passam a transferir efetivamente força cortante”. Esse comportamento evidencia a importância da inclinação e do controle das tensões internas para a durabilidade e a segurança estrutural das vigas, especialmente em grandes vãos.

A inclinação altera de forma direta o caminho das cargas aplicadas, promovendo uma redistribuição mais equilibrada entre os elementos de apoio. Essa configuração, além de mitigar riscos de flambagem em componentes esbeltos, aumenta a durabilidade estrutural. Em obras de grande escala, como pontes estaiadas e ginásios poliesportivos, a aplicação dessa técnica representa um diferencial significativo em termos de segurança e desempenho. Mendes (2022, p. 27) enfatiza que a inclinação das bielas comprimidas e a formação das fissuras diagonais alteram a trajetória dos esforços internos, contribuindo para uma redistribuição mais equilibrada das tensões e influenciando diretamente as deformações observadas na viga.

Outra dimensão importante é a arquitetônica. A geometria inclinada possibilita a criação de formas mais dinâmicas e expressivas, valorizando a estética de projetos contemporâneos. Como aponta Pierott (2018, p. 17), “a evolução das ferramentas computacionais consegue-se definir estruturas mais arrojadas e desafiadoras”, aspecto que amplia o leque de soluções disponíveis para arquitetos, que passam a dispor de maior liberdade criativa sem comprometer a segurança. Dessa maneira, as vigas inclinadas não se restringem a um papel técnico, mas tornam-se também instrumento de inovação visual.Como podemos ver na figura 4.

A execução correta, entretanto, é um fator que não pode ser negligenciado. Falhas em juntas e ligações podem comprometer a performance esperada das vigas inclinadas, anulando suas vantagens. Conforme Ferreira (2023, p. 73), “as causas se dividem em dois grandes grupos [...] sendo que erros e defeitos de projeto ou execução devem ser levados em consideração na prevenção”. Assim, práticas construtivas baseadas em rigor técnico e padrões de qualidade tornam-se imprescindíveis para assegurar o desempenho previsto em projeto. Esse cuidado reforça a ideia de que a inovação deve vir acompanhada de controle de processos construtivos.

Figura 4. Projetos Casa Brasil

Fonte: FotoLuis Gomes

Com relação ao comportamento frente a cargas dinâmicas, a inclinação das vigas proporciona uma resposta diferenciada, especialmente em áreas sísmicas. Ao alterar o fluxo dos esforços, a estrutura torna-se menos suscetível a deformações excessivas, garantindo maior segurança em cenários extremos. Conforme Ferreira (2023, p. 49), os materiais compósitos empregados em soluções estruturais avançadas apresentam "capacidade de resistir a vibrações e absorver energia sob cargas sísmicas", reforçando a viabilidade da técnica em situações de maior risco geotécnico e ambiental. Essa observação demonstra que a técnica não se restringe apenas a obras convencionais, mas pode ser aplicada de forma estratégica em regiões mais vulneráveis.

Além do ganho estrutural, a adoção de vigas inclinadas também contribui para o desenvolvimento sustentável. A combinação com técnicas digitais e materiais compostos pode resultar em construções mais leves e com menor impacto ambiental. Como observa Pierott (2018, p. 17), "nos últimos anos, veio a necessidade de definir estruturas mais leves e mecanicamente mais eficientes", reforçando o alinhamento dessa solução às demandas contemporâneas de desempenho e sustentabilidade. Essa perspectiva evidencia que a engenharia estrutural deve caminhar em sintonia com metas globais de responsabilidade ambiental, integrando eficiência técnica, redução de custos e preservação ambiental em uma única solução.

3. CONCLUSÃO

O estudo confirmou o objetivo central: compreender como as vigas inclinadas podem otimizar a resistência a deslocamentos em grandes vãos. A partir de uma revisão criteriosa, foi possível sintetizar princípios de projeto e comportamento estrutural que favorecem a estabilidade, sem abrir mão da racionalidade de materiais e do potencial estético. Conforme Scandaroli (2015, p. 1), "estruturas de concreto com grandes vãos exigem soluções para garantir a estabilidade e o controle de deformações em vigas e lajes". Assim, responde-se ao problema de pesquisa ao demonstrar que a geometria inclinada redistribui esforços e reduz deformações de modo consistente.

Os achados indicam que a solução é tecnicamente viável e promissora em obras que exigem vãos amplos e desempenho elevado. Além de aumentar a rigidez global, o arranjo inclinado contribui para escolhas construtivas mais econômicas e alinhadas à sustentabilidade. Como afirmou Bastos (2024), "As vigas inclinadas possibilitam melhor distribuição de forças, o que resulta em maior eficiência no uso de materiais e redução de custos". Re-

comenda-se, no entanto, que o dimensionamento considere cuidadosamente condições de apoio, materiais e compatibilização com o sistema estrutural como um todo.

Como limitações, reconhece-se a dependência de estudos de caso, simulações e procedimentos executivos que nem sempre refletem a diversidade de cenários reais. Pesquisas futuras devem integrar modelagem avançada, ensaios experimentais e monitoramento em campo, explorando diferentes materiais e configurações. Como demonstrado por Cintia (2019). "Essa técnica também viabiliza projetos mais ousados e sofisticados, respondendo satisfatoriamente às exigências da engenharia contemporânea." Com isso, espera-se consolidar diretrizes práticas que tornem o uso de vigas inclinadas ainda mais seguro, eficiente e replicável.

Além disso, destaca-se que a adoção desse tipo de solução estrutural exige não apenas domínio técnico, mas também atualização constante dos profissionais envolvidos. A integração entre engenharia e tecnologia digital, por meio de softwares de simulação e análise não linear, abre novas possibilidades de inovação no dimensionamento de estruturas complexas. Como foi apontado por Pierott (2018, p. 17), "a evolução das ferramentas computacionais consegue-se definir estruturas mais arrojadas e desafiadoras"Assim, o estudo reforça que as vigas inclinadas representam um avanço não apenas construtivo, mas também formativo e tecnológico, promovendo uma engenharia mais precisa, sustentável e alinhada às demandas contemporâneas da construção civil.

REFERÊNCIAS

BASTOS, Paulo Sérgio. **Vigas de concreto armado: dimensionamento, flecha e fissuração.** Bauru: Universidade Estadual Paulista – UNESP, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2024.

BASTOS, Paulo Sérgio. ***Vigas de concreto armado*** – Dimensionamento, flecha e fissuração. Bauru: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2024. Disponível em: https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Vigas.pdf. Acesso em: 01 out. 2025.

BASTOS, Paulo Sérgio. ***Vigas de concreto armado.*** Bauru: Faculdade de Engenharia de Bauru – UNESP, 2024. Disponível em: https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Vigas.pdf. Acesso em: 03 ago. 2025.

BASTOS, Paulo Sérgio. ***Vigas de concreto armado: dimensionamento, flecha e fissuração.*** Bauru: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2024.

CINTRA, W. A. **Estudo do comportamento de vigas em concreto armado submetidas a grandes aberturas.** CREARE, v. 7, n. 1, 2019. Disponível em: https://periodicos.unifacef.com.br/creare/article/download/1822/1260. Acesso em: 10 jul. 2025.

CUSTODIO, Kátia Regina. **Estruturas de concreto armado I.** Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. 248 p. ISBN 978-85-522-1120-4.

FERREIRA, Ludmila da Silveira (org.). **Fundamentos de estruturas** – Volume 1. Belo Horizonte: Poisson, 2023. Formato: PDF. ISBN 978-65-5866-260-0. DOI: 10.36229/978-65-5866-260-0.

MENDES, João Paulo. ***Análise não-linear de vigas de concreto armado de grandes dimensões.*** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2022.

MENDES, E. P.; FLORENTIN, M. M.; MOREIRA, L. M. **Otimização de vigas em concreto armado: proposição de equação para pré-dimensionamento.** Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 15, n. 1, 2023. Disponível em: https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/download/22647/209209218211/209209259148. Acesso em: 15 ago. 2025.

MOREIRA, Fábio Antônio. ***Dimensionamento ótimo de vigas contínuas utilizadas em edificações.*** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

ONGHERO, Lucas. ***Estruturas de concreto armado.*** 1. ed. Indaial: Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI, 2020.

PIEROTT, Rodrigo Moulin Ribeiro. **Dimensionamento ótimo de vigas contínuas utilizadas em edificações**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.

PINHEIRO, Ivan Carlos. ***Estruturas de concreto.*** 2. ed. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2019.

SCANDAROLI, Marcelo. ***Estruturas de concreto com grandes vãos.*** Revista TECHNE, São Paulo, ed. 218, maio 2015. Disponível em: https://www.rodrigorcarvalho.com.br/estruturas-de-concreto-com-grandes-vao/. Acesso em: 12 jun. 2025.

SCANDAROLI, Marcelo. ***Estruturas de concreto com grandes vãos exigem soluções para garantir a estabilidade e o controle de deformações em vigas e lajes.*** 2015. Disponível em: https://www.rodrigorcarvalho.com.br/estruturas-de-concreto-com-grandes-vao/. Acesso em: 19 jul. 2025.

SENA, Fillipe Matheus Silva de. Dimensionamento de vigas de concreto armado submetidas a flexão simples utilizando otimização. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2022.

SILVA, Rodrigo José da. ***Interação entre torção, flexão e cortante em vigas de concreto armado.*** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, Priscila Flavia Souza da. **Estruturas de concreto armado II**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019. 216 p.

PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO DE LITERATURA EM EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS

PATHOLOGIES IN CIVIL CONSTRUCTION: A LITERATURE REVIEW IN HISTORIC BUILDINGS

Givanildo da Silva Furtado Oliveira
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

10

Pascal
Editora

RESUMO

A conservação de edificações históricas representa um desafio constante para a engenharia civil e a arquitetura, especialmente diante da ocorrência de manifestações patológicas que comprometem a integridade estrutural e o valor cultural desses bens. Muitas dessas construções carecem de registros técnicos detalhados e de planos de manutenção preventiva, o que favorece o surgimento e a progressão de danos físicos e estruturais. Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar, por meio de uma revisão de literatura, as principais manifestações patológicas em edificações históricas, destacando suas causas predominantes, os tipos mais recorrentes e as técnicas empregadas para identificação, diagnóstico e mitigação. O estudo tratou-se de uma revisão de literatura, no qual utilizou artigos publicados entre 2015 a 2025. A coleta de dados se deu em bases online como: Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Acadêmico. Apresentando como palavras-chaves para a busca: Patologias; Construção civil; Edificações históricas. Foram analisados estudos que abordam fatores como ação do tempo, intempéries, uso inadequado de materiais e ausência de manutenção, bem como métodos de inspeção e intervenções conservativas. Conclui-se que a compreensão das patologias construtivas e a aplicação de técnicas adequadas de diagnóstico e reparo são fundamentais para garantir a durabilidade e a autenticidade das edificações históricas, contribuindo para políticas públicas e práticas de conservação mais eficazes.

Palavras-chave: Edificações Históricas. Manifestações Patológicas. Preservação do Patrimônio.

ABSTRACT

The conservation of historical buildings represents a constant challenge for civil engineering and architecture, especially in the face of pathological manifestations that compromise the structural integrity and cultural value of these assets. Many of these constructions lack detailed technical records and preventive maintenance plans, which favors the emergence and progression of physical and structural damage. In this context, this work aims to analyze, through a literature review, the main pathological manifestations in historical buildings, highlighting their predominant causes, the most recurrent types, and the techniques employed for identification, diagnosis, and mitigation. The study was a literature review, using articles published between 2015 and 2025. Data collection was carried out in online databases such as: Scientific Electronic Library Online (SciELO) and Google Scholar. The keywords used for the search were: Pathologies; Civil construction; Historical buildings. Studies addressing factors such as the effects of time, weathering, inappropriate use of materials, and lack of maintenance, as well as inspection methods and conservative interventions, were analyzed. It is concluded that understanding structural pathologies and applying appropriate diagnostic and repair techniques are fundamental to ensuring the durability and authenticity of historical buildings, contributing to more effective public policies and conservation practices.

Keywords: Historical Buildings. Pathological Manifestations. Heritage Preservation.

1 INTRODUÇÃO

As edificações históricas não representam apenas um conjunto arquitetônico do passado, mas carregam também a identidade cultural, social e patrimonial de uma sociedade. Preservá-las significa manter viva a memória coletiva, permitindo que o passado dialogue constantemente com o presente. No entanto, essas construções estão sujeitas a fatores que favorecem a deterioração, como o desgaste do tempo, as intempéries, a utilização de materiais inadequados e, principalmente, a ausência de planos de manutenção adequados. Essas condições resultam em manifestações

A gravidade do problema pode ser observada em levantamentos recentes. Segundo o Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão (CBMMA, 2024), dos 389 casarões vistoriados no estado, 70 apresentaram problemas estruturais considerados graves, revelando vulnerabilidades que colocam em risco a população que habita ou circula nesses espaços. Essa realidade evidencia a necessidade urgente de estratégias de conservação e reabilitação que sejam eficazes, evitando não apenas perdas materiais, mas também possíveis tragédias. Além disso, pesquisas apontam para a relevância da utilização de tecnologias modernas de inspeção, como os ensaios não destrutivos (END), a exemplo da termografia infravermelha e do ultrassom, que permitem identificar danos ocultos e avaliar a integridade de materiais sem causar prejuízos adicionais à edificação.

O problema que se apresenta, portanto, está relacionado às manifestações patológicas que surgem ao longo do tempo nessas construções. Muitas edificações históricas não contam com registros técnicos detalhados nem com planos de manutenção preventiva, o que compromete a preservação de sua integridade estrutural e cultural. Diante disso, surge a seguinte questão central: quais são as principais manifestações patológicas em edificações históricas, suas causas predominantes e as técnicas utilizadas para identificação, diagnóstico e mitigação desses problemas?

A justificativa desta pesquisa encontra-se na importância de preservar as edificações históricas como elementos essenciais da memória arquitetônica e cultural da sociedade. Além do valor histórico e simbólico, essas construções têm função social e turística, sendo parte da identidade de um povo. Entretanto, a ausência de cuidados técnicos adequados acelera o processo de degradação, colocando em risco não apenas os imóveis, mas também a segurança das pessoas. Nesse sentido, compreender como as patologias se desenvolvem e quais estratégias de diagnóstico e tratamento podem ser utilizadas é fundamental para subsidiar políticas públicas e práticas de conservação mais eficazes. A preservação deve respeitar tanto a integridade física quanto o valor simbólico das edificações, equilibrando segurança e memória cultural.

Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo geral analisar as principais manifestações patológicas em edificações históricas, a partir de uma revisão de literatura, destacando as causas, os tipos mais comuns e as técnicas de inspeção e intervenção utilizadas para preservar a integridade estrutural e o valor histórico dessas construções. Como objetivos específicos, busca-se: Identificar as principais manifestações patológicas em edificações históricas, relacionando-as aos fatores que contribuem para o seu surgimento, como ação do tempo, intempéries, uso de materiais inadequados e ausência de manutenção preventiva; analisar as técnicas e métodos de diagnóstico de patologias em construções históricas descritos na literatura científica; apontar trabalhos que evidenciem resultados satisfatórios na análise e tratamento de patologias em edificações históricas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Foi desenvolvida uma revisão da literatura de forma integrativa, com um estudo qualitativo e abordagem teórica, através da coleta de artigos dos anos de 2015 a 2025 já publicados, fazendo análise sobre patologias em edificações históricas e seus efeitos ao longo da vida útil da estrutura. A pesquisa de revisão da literatura de forma integrativa envolve um resumo de artigos científicos já produzidos em determinada área do conhecimento de acordo com o tema proposto, detalhando da melhor forma os elementos estudados.

Em relação aos critérios de inclusão foram catalogados os artigos científicos com publicações em português, espanhol e inglês durante o período de 2015 a 2025. Já em relação aos critérios de exclusão, os artigos que estão fora do período citado, aqueles que não estão conformes ao tema e os que não estavam com disponibilidade na íntegra, foram recortados das análises.

A coleta de dados se deu em bases online como: Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Acadêmico. Apresentando como palavras-chaves para a busca: Patologias; Construção civil; Edificações históricas.

2.2 Resultados e Discussão

A análise dos estudos selecionados demonstra que as manifestações patológicas em edificações históricas são fenômenos multifatoriais, influenciados tanto por agentes externos — como condições climáticas e ambientais — quanto por causas internas, relacionadas à escolha inadequada de materiais, falhas construtivas e ausência de manutenção periódica. As patologias se manifestam de diferentes formas, podendo afetar tanto o desempenho estético quanto a segurança estrutural dos edifícios.

De modo geral, os principais danos observados nos trabalhos analisados incluem fissuras, infiltrações, eflorescências salinas, desagregação de argamassa, destacamento de revestimentos e corrosão de armaduras. Cada uma dessas manifestações possui causas específicas, mas todas estão fortemente relacionadas à ação do tempo e à falta de manutenção preventiva.

De acordo com Silva e Torres (2015), o envelhecimento natural dos materiais e as condições ambientais adversas — como variações térmicas e alta umidade relativa — são fatores determinantes para o surgimento de patologias nas envoltórias de edificações antigas. Esses autores ressaltam que o lençol freático superficial e a maresia, nas regiões litorâneas, intensificam processos de corrosão e destacamento de revestimentos. Assim, a degradação se torna inevitável quando não há monitoramento técnico ou intervenção conservativa adequada.

Em complemento, Bernardi e Lopes (2020) destacam que a umidade é uma das causas mais recorrentes de degradação. Ela pode ter origem ascendente (vinda do solo), descendente (por falhas de impermeabilização na cobertura) ou proveniente de infiltrações laterais, decorrentes de fissuras e falhas nas fachadas. Quando o problema não é detectado precocemente, as infiltrações geram danos em revestimentos, corrosão de estruturas metálicas e proliferação de fungos, afetando também a salubridade dos ambientes internos.

A introdução de técnicas não destrutivas de diagnóstico tem se mostrado um avanço relevante no campo da conservação. A termografia infravermelha, por exemplo, permite identificar patologias invisíveis ao olho humano, como bolhas de ar sob revestimentos e

infiltrações ocultas (Binoti, 2023). Essas tecnologias auxiliam engenheiros e restauradores na tomada de decisão baseada em dados objetivos, reduzindo intervenções invasivas e preservando a autenticidade do patrimônio histórico.

Outros estudos, como o de Correia et al. (2024), evidenciam que até mesmo edificações aparentemente bem conservadas podem esconder problemas incipientes, que se agravam com o tempo. A pesquisa reforça que a manutenção preventiva deve ser contínua e planejada, incluindo limpeza, impermeabilização de madeiras, revisão de coberturas e monitoramento periódico das fachadas.

Sousa (2025) acrescenta a importância do registro fotográfico com drones e do uso de ensaios de pacometria, que permitem avaliar a integridade de armaduras internas e identificar corrosões antes que causem perda de seção ou desplacamento do concreto. Esse tipo de monitoramento tecnológico é essencial para edificações que já apresentam sinais avançados de deterioração.

De modo geral, observa-se que a falta de integração entre engenheiros civis, arquitetos, conservadores e gestores públicos é um dos maiores entraves à preservação adequada do patrimônio histórico. A literatura reforça a necessidade de abordagens multidisciplinares, nas quais diferentes profissionais possam contribuir para a análise estrutural, estética e cultural do bem edificado, garantindo intervenções mais duradouras e compatíveis com o valor histórico do imóvel.

Além disso, as pesquisas apontam que a educação patrimonial e a criação de políticas públicas de conservação preventiva são fundamentais para reduzir a incidência de patologias. Muitos imóveis históricos, especialmente em centros urbanos antigos, sofrem com o abandono e o uso inadequado, o que acelera o processo de degradação. A conscientização da comunidade local e a atuação dos órgãos de preservação são fatores essenciais para manter a integridade dessas construções.

Portanto, a revisão da literatura evidencia que a preservação do patrimônio histórico depende diretamente do conhecimento técnico das patologias construtivas e da aplicação de métodos diagnósticos modernos. O investimento em manutenção preventiva e inspeções periódicas é mais eficiente e econômico do que as ações corretivas após o agravamento dos danos, garantindo a longevidade estrutural e simbólica dessas edificações.

2.2.1 Principais Tipos de Patologias em Edificações Históricas

As edificações históricas, por sua natureza construtiva e idade avançada, estão suscetíveis a diversas manifestações patológicas que comprometem tanto a estética quanto a integridade estrutural. Essas anomalias decorrem da interação entre fatores ambientais, envelhecimento natural dos materiais, falhas construtivas e, principalmente, ausência de manutenção preventiva. A seguir, são apresentadas as principais patologias identificadas na literatura especializada e observadas em estudos de caso de edificações históricas brasileiras.

2.2.1.1 Fissuras e Trincas

As fissuras são uma das manifestações mais comuns em edificações históricas. Podem ter origem estrutural, higroscópica ou térmica, dependendo do tipo e da intensidade das tensões atuantes. Segundo Silva et al. (2020), fissuras em alvenarias antigas costumam

estar associadas à movimentação diferencial do solo, retração dos materiais e variações térmicas. Quando não tratadas, essas fissuras funcionam como portas de entrada para agentes externos, como água e sais, agravando outras patologias, como infiltrações e corrosão.

2.2.1.2 Infiltrações e Umidade Ascendente

A presença de umidade é uma das principais causas de deterioração em construções históricas. De acordo com Bernardi e Lopes (2020), as infiltrações podem ocorrer por falhas na impermeabilização, rachaduras em coberturas ou sistemas de drenagem ineficientes. Já a umidade ascendente resulta do contato direto entre alvenarias e o solo, facilitando a ascensão capilar de água e sais minerais.

2.2.1.3 Eflorescências e Manchas

As eflorescências são depósitos esbranquiçados de sais solúveis que emergem na superfície dos revestimentos, principalmente em fachadas e paredes expostas à umidade. Conforme Terra (2001), essa patologia, além de comprometer o aspecto estético, indica a presença de umidade constante nas estruturas. Quando não controlada, pode levar à desagregação da argamassa e ao destacamento de camadas superficiais.

2.2.1.4 Corrosão de Armaduras

A corrosão é uma das patologias mais críticas, pois afeta diretamente a estabilidade estrutural das edificações de concreto armado. Sousa (2025) destaca que a perda de seção das armaduras e o consequente desplacamento do concreto são sintomas de degradação avançada, exigindo intervenções urgentes.

2.2.1.5 Desagregação e Destacamento de Revestimentos

O destacamento de argamassas e revestimentos ocorre devido à perda de aderência entre as camadas de acabamento e a base, geralmente causada por variações térmicas, infiltrações e incompatibilidade entre materiais antigos e modernos.

2.2.1.6 Degradação de Materiais Orgânicos (Madeira)

Muitos elementos estruturais e decorativos das edificações históricas são compostos por madeira, material que, quando exposto à umidade e à falta de ventilação, sofre com o ataque de fungos, cupins e apodrecimento.

2.2.1.7 Deformações e Recalques

Recalques diferenciais são comuns em edificações antigas construídas sobre fundações superficiais ou em solos instáveis. Tais deslocamentos provocam deformações nas paredes, pisos e aberturas, comprometendo a estabilidade global.

Essas manifestações patológicas, quando não tratadas, têm efeito cumulativo, acelerando o processo de degradação e comprometendo tanto o desempenho estrutural quanto o valor cultural do patrimônio.

A seguir, será apresentado o Quadro 1, que reúne informações referentes às patologias na construção civil, com ênfase nas edificações históricas. Os artigos analisados apresentam diferentes perspectivas quanto às origens das patologias, incluindo fatores ambientais, degradação de materiais, falhas construtivas e ausência de manutenção preventiva, além de destacar a importância de uma abordagem multidisciplinar para o tratamento dessas anomalias (Silva, Torres, 2015).

Quadro 1. Principais artigos analisados

Autor (Ano)	Introdução	Objetivos	Materiais e Métodos	Resultados
Silva e Torres (2015)	A cidade de Rio Grande/RS, situada na região sul do Brasil, possui relevante legado histórico e arquitetônico, porém grande parte do seu acervo encontra-se em acelerado estado de desgaste devido às condições ambientais adversas.	Abordar aspectos das principais manifestações patológicas associadas às envoltórias das edificações do início do século XX, afetadas por variações térmicas, lençol freático superficial, ventos fortes e maresia.	Métodos avaliativos visuais para identificação de patologias comumente encontradas nas inspeções dos imóveis.	A principal causa de deterioração está relacionada ao envelhecimento inevitável dos materiais construtivos, agravado pelas condições ambientais e climáticas ao longo do tempo.
Bernadi e Lopes (2022)	A falta de manutenção das edificações históricas é responsável por sua degradação. Processos patológicos, como lesões físicas, podem ocasionar umidade, frequentemente invisível.	Elucidar métodos de verificação por meio da termografia infravermelha como tecnologia aplicada ao levantamento de danos em edificações históricas.	Exame termográfico para detecção de irregularidades térmicas em fachadas, analisando a distribuição de temperatura aparente e a diferença entre temperatura interna e externa.	A termografia infravermelha mostrou-se eficaz na identificação de patologias invisíveis, embora ainda haja poucos estudos aplicando essa técnica não destrutiva em fachadas históricas.
Correia et al. (2024)	A capela, considerada patrimônio cultural da região, integra o inventário participativo de bens culturais do município.	Identificar pontos fortes, fragilidades e ameaças, propondo medidas de preservação e conservação.	Pesquisa quali-quantitativa, bibliográfica, exploratória e documental, visitas técnicas e aplicação da metodologia Grau de Risco (GTU).	A edificação apresenta boas condições estruturais e ausência de patologias significativas, mas necessita reparos externos (fachada e pintura) e internos (mezanino, teto, limpeza e impermeabilização da madeira).

Autor (Ano)	Introdução	Objetivos	Materiais e Métodos	Resultados
Sousa (2025)	A análise de manifestações patológicas é essencial para orientar intervenções que conciliem conservação histórico-arquitetônica e segurança estrutural.	Investigar manifestações patológicas em casarão do século XIX no Centro Histórico de São Luís, avaliando condições estruturais e propondo soluções de recuperação.	Pesquisa exploratória-descritiva, abordagem qualitativa, estudo de caso com inspeções visuais, ensaio de pacometria e registro fotográfico com drone.	Identificou-se alto grau de deterioração: fissuras, infiltrações, armaduras expostas e corroídas, perda de seção, desplacamento do concreto, eflorescência e colapso parcial da cobertura. Propõem-se tratamento anticorrosivo, recomposição estrutural, impermeabilização e reestruturação do telhado.

Fonte: Próprio autor (2025).

Os achados da pesquisa de Silva e Torres (2015) mostraram as manifestações patológicas mais frequentes nas envoltórias dessas edificações históricas, especialmente aquelas sujeitas a condições ambientais agressivas, que por sua vez são as variações térmicas, maresia, forte vento e lençol freático superficial. Eles identificaram danos como fissuras, eflorescência, descolamento de revestimentos e efeitos da ação capilar, atribuindo sua existência tanto ao envelhecimento natural dos materiais construtivos quanto à falta de manutenção adequada. Esse trabalho ressalta como os sistemas construtivos antigos, tipicamente empregados no início do século XX, sem as proteções modernas e com menor controle tecnológico, ficam particularmente vulneráveis às intempéries, acelerando sua deterioração.

Um estudo comparativo interessante encontra-se em Silva et al (2020) onde os autores registraram manifestações como desagregação de argamassa, infiltrações, fissuras e manchas, muito semelhantes às que Silva e Torres (2015) observaram em Rio Grande/RS. Contudo, o estudo de Silva et al (2020) destaca ainda a importância da priorização de intervenções corretivas, considerando uso e ocupação atuais dos edifícios, bem como a magnitude dos danos, o que permite agir de forma estratégica.

Bernardi e Lopes (2020) destacaram a utilidade da termografia infravermelha como técnica não destrutiva para detectar patologias em edificações históricas, especialmente aquelas lesões físicas que favorecem umidade, muitas vezes invisível ao olho nu. Eles apontaram que as fachadas antigas, quando sem manutenção adequada, acumulam infiltrações, falhas de vedação ou descolamentos que não se manifestam externamente até estarem bastante avançados, o que compromete durabilidade e estabilidade.

Comparativamente, o trabalho de Binoti (2023) apresenta um estudo de caso em condições reais de uso, aplicando inspeções termográficas passivas juntamente com inspeções visuais em fachadas com diferentes revestimentos. Nesse estudo, Binoti verifica que a termografia identificou não só infiltrações ocultas ou falhas de aderência de revestimentos, mas também estimou a magnitude de danos subsuperficiais que ainda não estavam claramente visíveis por inspeção tradicional. Entretanto, similarmente a Bernardi e Lopes, ela ressalta que há desafios como o ângulo de visada, condições de iluminação, microclima local e competências do operador.

Já os achados de Correia et al (2024) mostraram a necessidade de reparos e manutenção em elementos externos (fachada, pintura) e internos (mezanino de madeira, teto, madeira em geral), além de medidas de limpeza e impermeabilização. Esse diagnóstico

aponta que mesmo edificações relativamente preservadas demandam intervenções preventivas específicas para evitar a progressão de danos que, embora discretos inicialmente, podem evoluir para patologias mais graves se negligenciados. Comparando com o trabalho de Innocencio et al (2022) pode se identificar que enquanto Correia et al. (2024) indicaram que a estrutura geral estava em bom estado, o trabalho de Innocencio mostrou que intervenções preventivas baseadas em diagnóstico profundo podem revelar danos ocultos e oferecer soluções sustentáveis (físicas e materiais) mais adequadas. Essa comparação realça que metodologias mais sofisticadas (termodiagnóstico, inspeções aéreas, análise de materiais) tendem a completar o diagnóstico, possibilitando intervenções menos invasivas e mais duradouras, complementando bem o enfoque de Correia et al (2024).

Por fim, os achados de Sousa (2025) mostraram que a investigação, baseada em inspeções visuais, ensaio de pacometria e registros fotográficos com drone, permitiram mapear tanto falhas visíveis quanto ocultas, propondo intervenções específicas: tratamento de armaduras com inibidores de corrosão, recomposição com argamassas especiais, impermeabilização e reestruturação do telhado. O trabalho evidenciou assim a importância de se conciliar o valor histórico-arquitetônico com a segurança funcional e estrutural, demonstrando que o reconhecimento do estado de deterioração é pré-requisito para qualquer ação de restauração bem-sucedida.

Em comparação, Moura Júnior et al. (2022) fornece um contraponto interessante: nessa pesquisa, foram identificadas manifestações como sujidade/crosta negra, destacamento de pintura e outros danos visuais em fachadas, por meio de inspeção visual e elaboração de mapa de danos, embora os elementos estruturais não estivessem tão comprometidos quanto no estudo de Sousa. Assim, enquanto Sousa (2025) detecta deteriorações estruturais mais severas, o estudo de Moura Júnior et al. (2022) mostra que nem sempre os danos externos visíveis correspondem a falhas estruturais mais profundas, mas que ainda assim afetam a estética, conservação superficial, e o risco futuro.

Assim, os dois trabalhos acabam se completando, sendo que Sousa (2025) alerta para a urgência de intervenções onde os danos já avançaram estruturalmente. Já Moura Júnior et al. (2022) reforçou a necessidade de monitoramento contínuo e diagnóstico preventivo como ferramenta para evitar que patologias superficiais evoluam para problemas maiores.

3 CONCLUSÃO

A presente revisão de literatura proporcionou uma análise abrangente sobre as patologias em edificações históricas, destacando sua relevância para a engenharia civil, a arquitetura e a conservação do patrimônio cultural. As pesquisas analisadas convergem para o entendimento de que as manifestações patológicas não são eventos isolados, mas sim o resultado da interação entre fatores ambientais, envelhecimento dos materiais, ausência de manutenção preventiva e intervenções inadequadas.

Os estudos revisados demonstram que as patologias mais recorrentes — como fissuras, infiltrações, eflorescências, desagregação de argamassas, corrosão de armaduras e deformações estruturais — têm origem, em grande parte, na falta de cuidados sistemáticos e na carência de políticas públicas voltadas à conservação preventiva. Essa negligência acaba acelerando o processo de degradação das estruturas, comprometendo não apenas a integridade física das edificações, mas também o seu valor histórico, simbólico e identitário.

Dessa forma, a preservação do patrimônio edificado deve ser compreendida como

uma ação estratégica e contínua, que envolve não apenas a restauração pontual de danos visíveis, mas principalmente a criação de planos de manutenção preventiva e gestão patrimonial. Tais planos devem contemplar inspeções periódicas, uso de tecnologias de diagnóstico não destrutivas — como termografia, pacometria e fotogrametria — e o registro técnico detalhado das condições estruturais dos edifícios.

A literatura consultada também evidencia a necessidade de intervenções multidisciplinares, integrando engenheiros civis, arquitetos, restauradores, historiadores e gestores públicos. Essa cooperação é essencial para garantir que as soluções técnicas adotadas respeitem a autenticidade das construções e estejam alinhadas aos princípios da conservação patrimonial.

Outro aspecto relevante é a importância da educação patrimonial e da conscientização social. O envolvimento da comunidade e dos órgãos públicos na valorização do patrimônio histórico é um fator determinante para sua preservação. É necessário que governos municipais e estaduais implementem políticas públicas de incentivo à restauração, disponibilizando recursos financeiros, capacitação técnica e marcos regulatórios que assegurem a conservação adequada dos bens culturais.

Além disso, o estudo destaca que a inovação tecnológica pode desempenhar papel fundamental no monitoramento e na conservação das edificações históricas. O uso de drones, sensores de umidade e softwares de modelagem tridimensional (BIM para restauração) pode otimizar o diagnóstico e reduzir custos, tornando o processo mais eficiente e preciso.

Por fim, conclui-se que compreender e tratar as patologias construtivas em edificações históricas é mais do que um desafio técnico — é um compromisso ético e cultural com a memória e a identidade coletiva. A conservação do patrimônio construído deve ser entendida como um investimento de longo prazo, capaz de promover desenvolvimento sustentável, turismo cultural e fortalecimento dos laços históricos de uma sociedade.

Assim, a presente pesquisa reforça a importância de integrar o conhecimento técnico-científico com práticas de gestão, políticas públicas e responsabilidade social, garantindo que as edificações históricas não apenas sobrevivam ao tempo, mas continuem a contar a história e os valores das comunidades que as construíram.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, G. R. Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília – Sistematização da Incidência de casos. 2010. 178 Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília. Brasília, 2010.

BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento deArgamassa**. 4ª ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2008

BRASIL. Ministério da Cultura. Instituto do Programa Monumenta. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural** / Elaboração: José Hailon Gomide, Patrícia Reis da Silva, Sylvia Maria Nelo Braga. Brasília: Ministérioda Cultura, Instituto do Programa Monumenta, 2005.

BINOTI, Paula Martins. **Uso da termografia para avaliação de manifestações patológicas em fachadas de edificações**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2023.

CRUCIOL, Isabela; SUZUKI, Juliana Harumi. Considerações sobre patrimônio histórico e cultural. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, [S.l.], v. 22, n. 42, p. 25-35, mar. 2020. ISSN 2596-2809.

INNOCENCIO, Camila de Rezende; BARBOSA, Maria Teresa Gomes (orientadora). **Sustentabilidade aplicada ao diagnóstico de manifestações patológicas nas intervenções de conservação e restauro: estudo de caso da Capela de Santa Teresinha**. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) — Universidade Fe-

deral de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2022.

KLUPPEL, G. P.; SANTANA, M. C. **Manual de conservação preventiva para edificações.** Brasília, DF: IPHAN/ Programa Monumenta, 2014.

LOIOLA, L.R.T. **Levantamento e investigação das manifestações patológicas incidentes em edificações históricas: Um estudo de caso na cidade de Icó-Ce.** Trabalho de conclusão de curso: Instituto Federal da Paraíba, 2022.

MEDEIROS, Jonas Silvestre; SABBATINI, F.H. **Tecnologia de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/ PCC/246). São Paulo: EPUSP, 1999.

MOURA JÚNIOR, José Maria de; BARRETO, Lydia Marques; SOARES, Willames de Albuquerque; MONTEIRO, Eliana Cristina Barreto; NASCIMENTO, Thulio Roberto Silva do. Manifestações patológicas e mapa de danos em patrimônio histórico: estudo de caso da Basílica e Convento de Nossa Senhora do Carmo em Recife-PE. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e53511831484, 2022

OLIVEIRA, P.N. **Patologias no centro Histórico de São Luís - MA: Um Estudo de caso**. Trabalho de conclusão de curso: Universidade Federal do Maranhão, 2017.

PAVANELO, Darielle Jacques. **Avaliação de manifestações patológicas de fachadas da Unipampa campus alegrete utilizando a termografia infravermelha**. Trabalho de Conclusão de curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2017

SILVA, Leonete; SILVA, A. N.; LEITE, J. H. C.; SILVA, Marcia Yara de Oliveira. Caracterização de Danos em Edifícios Históricos: Estudo de Caso em Quatro Edificações do Médio Oeste do RN. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC)**, v. 16, n. 1, p. 105-120, 2020.

TERRA, Ricardo Curi. **Levantamento de manifestações patológicas em revestimento de fachadas das edificações da cidade de Pelotas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) – Universidade federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

MATERIAIS ALTERNATIVOS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

SUSTAINABLE ALTERNATIVE MATERIALS IN CIVIL CONSTRUCTION

Gustavo Raniere Siqueira da Silva
Mirian Nunes de Carvalho Nunes
José Atila Matos Aroucha Junior

11

Pascal
Editora

RESUMO

O crescimento populacional nos últimos dois séculos desencadeou transformações sociais significativas, mas trouxe como consequência indesejada a degradação acentuada dos recursos naturais. Diante desse cenário, emergiu uma preocupação crescente em mitigar os impactos ambientais desse fenômeno. Na área da engenharia civil, essa responsabilidade se traduz na promoção de edificações mais sustentáveis. Este trabalho apresenta uma revisão sobre materiais de construção sustentáveis utilizados no setor. Para tal, foi realizada uma análise qualitativa focada na utilização de alguns desses materiais, como o adobe, o bambu e a terra crua. A pesquisa se apoiou na inspeção de periódicos científicos especializados, livros relevantes nas áreas de engenharia civil e arquitetura, além de notas técnicas e boletins informativos. No decorrer da pesquisa, destacaram-se três materiais sustentáveis amplamente aplicados. O adobe é um exemplo marcante, sendo composto por um tijolo de terra crua misturada com fibras naturais que se solidifica após a secagem ao sol, demandando baixo consumo energético em sua produção. Outro material notável é o bambu, uma matéria-prima vegetal reconhecida pela sua versatilidade, crescimento rápido e alta resistência. Sua importância é evidente em diversos países, como Bangladesh, onde a maior parte das habitações é construída utilizando-o. Por fim, a terra crua é utilizada em diversas técnicas, como taipa de pilão, e se destaca por ser um recurso abundante e local, contribuindo para a eficiência energética das edificações. A adoção desses materiais é um passo fundamental para reduzir a pegada ecológica da construção civil.

Palavras-chave: Construção Ecológica, Adobe, Bambu, Terra Crua

ABSTRACT

Population growth over the last two centuries has triggered significant social transformations, but has also brought about the unintended consequence of the marked degradation of natural resources. Faced with this scenario, a growing concern has emerged regarding mitigating the environmental impacts of this phenomenon. In the field of civil engineering, this responsibility translates into the promotion of more sustainable buildings. This work presents a review of sustainable building materials used in the sector. To this end, a qualitative analysis was conducted focusing on the use of some of these materials, such as adobe, bamboo, and raw earth. The research relied on the review of specialized scientific journals, relevant books in the fields of civil engineering and architecture, as well as technical notes and newsletters. During the research, three widely applied sustainable materials stood out. Adobe is a striking example, being composed of a brick of raw earth mixed with natural fibers that solidifies after drying in the sun, requiring low energy consumption in its production. Another notable material is bamboo, a plant-based raw material recognized for its versatility, rapid growth, and high resistance. Its importance is evident in several countries, such as Bangladesh, where most housing is built using it. Finally, raw earth is used in various techniques, such as rammed earth construction, and stands out for being an abundant and local resource, contributing to the energy efficiency of buildings. The adoption of these materials is a fundamental step towards reducing the ecological footprint of the construction industry.

Keywords: Ecological Construction, Adobe, Bamboo, Raw Earth

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, tradicionalmente depende de recursos naturais e processos que geram alto impacto ambiental, tem passado por uma significativa transformação nos últimos anos. Impulsionada pela crescente e urgente conscientização ambiental e pela crise climática global, a busca por práticas mais sustentáveis e materiais alternativos emergiu como um imperativo para pesquisadores e profissionais da área. Esta mudança reflete uma nova fase de responsabilidade, onde a sustentabilidade se tornou um foco central das discussões e conferências globais, como aquelas promovidas pela Organização das Nações Unidas (ONU), exigindo ações concretas e uma mudança de direção nas práticas construtivas convencionais.

Nesse contexto de transição, a incorporação de materiais não convencionais e de baixo impacto, como bambu, madeira certificada, terra crua e adobe, destaca-se como uma estratégia promissora. Esses materiais demonstram potencial para melhorar a eficiência energética das edificações, oferecendo propriedade de isolamento térmico superiores aos materiais convencionais, o que consequentemente reduz a necessidade de sistemas de climatização e o consumo de energia. Além disso, quando aplicados com técnicas e tratamentos adequados, eles podem aumentar a durabilidade das construções e, por serem frequentemente renováveis ou reciclados e exigirem menos energia para sua produção e transporte, contribuem significativamente para a redução da pegada de carbono do setor.

Durante a necessidade de acelerar a adoção de práticas mais ecológicas no setor: Como a utilização de materiais alternativos sustentáveis na construção civil pode contribuir efetivamente para a redução de impacto ambiental, promovendo a eficiência energética e a economia circular?

O objetivo deste trabalho é identificar e valorizar as soluções que promovem a preservação ambiental e a eficiência no uso de recursos por meio da investigação da aplicação de materiais alternativos e sustentáveis. A justificativa para que esta pesquisa reside na sua relevância social e acadêmica. Para a sociedade, o estudo pode resultar em soluções habitacionais mais acessíveis e ecológicas, estimulando a conscientização sobre práticas construtivas que minimizam o uso de recursos naturais e a geração de resíduos. Para a comunidade acadêmica, a pesquisa abre novas perspectivas para a inovação, enriquecendo o conhecimento sobre engenharia sustentável e fomentando a colaboração interdisciplinar entre áreas como arquitetura, engenharia e ciências ambientais. Investigar essas alternativas é crucial para desenvolver práticas construtivas que não apenas reduzam o impacto ambiental, mas também impulsionem a inovação e a economia circular frente aos desafios das mudanças climáticas e da escassez de recursos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A presente pesquisa foi conduzida por meio de uma Revisão de Literatura, com o objetivo de reunir e analisar as contribuições existentes sobre o uso de materiais alternativos sustentáveis na construção civil. A revisão permitiu identificar tendências, desafios e inovações no setor, além de destacar a importância da sustentabilidade na construção. A pesquisa foi realizada na base de dados do Google Acadêmico. Foram selecionadas obras publicadas nos últimos 9 anos, de 2017 a 2025, buscando garantir que as informações e dados utilizados fossem atuais e relevantes para o contexto contemporâneo da construção civil. A metodologia empregada proporcionou uma visão abrangente do tema, fundamen-

tando o estudo em dados e análises recentes. O foco em publicações recentes assegurou que as conclusões fossem pertinentes às discussões atuais sobre práticas de construção mais ecológicas e eficientes, consolidando a base teórica necessária para a investigação.

2.2 Resultados e Discussão

A busca por materiais alternativos e sustentáveis na construção civil cresceu significativamente nos últimos anos. Esse movimento foi estimulado pela conscientização sobre a acelerada degradação dos recursos naturais, conforme evidenciado por Sartori e Pinho (2006). A crise ambiental impôs uma direção às práticas convencionais, exigindo uma abordagem diferente para o setor. Elkington (2012) caracterizou esse período como início de uma quarta onda ambiental, na qual a sustentabilidade se tornou um foco centra. Essa nova perspectiva ressaltou a necessidade urgente de soluções que alinhassem o desenvolvimento econômico à proteção ambiental.

A discussão sobre a necessidade de ações concretas foi impulsionada por eventos globais significativos. As diversas Conferências do Clima organizadas pela Organização das Nações Unidas (ONU), incluindo a Rio +20 e a COP 20 em 2015, contribuíram para intensificar o debate. Embora essas reuniões tenham gerado grande discussão, ainda se observaram desafios consideráveis na implementação efetiva das decisões, conforme apontado pela CÂMARA DOS DEPUTADOS (2014). Isso demonstrou a complexidade de traduzir o discurso em práticas que pudessem causar um impacto real e duradouro.

O desenvolvimento sustentável abrange dimensões que vão além das questões ambientais, envolvendo também aspectos econômicos e sociopolíticos. Jacob (2003) sugeriu que, ao considerar estratégias para uma construção mais sustentável, é fundamental avaliar tanto a viabilidade econômica quanto a ecologia. Isso implicou na urgência de que ações que transcendam o discurso e sejam efetivamente implementadas.

A questão central da sustentabilidade residiu em como se poderia avançar no desenvolvimento social e econômico global sem comprometer os ecossistemas do planeta. Um conceito abrangente de sustentabilidade incluiu a promoção da qualidade de vida e o bem-estar das sociedades atuais, sem ameaçar a capacidade das futuras gerações de atender às suas próprias necessidades.

Nesse contexto, a sustentabilidade foi cada vez mais reconhecida como um princípio orientador para todas as atividades que visam atender às necessidades contemporâneas, mantendo um equilíbrio com o meio ambiente. Esse conceito esteve intimamente ligado ao desenvolvimento econômico e social de regiões específicas, promovendo a redução do consumo de recursos naturais não renováveis e incentivando a utilização de alternativas renováveis. Em suma, a sustentabilidade pôde ser entendida como a capacidade de satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das futuras gerações de suprirem suas próprias demandas (AGENDA 21, 2002)

Os materiais puderam ser descritos como substâncias que apresentam características que puderam ser aplicadas de forma direta ou indireta em diversas funções. Exemplos incluíram metais, cerâmicas, polímeros, vidros e madeiras, dentre outros elementos compostos. A produção e o processamento desses materiais para a fabricação de produtos finais representaram uma parte significativa do emprego e do produto interno bruto de um país (CAIADO, 2014)

A relação essencial entre os materiais e o desenvolvimento das sociedades esteve ligada à sua disponibilidade e ao seu aprimoramento. Segundo Caiado (2014), a evolução

dos materiais esteve intrinsecamente ligada à história da humanidade, pois o crescimento populacional ao longo do tempo levou ao aperfeiçoamento de materiais já conhecidos e à busca por novas soluções para construção, gerando um contínuo avanço tecnológico em sua produção.

Atualmente, a diversidade de materiais disponíveis para o uso na construção civil reforçou a ideia de que o futuro das edificações deve estar pautado na adoção de novos recursos que causem menos impacto ambiental. Os seres humanos constantemente desenvolveram diversas técnicas de construção, como a taipa, o adobe e os blocos de terra compactada (MATOS, 2012). Dessa forma, muitas civilizações experimentaram essas abordagens em diferentes períodos históricos.

A terra tem sido um material utilizado em construções populares, em grandes edificações e até o momento em cidades inteiramente projetadas a partir dela, com registos mais antigos encontrados na África e no Oriente Médio (GUILLAUD; HOUBEN, 1989). A terra crua ofereceu várias vantagens, como a capacidade de regular a umidade das habitações, o que foi especialmente importante em regiões com climas quentes. Um exemplo claro é o uso do barro, que possui uma maior capacidade de absorver e liberar umidade em comparação com outros materiais. Normalmente, a umidade em uma casa construída com barro se manteve em torno de 50%, podendo variar entre 5% a 10% para mais ou para menos (TORGAL E JALALI, 2010)

Figura 1. Habitação em Beja – Arquiteto Bartolomeu Costa Cabral

Fonte: NOCTULACHANNEL, 2016

Com o passar dos anos e após um período de acentuada degradação ambiental, os seres humanos começaram a desenvolver uma nova consciência sobre sustentabilidade, resultando em uma busca crescente por materiais de construção que fossem mais ecológicos. Nesse contexto, a terra crua conquistou destaques como uma alternativa viável (SCHROEDER; RÖHLEN; VOLHARD, 2007). Seu uso expandiu-se na arquitetura contemporânea, sendo aplicada tanto nas estruturas dos edifícios quanto em seus interiores, refletindo as inovações propostas por arquitetos e engenheiros civis da atualidade.

Nos últimos anos, muitas organizações e empresas começaram a adotar a construção com terra crua como uma alternativa sustentável. Esse movimento resultou em um aumento significativo na recuperação de dados históricos e na produção de conhecimento científico sobre edificações desse tipo (NEVES; FARIAS, 2011). Os autores também ressalta-

ram que, na Inglaterra, a Universidade de Bath realizou diversos estudos focados em construções em terra crua. Entre os temas abordados, estiveram a melhoria da qualidade do ar interno e a realização de testes estruturais para novas tecnologias, incluindo métodos como a construção com a terra ensacada.

A terra utilizada na construção de blocos deve conter, no mínimo, 10% de argila, sendo que o ideal é que essa porcentagem seja em torno de 20%. Em situações onde o solo é predominantemente arenoso, foi necessário adicionar uma quantidade de calcário (cal) ao preparado. Após a mistura, o adobe precisou ser exposto ao sol para garantir sua secagem uniforme, o que geralmente levou de 15 a 20 dias, dependendo das condições climáticas e da localidade. A técnica de construção com adobe foi similar àquela utilizada com tijolos convencionais; porém, ao invés de argamassa industrial, utilizou-se uma argamassa feita de terra (BRASIL, 2005)

Por outro lado, os tijolos de terra compactados (BCT), ou blocos prensados, representaram uma abordagem mais contemporânea na construção com terra. Ess a técnica envolveu uma mistura adequada de argila, areia e água, que foi colocada em uma prensa manual ou automática, permitindo o desmolde imediato (HUNTER E KIFFMEYER, 2004). Os tijolos puderam ser produzidos em diversos formatos, tamanhos e modelos, conforme o objetivo desejado para a construção.

Figura 2. Tijolos de Adobe

Fonte: EDOCOMUSBRASIL, 2016

No Brasil, o bambu ainda não ocupou uma posição de destaque no cenário econômico, social ou cultural. No entanto, em diversos países, esse material foi amplamente valorizado, sendo objeto de pesquisas intensa devido ao seu grande potencial de aplicação em diferentes áreas, comprovado por seu desempenho eficiente. Tratou-se de um recurso sustentável, que não gerou poluição e exigiu baixo consumo de energia e o oxigênio em seu processamento. Além disso, possui fonte renovável, custo acessível e rápido crescimento (RIPPER, 1994).

O principal elemento aproveitado do bambu foi o seu caule, de forma alongada e cilíndrica, que abrigou estruturas únicas em comparação com outras plantas. Inteiramente, ele foi composto por feixes de fibras longitudinais quase paralelas, estendendo-se da base até o topo da planta, que pôde atingir alturas superiores a 30 metros e diâmetro de até 30 centímetros. Essa estrutura conferiu ao bambu resistência ao impacto de ventos fortes,

chegando a suportar velocidades de até 50 metros por segundo.

Um dos maiores diferenciais do bambu em relação a outros materiais vegetais usados na construção civil foi sua velocidade de crescimento e elevada produtividade. Em cerca de dois anos e meio após o surgimento do broto, já esteve apto para ser utilizado em obras. Outro atributo relevante foi sua notável resistência mecânica, somada à sua força tubular natural, que lhe garantiu grande estabilidade. Esses fatores contribuíram para a redução de custos na construção, já que o bambu foi de fácil transporte, manuseio e apresentou baixo custo de produção (GHAVAMI, 1992; MOREIRA; GHAVAMI, 1995).

Segundo Teixeira (2006), em países como Bangladesh, onde vivem cerca de cinco milhões de pessoas, aproximadamente 90% das moradias foram construídas com bambu. O material apresentou uma ampla gama de usos na construção civil, sendo empregado em coberturas, esquadrias, paredes, escadas, pisos, portas, janelas e até mesmo elementos decorativos.

Figura 3. Edificação a base de Bambu

Fonte: ARQUITETANDO SUSTENTABILIDADE, 2016

Pode ser utilizado tanto em sua forma natural quanto processado. Quando usado in natura, transmitiu um aspecto regional, com características artesanais ou semi-artesanais. Já os produtos industrializados à base de bambu permitiram uma variedade ainda maior de aplicações, sendo facilmente transportados e adaptáveis a diferentes contextos, sem depender diretamente da cultura local onde foram inseridos.

3 CONCLUSÃO

A análise do referencial teórico confirmou a premissa de que a indústria da construção civil se configura como um dos setores com maior impacto ambiental, evidenciando a urgência de uma mudança paradigmática em seu modelo produtivo. O problema central abordado neste trabalho a transição de um setor poluente para um mais sustentável foi, portanto o motor da investigação.

Os objetivos traçados foram alcançados através da retrospectiva sobre as transformações necessárias e a abordagem de materiais específicos. A pesquisa demonstrou que a sustentabilidade na construção passa, inegavelmente, pela reavaliação e substituição dos

materiais utilizados.

A terra crua, o adobe e o bambu emergiram como alternativas viáveis e promissoras, alinhadas como os princípios de menor energia incorporada, baixo custo e menor agressividade ambiental. Eles representam a concretização da busca por materiais mais duráveis, baratos e recicláveis, que compõem o rol de opções para uma maior sustentabilidade dos materiais de construção.

Outro resultado significativo é o reconhecimento do potencial da construção civil para o gerenciamento de resíduo. Sendo uma grande consumidora de materiais, a indústria apresenta uma vantagem estratégica ao poder escoar grandes quantidades de resíduos de outras industriais, fechando ciclos e promovendo a economia circular.

Em suma, o caminho para a sustentabilidade na construção está pavimentando pela inovação material e pela gestão eficiente de recursos. As distorções ambientais e edilícias observadas nas cidades, resultantes de práticas não sustentáveis, deverão ser gradativamente corrigidas por meio da adoção de tais alternativas e da aplicação de metodologias de escolha conscientes. A incorporação de materiais naturais e de baixo impacto, como Terra Crua, o Adobe e o Bambu, não é apenas uma tendência, mas uma necessidade imperativa para alcançar o equilíbrio ecológico e sustentável nas áreas urbanas e na indústria como um todo.

REFERÊNCIAS

AGENDA 21 for sustainable construction in developing couties. 2002.

ARQUITETANDO SUSTENTABILIDADE. **Arquitetura de bambu**. Disponível em: http://arquitetandosustentabilidade.blogspot.com.br/2012/03/arquitetura-de-bambu.html>. Acesso em: 3 maio. 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Caderno de instrução ci 10-7/1:** logística de subsistência. Terrestres, e. B. -C. D. O. Brasília-DF: Ministério Da Defesa, 2005. 47p.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **COP 20 avança no compromisso com metas de redução de emissões de gases estufa.** Brasil, 2014. Disponível em: http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/meio-ambiente/479457-cop-20-avanca-no-compromisso-com-metas-de-reducao-de-emissoes-de-gases-estufa.html>. Acesso em: 3 maio. 2025

ECODOMUSBRASIL WORDPRESS. **Conceitos.** Disponível em: <https://ecodomusbrasil.wordpress.com/about/>. Acesso em: 05 maio. 2025

EWLKINGTON, J. **Sustentabilidade:** canibais com garfos e faca. São Paulo. M. Books. 2012

GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C. S.; PACIORNIK, S. (2003). **Bamboo: Functionally Granded Composited Material.** Asian Engineering (Building and housing), Irã, v. 4, n. 1, p. 1 – 10, 2003

GHAVAMI, K. **Bambu, Um Material Alternativo na Engenharia.** Revista Engenharia. Construção Civil. Pesquisa Engenho. Editora Técnica Ltda, São Paulo, No. 492. P. 23 – 27, 1992.

GUILLAUD Hubert; HOUBEN Hugo. **Traité de construction em terre.** Marseille; Editions Parenthéses, 1989.

HOUTER, K.; KIFFMEYER, D. **Earthbag Building: the tools, tricks and techniques.** Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 2004. 257 p.

JACOBI, P. **Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade.** Universidade de São Paulo/USP, 2003.

MATOS, A. C. **Uso da terra crua em blocos de terra compactada.** Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia). Universidade Federal Rural do Semiarido/UFERSA. 2012.

NOCTULACHANNEL. **Porquê arquitetura de terra?.** Disponível em: <http:noctulachannel.com/arquitetura--de-terra-/>. Acesso em: 10 maio. 2025

NEVES, C.; FARIA, O.B. **Técnicas de construção com terra.** Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA: 19 P. 2011.

SCHROEDER, H.; RÖHLEN, U.; VOLHARD, F. Ther German Standards for Building with Earth. In: INTERNATIO-

NAL SYMPOSIUM ON EARTH STRUCTURES, INDIAN INSTITUTE OF SCIENCE, BANGALORE Bangalore, 2007. De 22 a 24 de agosto. P. 185 – 190.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção.** 2. ed. Portugal. TecMinho, 2010.

CONSTRUÇÃO ENXUTA (LEAN CONSTRUCTION) COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E AUMENTO DA PRODUTIVIDADE

LEAN CONSTRUCTION AS A STRATEGY FOR WASTE REDUCTION AND PRODUCTIVITY IMPROVEMENT

Thiago Augusto Almeida Monteiro
Ronaldo de Jesus Barros
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

12

Pascal
Editora

RESUMO

O presente trabalho aborda a aplicação da metodologia *Lean Construction* como estratégia para aumentar a produtividade e reduzir desperdícios na construção civil, analisando seus fundamentos, ferramentas e impactos nos processos construtivos. O objetivo central consistiu em compreender como a abordagem da produção enxuta pode melhorar a eficiência, a confiabilidade e a organização das obras, a partir da revisão da literatura recente. A pesquisa adotou caráter qualitativo e descritivo, baseada em análise crítica de artigos, livros e dissertações publicados entre 2015 e 2025, permitindo consolidar informações atualizadas sobre conceitos, práticas e resultados da *Lean Construction*. A investigação evidenciou que a aplicação de ferramentas como *Last Planner System*, planejamento visual, produção puxada, *Takt* Planning, pré-fabricação e integração com tecnologias digitais favorece a redução de retrabalhos, otimiza o uso de recursos materiais e humanos e promove maior previsibilidade nas atividades do canteiro. Também foram identificados desafios relevantes, incluindo resistência cultural, limitações contratuais, baixa maturidade digital e necessidade de capacitação contínua, que influenciam a eficácia da metodologia. Conclui-se que, quando adequadamente implementada e adaptada ao contexto específico de cada obra, a *Lean Construction* contribui significativamente para a melhoria da eficiência, produtividade e sustentabilidade dos processos construtivos, oferecendo subsídios para práticas mais organizadas, confiáveis e alinhadas às demandas contemporâneas da construção civil.

Palavras-chave: *Lean Construction*. Construção Enxuta. Gestão de Obras. Produtividade na Construção Civil. Redução de Desperdícios.

ABSTRACT

This paper addresses the application of the Lean Construction methodology as a strategy to increase productivity and reduce waste in the construction industry, analyzing its principles, tools, and impacts on construction processes. The main objective was to understand how the lean production approach can enhance efficiency, reliability, and organization in construction projects, based on a review of recent literature. The research adopted a qualitative and descriptive character, relying on critical analysis of articles, books, and dissertations published between 2015 and 2025, allowing for the consolidation of updated information about Lean Construction concepts, practices, and outcomes. The study highlighted that the implementation of tools such as the Last Planner System, visual planning, pull production, Takt Planning, prefabrication, and integration with digital technologies promotes reduced rework, optimizes the use of material and human resources, and increases the predictability of site activities. Relevant challenges were also identified, including cultural resistance, contractual limitations, low digital maturity, and the need for continuous training, all of which influence the effectiveness of the methodology. It is concluded that, when properly implemented and adapted to the specific context of each project, Lean Construction significantly contributes to improving the efficiency, productivity, and sustainability of construction processes, providing support for more organized, reliable practices aligned with contemporary demands in the construction industry.

Keywords: Lean Construction. Lean Building. Construction Management. Productivity in the Construction Industry. Waste Reduction.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil representou um dos setores mais importantes para o desenvolvimento econômico e social, mas apresentou, historicamente, elevados índices de desperdícios de materiais, mão de obra e tempo, como já discutido em estudos recentes. Essa realidade comprometeu a produtividade e aumentou os custos de produção, tornando os processos construtivos menos eficientes e mais suscetíveis a falhas de planejamento e execução. Além disso, a imprevisibilidade dos prazos e a reincidência de retrabalhos ampliaram os desafios relacionados à competitividade do setor no mercado global.

Nesse cenário, tornou-se necessário o emprego de metodologias que promovessem maior racionalidade no uso dos recursos e que possibilitassem a elevação da produtividade das equipes. A metodologia *Lean Construction* surgiu como alternativa inovadora, ao adaptar os princípios da produção enxuta à construção civil, com foco na eliminação de atividades que não agregassem valor, na redução da variabilidade e na otimização do fluxo de trabalho. Assim, a adoção dessa abordagem contribuiu para a melhoria dos processos construtivos e para a transformação da gestão de obras em diferentes contextos organizacionais.

A justificativa para este estudo esteve diretamente relacionada ao desafio recorrente de elevar a produtividade e, ao mesmo tempo, reduzir os desperdícios presentes nos canteiros de obra. A análise da literatura recente mostrou que, embora o *Lean Construction* tenha se consolidado como estratégia eficaz para aumentar a confiabilidade da execução e aprimorar a qualidade das entregas, ainda persistiram limitações em sua implementação, especialmente no que diz respeito a aspectos culturais, contratuais e de capacitação técnica. Dessa forma, a realização desta pesquisa buscou contribuir para ampliar a compreensão dos impactos e dos obstáculos que cercam a aplicação dessa metodologia.

O problema de pesquisa estruturou-se a partir da seguinte questão: de que maneira a aplicação do *Lean Construction* poderia auxiliar na redução de desperdícios, no aumento da produtividade e na melhoria da eficiência dos processos na construção civil? Essa indagação orientou a análise dos estudos levantados, permitindo identificar tanto os avanços obtidos com a adoção das ferramentas *Lean* quanto os entraves que dificultaram sua plena efetividade no setor.

Diante disso, o objetivo geral da investigação consistiu em compreender como a metodologia *Lean Construction* poderia contribuir para a redução de desperdícios, a elevação da produtividade e a eficiência das obras, a partir da revisão de literatura. Como desdobramento, os objetivos específicos foram: descrever os fundamentos conceituais do *Lean Construction* e sua adaptação ao setor da construção civil; identificar as principais ferramentas associadas a essa metodologia e seus potenciais de aplicação; analisar, a partir da literatura, os impactos da adoção do *Lean Construction* em obras reais; e discutir os desafios e limitações identificados em diferentes contextos organizacionais.

Assim, a revisão da literatura permitiu aprofundar o conhecimento teórico sobre o tema, ao mesmo tempo em que evidenciou contribuições práticas relevantes para a gestão de obras. Esse levantamento possibilitou identificar estratégias e caminhos que podem favorecer a adoção de práticas mais eficientes e confiáveis na construção civil, reforçando a importância do *Lean Construction* como ferramenta de aprimoramento dos processos construtivos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e descritivo, com o propósito de reunir e analisar produções acadêmicas relevantes acerca da aplicação do Lean Construction na construção civil. Foram selecionados estudos publicados entre 2015 e 2025, assegurando que a análise contemplasse discussões recentes e atualizadas sobre o tema. Para a inclusão, consideraram-se artigos científicos, dissertações e livros que apresentassem fundamentação teórica consistente, abordando conceitos, princípios, práticas e impactos da Construção Enxuta na produtividade e na redução de desperdícios em obras. Foram excluídos materiais como resumos, primeiras impressões, artigos de revisão e publicações sem análise crítica aprofundada.

As buscas foram realizadas em bases de dados reconhecidas, como SciELO, Google Acadêmico, Periódicos CAPES, além de bibliotecas físicas e digitais especializadas em Engenharia Civil. Para orientar as consultas, foram utilizados os descritores "*Lean Construction*", "Construção Enxuta", "Gestão de Obras", "Produtividade na Construção Civil" e "Redução de Desperdícios". O material selecionado foi examinado de forma crítica, permitindo identificar convergências, lacunas e tendências na literatura, fornecendo subsídios para a compreensão dos efeitos da metodologia Lean Construction sobre a eficiência e a produtividade em canteiros de obra.

2.2 Resultados e Discussão

A produção enxuta, também conhecida como *Lean Construction* surgiu como uma evolução dos princípios do Sistema Toyota de Produção, trazendo para a construção civil uma abordagem que valoriza a eficiência, a eliminação de desperdícios e a melhoria contínua. No contexto brasileiro, Campos e Azevedo (2021) apontam que a metodologia enfrenta desafios específicos, como a necessidade de adaptar práticas consolidadas internacionalmente à realidade local das obras, que incluem variabilidade de processos, recursos limitados e diferentes níveis de maturidade organizacional.

Araújo *et al*. (2023) ressaltam que a adaptação da *Lean Construction* exige atenção especial à capacitação da mão de obra, à coordenação entre equipes e ao planejamento colaborativo. Segundo os autores, práticas como o *Last Planner System* contribuem para organizar melhor o fluxo de trabalho, reduzir retrabalhos e aumentar a confiabilidade na execução das atividades, promovendo resultados mais consistentes mesmo em cenários complexos.

Sousa, Campos e Maciel (2020) reforçam que, quando bem aplicada, a *Lean Construction* pode gerar impactos positivos significativos, como aumento da produtividade e redução de desperdícios, mas isso depende de um engajamento real das equipes e de uma cultura organizacional que compreenda e valorize os princípios da metodologia. Assim, observa-se que a implementação efetiva não se limita a seguir etapas mecânicas, mas envolve a transformação da forma como processos, pessoas e recursos interagem no ambiente da construção.

Portanto, a aplicação da *Lean Construction* no Brasil exige um equilíbrio entre os conceitos universais da metodologia e as especificidades locais, como logística, clima, características da mão de obra e práticas de gestão. É esse equilíbrio que possibilita extrair o máximo valor da abordagem, tornando os processos construtivos mais eficientes e alinhados

às demandas atuais do setor (Marroquim, 2024). A Figura 1 apresenta uma síntese dos princípios fundamentais do *Lean Construction* sob a perspectiva de Dantas, Marco e Florian (2024), que destacam a interdependência entre os conceitos, indicando que a eficiência produtiva não depende de um único fator isolado, mas sim da integração de diferentes estratégias.

Figura 1. Princípios fundamentais do *Lean Construction*

Fonte: Dantas, Marco e Florian (2024)

Entre os elementos destacados, observa-se a ênfase em minimizar desperdícios de tempo, esforço e recursos, além da necessidade de eliminar retrabalhos, práticas que comprometem tanto o custo quanto a qualidade final dos empreendimentos. Dantas, Marco e Florian (2024) também ressaltam a importância de aumentar a produtividade e a segurança, dois aspectos diretamente ligados à confiabilidade das entregas e à sustentabilidade dos processos construtivos.

Outros princípios representados são a produção puxada e o *just-in-time*, que visam adequar o ritmo da obra à demanda real, evitando estoques excessivos e promovendo maior fluidez no canteiro. Além disso, há os objetivos de reduzir custos e estoques, associados à gestão racional de materiais e à busca pela eficiência econômica. Por fim, o destaque para a industrialização sinaliza a relevância da padronização e da pré-fabricação como meios de elevar a qualidade e reduzir variabilidades (Dantas, Marco e Florian, 2024).

Conforme ressaltam Dantas, Marco e Florian (2024), a representação esquemática dos princípios do *Lean* evidencia não apenas os objetivos estratégicos do método, mas também o caráter sistêmico da sua aplicação, em que cada princípio reforça os demais. Dessa forma, esses autores contribuem para a compreensão integrada das diretrizes do *Lean Construction* e de como sua adoção pode impactar positivamente a produtividade e a sustentabilidade no setor da construção civil.

A aplicação do *Lean Construction* na construção civil fundamenta-se na geração de valor por meio da otimização dos processos produtivos. Conforme destacam Garcés e Peña (2023), essa abordagem busca reduzir os prazos de entrega e integrar ferramentas capazes de agregar valor em todas as fases do projeto. Para Jesus (2023), a eliminação de perdas no

fluxo de trabalho, aliada à integração entre gestão de mão de obra e suprimento de materiais, garante maior qualidade e eficiência, sendo o fluxo contínuo e coordenado a base para atender às expectativas do cliente.

A origem conceitual do *Lean Construction* está diretamente relacionada ao *Lean Manufacturing*. De acordo com Lima (2023), a adaptação dos princípios da manufatura enxuta para a construção civil trouxe fundamentos essenciais, como a redução da variabilidade, a diminuição do tempo de ciclo e o equilíbrio entre fluxo e transformação. Nesse sentido, a proposta metodológica representa uma alternativa eficaz diante dos elevados índices de desperdício do setor. Costa *et al*. (2023) ressaltam que entre 30% e 40% dos recursos aplicados em obras podem ser desperdiçados, mas técnicas associadas ao *Lean* podem contribuir para reduzir significativamente essas perdas.

Entre os principais tipos de desperdício, Bassani e Piran (2023) apontam a superprodução, os tempos de espera, o transporte, o excesso de processamento, os estoques, as movimentações desnecessárias e os defeitos. Para Silva e Paiva (2017), a superprodução acontece quando se produz além da demanda real ou em momentos inoportunos, gerando inatividade subsequente. Ainda segundo os autores, o excesso de processamento corresponde a etapas que não agregam valor ao produto e que podem ser simplificadas. Bassani e Piran (2023) complementam que o transporte inadequado de materiais, pessoas e informações resulta em desperdício de tempo, capital e combustível.

Outro aspecto relevante é o impacto do estoque e das movimentações improdutivas. Estoques excessivos comprometem o capital de giro e elevam os custos de armazenagem, enquanto movimentações desnecessárias de operários ou equipamentos também representam perdas significativas (Camargo *et al*., 2024). Silva e Paiva (2017) observam que os desperdícios estão interconectados, de modo que a mitigação de um pode reduzir os impactos dos demais, evidenciando a importância de uma abordagem integrada na busca por eficiência.

Para Koskela *et al.* (2019), os princípios do *Lean Construction* mantêm como eixo central a maximização do valor ao cliente e a redução de desperdícios de tempo, recursos e esforço. A estratégia consiste em manter o fluxo de produção contínuo, ajustado à demanda real, o que fortalece a confiabilidade das entregas e amplia a competitividade do setor da construção civil.

A adoção das ferramentas do *Lean Construction* tem sido amplamente estudada em contextos diversos, o que permite identificar padrões de eficácia e condicionantes locais. Internacionalmente, pesquisadores como Ballard e Tommelein (2016) a respeito do *Last Planner System* (LPS); Sacks, Korb e Barak (2017), a respeito da integração *Building Information Modeling* (BIM) e *Lean*; e Alarcón *et al*. (2023), sobre a adaptação de práticas Lean a obras complexas. Essa amostra de autores demonstra que a combinação de métodos operacionais e instrumentos digitais potencializa os ganhos de produtividade e previsibilidade.

Ballard e Tommelein (2016) reforçam que o LPS atua como um mecanismo de coordenação que transforma incerteza em compromisso, ao subdividir o planejamento em níveis (mestre, médio e curto prazo) e responsabilizar as equipes por atividades específicas. Segundo esses autores O LPS, quando articulado a práticas de gestão visual e controle de restrições, reduz variabilidade e retrabalho. Em ambientes onde o uso de tecnologia é avançado, Sacks, Korb e Barak (2017) demonstram ganhos adicionais quando o LPS é integrado ao BIM, pois a modelagem compartilha informação sobre o sequenciamento e permite detectar colisões e conflitos antes da execução.

Alarcón *et al*. (2023) relatam que, em projetos complexos, a combinação de *takt plan-*

ning (ritmo de produção regularizado), pré-fabricação e produção puxada pode reduzir significativas variações de produtividade. Experiências em países com forte cultura industrial indicam que a industrialização do processo (painéis pré-fabricados, sistemas modulares) e o planejamento baseado em ritmo (*takt*) aumentam a previsibilidade e reduzem desperdícios associados a mão de obra e tempos de espera.

No Brasil, estudos recentes apresentam evidências convergentes: práticas como planejamento visual, 5S, *checklists*, controle de estoques e *Last Planner* têm mostrado resultados promissores quando adaptadas à realidade das empresas locais. Entretanto, a literatura nacional também aponta desafios específicos como resistência cultural, estruturas contratuais que não estimulam parcerias e baixa maturidade digital, que limitam a plena exploração do potencial de integração entre *Lean* e tecnologias como o BIM (Góes *et al*., 2021; Morais e Rodrigues, 2024; Andrade *et al*., 2022).

Em suma, a experiência internacional indica que ferramentas tradicionais do *Lean* ganham eficácia quando complementadas por práticas de industrialização, digitalização e gestão por ritmo. No contexto brasileiro, a adaptação dessas ferramentas deve considerar condicionantes contratuais, capacitação da mão de obra e investimentos em comunicação e tecnologia para que os benefícios sejam sustentáveis.

O Quadro 1, apresenta as principais ferramentas e técnicas associadas ao *Lean Construction*, detalhando suas aplicações típicas nos processos construtivos, as vantagens que proporcionam e os desafios enfrentados para sua implementação. Ele permite visualizar de forma sintetizada como cada ferramenta contribui para a eficiência, a redução de desperdícios e a melhoria da gestão no canteiro de obras, bem como os aspectos que requerem atenção para garantir sua efetividade.

Ferramenta/ Técnica	**Aplicações típicas nos processos construtivos**	**Vantagens principais**	**Desafios para implementação**
Last Planner System (LPS)	Planejamento a curto prazo, sincronização de tarefas, controle de restrições	Maior confiabilidade do cronograma; redução de retrabalhos.	Requer comprometimento das equipes e cultura de responsabilização.
Planejamento Visual (painéis, quadros)	Comunicação no canteiro, acompanhamento de fluxos e metas diárias	Transparência; resposta mais rápida a desvios.	Manutenção da disciplina de atualização; integração com sistemas digitais.
5S	Organização do ambiente de trabalho e canteiro	Melhora ergonomia, segurança e eficiência operacional.	Sustentação do hábito ao longo do tempo; supervisão contínua.
Takt Planning/ Produção por ritmo	Obras com sequências repetitivas (fachadas, módulos)	Fluxo previsível; facilita pré-fabricação.	Requer análise detalhada de ciclo e cadências compatíveis.
Produção puxada/ *Just-in-Time*	Suprimento de material e entrega alinhada ao consumo	Redução de estoques e imobilização de capital.	Logística alinhada; fornecedores confiáveis; riscos de atraso.
Industrialização/ Pré-fabricação	Painéis, módulos, componentes padronizados	Redução de retrabalho; melhor qualidade e produtividade.	Investimento inicial; desenho para montagem e logística de transporte.
Integração BIM e *Lean*	Coordenação projeto-execução, detecção precoce de conflitos	Melhora tomada de decisão; suporte ao sequenciamento.	Interoperabilidade, custos de implantação e capacitação.

Checklists e inspeções sistemáticas	Controle de qualidade em etapas críticas	Menor incidência de não conformidades; documentação clara.	Consistência na aplicação; resistência à formalização.
Kaizen/ Melhoria contínua	Pequenas melhorias incrementais no canteiro	Engajamento da equipe; melhoria constante de processos.	Cultura que dê voz a operários e registro de lições aprendidas.

Quadro 1. Principais ferramentas e técnicas e ferramentas de *Lean Construction*

Fonte: Ballard e Tommelein (2016); Sacks, Korb e Barak (2017); Alarcón *et al*. (2023); Góes *et al*. (2021); Morais e Rodrigues (2024) e Andrade *et al*. (2022).

Antes de implementar ferramentas, é fundamental realizar um diagnóstico inicial, com mapeamento do fluxo de valor e identificação de restrições críticas no canteiro (Morais e Rodrigues, 2024). Em seguida, recomenda-se testar o *Last Planner System* (LPS) e painéis visuais em zonas piloto da obra, avaliando os ganhos e as barreiras de adoção. Sempre que possível, a integração do LPS a sistemas digitais, como BIM ou *softwares* de gestão, contribui para reduzir falhas de comunicação e gerar indicadores de desempenho (Sacks; Korb; Barak, 2017).

Paralelamente, deve-se promover capacitação e mudança cultural por meio de treinamentos práticos, focando em responsabilidades, comunicação e uso de *checklists*, condição essencial para a sustentabilidade das práticas (Góes *et al*., 2021). Por fim, o ajuste contratual é recomendado, com revisão de cláusulas que incentivem a colaboração e compartilhem riscos e ganhos, facilitando a adoção de práticas *pull* e de planejamento cooperativo.

A literatura relata os impactos da adoção do *Lean Construction* na construção civil. A aplicação dessa metodologia nos canteiros de obras tem demonstrado impactos diretos na produtividade e eficiência dos processos construtivos. A utilização do *Last Planner System*, por exemplo, aumenta a confiabilidade do cronograma e reduz atrasos, uma vez que promove planejamento colaborativo e compromissos semanais realistas das equipes de produção. Isso resulta em menor variabilidade na execução das tarefas e maior previsibilidade na entrega de serviços (Ballard; Tommelein, 2016).

Outro ganho recorrente é a redução de desperdícios de materiais. O uso de ferramentas como o *Value Stream Mapping* (VSM) permite identificar gargalos no fluxo logístico do canteiro, eliminando movimentações desnecessárias de insumos e diminuindo custos com transporte interno e estocagem. Estudos em obras residenciais e de infraestrutura no Brasil indicam que a aplicação de práticas de produção puxada e *just-in-time* reduz o volume de estoque intermediário e melhora o uso do espaço de canteiro, aumentando a segurança e a organização (Morato, 2023; Camargo *et al*., 2024).

A integração de *Lean* e BIM potencializa a coordenação de atividades críticas, como o sequenciamento de concretagens, instalações prediais e acabamentos. O BIM antecipa interferências e fornece informações detalhadas para o canteiro, enquanto o *Lean* disciplina o fluxo de execução, o que reduz retrabalhos, acelera prazos e melhora o aproveitamento da mão de obra (Sacks; Korb; Barak, 2017). No Brasil, pesquisas de campo comprovam que essa integração aumenta a produtividade em etapas repetitivas, como alvenaria e revestimentos (Góes *et al*., 2021).

Apesar dos benefícios, a literatura também registra desafios relevantes que condicionam os resultados da adoção do Lean Construction. Entre os obstáculos mais citados estão: (i) resistência cultural e comportamental dos trabalhadores e gestores; (ii) modelos contratuais que não favorecem a colaboração nem o compartilhamento de riscos; (iii)

baixa maturidade digital e interoperabilidade entre sistemas; e (iv) falta de capacitação técnica continuada para executar e sustentar práticas Lean no canteiro. Esses pontos aparecem em estudos nacionais e internacionais como barreiras recorrentes à difusão efetiva do Lean (Ballard; Tommelein, 2016; Góes *et al*., 2021; Morais; Rodrigues, 2024).

Outro limite documentado relaciona-se à escala e à tipologia dos projetos: obras com alta variabilidade de tarefas, condições climáticas adversas ou com forte customização tendem a encontrar maiores dificuldades para a padronização necessária ao *takt planning* e à pré-fabricação; por sua vez, empreendimentos repetitivos (por exemplo, módulos e fachadas padronizadas) apresentam maior potencial de sucesso com ritmo produtivo e industrialização. A literatura recomenda, portanto, adaptações e combinações de ferramentas em função do perfil do projeto (Baladrón; Alarcón, 2017).

Limitações metodológicas dos próprios estudos também aparecem como fator a considerar: muitas pesquisas são estudos de caso ou relatos de implementação com horizonte temporal curto, o que dificulta avaliar a sustentabilidade dos ganhos ao longo do ciclo de vida da obra. Pesquisadores brasileiros e internacionais sugerem abordagens longitudinais e medições padronizadas de produtividade e desperdício para gerar evidências mais robustas (Góes *et al*., 2021; Morais; Rodrigues, 2024).

Por fim, a literatura aponta caminhos para mitigar os desafios: (a) promoção de pilotos controlados com indicadores claros; (b) investimento em capacitação e formação prática *in-company*; (c) revisão de contratos para incentivar colaboração; e (d) adoção gradual de tecnologias interoperáveis, medidas cuja combinação potencializa resultados e reduz riscos de retrocesso (Ballard; Tommelein, 2016; Sacks; Korb; Barak, 2017; Morais; Rodrigues, 2024).

3 CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu compreender que a metodologia *Lean Construction* representa uma abordagem eficaz para reduzir desperdícios, aumentar a produtividade e melhorar a eficiência dos processos construtivos na construção civil. Os objetivos propostos foram alcançados, uma vez que foi possível identificar os fundamentos conceituais da produção enxuta, descrever suas principais ferramentas e analisar os impactos de sua aplicação nos canteiros de obra. A pesquisa demonstrou que práticas como planejamento colaborativo, produção puxada, pré-fabricação e integração com tecnologias digitais favorecem a otimização do fluxo de trabalho, promovendo maior organização, confiabilidade e aproveitamento de recursos, além de reduzir retrabalhos e desperdícios de materiais.

O problema de pesquisa, que questionava de que maneira o *Lean Construction* poderia contribuir para a melhoria da eficiência e produtividade, encontrou resposta na análise consolidada da literatura. Observou-se que a implementação bem-sucedida da metodologia depende não apenas da aplicação de ferramentas e técnicas específicas, mas também de fatores organizacionais, culturais e de capacitação das equipes. Os desafios encontrados incluem resistência à mudança, limitações contratuais, baixa maturidade digital e a necessidade de investimentos em treinamento, elementos que influenciam diretamente a eficácia das práticas Lean e requerem atenção contínua das organizações.

Por fim, o estudo evidenciou que a adoção do *Lean Construction* exige adaptação às condições específicas de cada obra, considerando características do projeto, logística, ritmo de produção e nível de industrialização. Como recomendação, sugere-se a realização de pesquisas futuras que explorem experiências práticas de implementação em diferen-

tes contextos, incluindo medições longitudinais de produtividade e sustentabilidade dos ganhos, bem como o desenvolvimento de modelos de integração entre *Lean* e tecnologias digitais que potencializem os resultados e incentivem a transformação cultural nas empresas do setor.

REFERÊNCIAS

ALARCÓN, Luis F. *et al*. Lean Methodologies and Productivity in Mining Development – A Case in a Public Company. **Revista ingeniería de construcción**, v. 38, n. Special Issue, 2023.

ANDRADE, Pedro Artur Fernandes Lino. *et al*. Lean construction na construção civil durante a pandemia: uma revisão sistemática. **Revista ADMPG**, v. 12, n. 1, 2022.

ARAÚJO, Carlos Henrique. *et al*. Lean construction: perspectivas no âmbito da construção civil brasileira. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 2, p. 2545-2561, 2023.

BALADRÓN, Cristóbal; ALARCÓN, Luis F. Assessing the impact of lean methods in mining development projects. *In*: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP, 25., 2017, Heraklion. **Anais**... Heraklion: IGLC,2017.

BALLARD, Glenn; TOMMELEIN, Iris. Current process benchmark for the last planner system. **Lean construction journal**, v. 89, p. 57-89, 2016.

BASSANI, Leonardo Debarba; PIRAN, Fabio Antônio Sartori. Aplicação do princípio Lean Construction e teoria das restrições para reduzir desperdícios em uma cadeia de suprimentos na construção civil. **Revista Produção Online**, v. 22, n. 2, p. 2966-2993, 2022.

CAMARGO, João Vinícius Grama. *et al*. Lean construction na construtora x: um estudo de caso sobre a eliminação de desperdícios e aumento da produtividade. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 10, n. 4, p. 241-256, 2024.

CAMPOS, Tiago Vilela; AZEVEDO, Rogério Cabral de. A metodologia lean e a indústria da construção civil: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Produção Online**, v. 21, n. 2, p. 437-455, 2021.

COSTA, Jonas Leite; HAMZAGIC, Miroslava; CARDOZO, Urânia Tuan. Capacitação em Lean Construction: Uma análise sistemática da literatura. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 42, 2023.

DANTAS, Paulo Henrique de Oliveira; MARCO, Gerson de; FLORIAN, Fabiana. Aplicação de ferramenta de análise lean construction na construção enxuta. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 5, n. 1, p. e516066-e516066, 2024.

GARCÉS, G.; PEÑA, C. A review on lean construction for construction project management. **Revista ingeniería de construcción**, v. 38, n. 1, 2023.

GÓES, Matheus Barreto de. *et al*. Impactos da implementação da metodologia lean construction no Brasil. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 9, n. 16, p. 06–25, 2021.

JESUS, Sealtiel dos Santos de. **A importância do conhecimento e utilização do conceito Lean na indústria da construção**. 2023. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Centro Universidade Internacional, [*s.l.*], 2023.

KOSKELA, Lauri. *et al*. Epistemological explanation of lean construction. **Journal of construction engineering and management**, v. 145, n. 2, p. 04018131, 2019.

LIMA, Firmino Eugênio Campos. **Soluções práticas na implementação de Lean Construction em estaleiros de construção: Estudo de caso**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção) – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2023.

MARROQUIM, Bianca Silva. **Estudo da arte da metodologia Lean Construction no Brasil**. 2024. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024.

MORAIS, E. P.; RODRIGUES, P. B. F. **Aplicação de ferramentas da Lean construction na gestão da qualidade**. 2024. 12 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2024.

MORATO, Maria Luiza. **Aplicação do Value Stream Mapping para redução de perdas e desperdícios na**

indústria da construção: uma revisão sistemática da literatura. 2023. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Preto, 2023.

SACKS, Rafael; KORB, Samuel; BARAK, Ronen. **Building lean, building BIM: improving construction the Tidhar way**. 1. ed. Londres: Routledge, 2017. 420 p.

SILVA, Raíssa Borges; PAIVA, Thaynnan Patryck Duarte Araújo. **A Aplicação do Método Lean Construction na Construção Civil**. 2017. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2017.

SOUSA, Matheus Gomes Soares de; CAMPOS, Vanessa Ribeiro; MACIEL, Francisco Wandisley Freitas. Análise da influência dos princípios Lean na produtividade da mão-de-obra da construção civil: uma revisão da literatura. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre, RS. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE PAVIMENTOS RÍGIDOS E FLEXÍVEIS

LIFE CYCLE ANALYSIS OF RIGID AND FLEXIBLE PAVEMENTS

Rafael Humberto Borgneth Batista
José Hélio Oliveira Santos Sobrinho

13

Pascal
Editora

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo analisar o ciclo de vida dos pavimentos rígidos e flexíveis, buscando identificar qual tipo se mostrou mais viável economicamente para aplicação em obras de infraestrutura viária. O estudo abordou a importância de considerar, além do custo inicial, fatores como durabilidade, manutenção, impactos ambientais e sociais. Para isso, foi utilizada a metodologia de revisão bibliográfica, com base em publicações recentes que discutiram comparativamente os dois sistemas de pavimentação. A análise dos resultados evidenciou que o pavimento rígido, embora apresente custo inicial mais elevado, demonstrou maior durabilidade, menor necessidade de manutenção e desempenho mais eficiente em horizontes de longo prazo e em rodovias de tráfego intenso. O pavimento flexível, por sua vez, destacou-se pela facilidade de execução e menor investimento inicial, sendo mais adequado a vias de baixo tráfego e orçamentos reduzidos. Constatou-se que a análise do ciclo de vida é essencial para o processo de tomada de decisão, pois permite avaliar os custos totais e os impactos ambientais de forma integrada. O estudo reforça a importância de análises técnicas aprofundadas e contextualizadas, recomendando que pesquisas futuras explorem dados práticos e a aplicação de tecnologias sustentáveis na pavimentação.

Palavras-chave: Durabilidade. Manutenção. Sustentabilidade. Infraestrutura. Viabilidade.

ABSTRACT

The present study aimed to analyze the life cycle of rigid and flexible pavements in order to identify which type proves more economically viable for application in road infrastructure projects. The research emphasized the importance of considering not only initial cost but also factors such as durability, maintenance, and environmental and social impacts. A bibliographic review methodology was adopted, based on recent publications that comparatively discussed both pavement systems. The analysis showed that rigid pavement, although presenting a higher initial cost, offers greater durability, lower maintenance requirements, and more efficient long-term performance, especially on highways with heavy traffic. Flexible pavement, in turn, stood out for its ease of construction and lower initial investment, being more suitable for low-traffic roads and projects with limited budgets. The study concluded that life-cycle analysis is essential for decision-making, as it enables an integrated evaluation of total costs and environmental impacts. It reinforces the need for in-depth and context-based technical assessments, recommending that future research explore practical data and the application of sustainable technologies in pavement engineering.

Keywords: Durability. Maintenance. Sustainability. Infrastructure. Feasibility.

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura viária desempenha papel estratégico no desenvolvimento econômico e social, sendo responsável por assegurar a mobilidade de pessoas e mercadorias, além de influenciar diretamente a competitividade regional. Nesse contexto, a escolha do tipo de pavimento constitui decisão técnica relevante, pois impacta não apenas os custos de implantação, mas também a durabilidade, a segurança e a eficiência operacional das rodovias ao longo do tempo.

Tradicionalmente, os sistemas de pavimentação são classificados em rígidos e flexíveis, cada qual com características estruturais, construtivas e econômicas distintas. Enquanto o pavimento flexível se destaca pelo menor custo inicial e maior facilidade de execução, o pavimento rígido apresenta maior resistência estrutural e vida útil prolongada. Contudo, decisões baseadas exclusivamente no investimento inicial podem comprometer a eficiência do empreendimento, especialmente quando desconsideram aspectos como manutenção, desempenho estrutural e impactos ambientais.

Dessa forma, a análise do ciclo de vida surge como ferramenta fundamental para avaliar de maneira integrada os custos totais e os impactos associados a cada sistema de pavimentação. Ao considerar todas as etapas — da implantação à manutenção e reabilitação —, essa abordagem possibilita decisões mais assertivas, sustentáveis e economicamente racionais, especialmente em projetos de médio e longo prazo.

Assim, o presente estudo tem como objetivo geral analisar o ciclo de vida dos pavimentos rígidos e flexíveis, buscando identificar qual sistema apresenta maior viabilidade econômica e técnica para aplicação em obras de infraestrutura viária.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido por meio de uma revisão bibliográfica, caracterizada como uma pesquisa de natureza qualitativa e descritiva. O objetivo consistiu em reunir, analisar e discutir produções acadêmicas recentes que abordassem comparações entre pavimentos rígidos e flexíveis, considerando aspectos de durabilidade, custos e ciclo de vida.

A coleta de dados foi realizada em bases de dados acadêmicas de amplo acesso, tais como Google Acadêmico. Foram selecionados trabalhos publicados no período compreendido entre 2019 e 2024, de modo a contemplar estudos atualizados e que assegurasse maior assertividade.

Como critérios de inclusão, consideraram-se artigos, dissertações, teses e livros técnicos, que apresentassem análises comparativas ou discussões relacionadas ao desempenho, custo-benefício ou ciclo de vida de pavimentos rígidos e flexíveis.

A busca foi conduzida com o uso de descritores específicos relacionados ao tema, como “pavimentos rígidos e flexíveis”, “análise comparativa de pavimentos”, “ciclo de vida de pavimentos” e “custos de pavimentação”. Esses termos foram aplicados de forma combinada, de modo a ampliar o alcance da pesquisa e garantir a seleção de trabalhos relevantes.

Após a triagem inicial, os estudos foram organizados e analisados criticamente, considerando os objetivos desta pesquisa. O material coletado foi então sintetizado e discutido

à luz dos resultados apresentados pela literatura recente, de forma a oferecer uma visão abrangente sobre as vantagens e limitações de cada tipo de pavimento.

2.2 Resultados e discussão

2.2.1 Fatores gerais nas escolhas do tipo de pavimento

A revisão da literatura evidenciou que a escolha entre pavimentos rígidos e flexíveis é condicionada por múltiplos fatores, indo muito além do custo inicial de implantação. Cipriano, Lima e Silvestre (2021) destacam que critérios técnicos — como resistência estrutural, durabilidade e desempenho ao longo do ciclo de vida — devem ser avaliados conjuntamente com os aspectos econômicos e ambientais, indicando que decisões baseadas apenas no investimento inicial tendem a ser insuficientes e, muitas vezes, equivocadas.

Nesse sentido, embora diversos estudos apontem vantagens relevantes do pavimento rígido, a literatura também registra divergências importantes. Pereira (2019) enfatiza que a escolha entre rígido e flexível deve ser sempre contextualizada, considerando variáveis como clima, tipo de solo, disponibilidade de insumos e características operacionais da via. O autor destaca que a superioridade técnica do rígido não é universal, mas depende do atendimento a condições específicas de projeto e execução, o que reforça a necessidade de avaliações criteriosas e individualizadas.

Ainda assim, os estudos revisados convergem ao indicar a predominância do pavimento rígido em cenários de tráfego intenso e análises de longo prazo, contexto no qual sua maior durabilidade e menor frequência de manutenção se tornam determinantes. Contudo, como assinala novamente Pereira (2019), essa vantagem não se estende a vias de baixo tráfego ou regiões com restrições financeiras, onde o elevado custo inicial do rígido pode não se justificar frente à demanda limitada. Dessa forma, evidencia-se que a seleção do tipo de pavimento deve resultar da integração equilibrada de variáveis técnicas, econômicas e sociais, garantindo decisões mais eficientes e adequadas às particularidades de cada projeto.

2.2.2 Flexível – características, vantagens e limitações

2.2.2.1 Vantagens iniciais e contexto histórico

A preferência histórica pelo pavimento flexível no Brasil esteve associada, sobretudo, ao seu baixo custo inicial e à maior facilidade de execução. Esses fatores viabilizaram a rápida expansão da malha rodoviária em períodos marcados por restrições orçamentárias, atendendo às demandas emergenciais de infraestrutura nacional (Lima Júnior et al., 2020). Contudo, essa decisão refletiu um modelo de gestão voltado a soluções imediatistas, em que a redução do investimento inicial era priorizada em detrimento da durabilidade estrutural. Como consequência, observou-se um aumento contínuo das necessidades de manutenção, comprometendo a sustentabilidade financeira das vias no médio e longo prazo.

2.2.2.2 Comportamento estrutural e patologias

O pavimento flexível apresenta vantagens estruturais relevantes, entre elas a possibilidade de reparos localizados e a boa adaptabilidade a diferentes condições geotécnicas. Essas características contribuíram para sua ampla utilização em vias secundárias e em

regiões com menor volume de tráfego, onde sua performance costuma ser satisfatória. Entretanto, a mesma flexibilidade que favorece seu comportamento inicial o torna mais vulnerável sob tráfego pesado, condição em que o asfalto demonstra maior propensão ao surgimento de deformações permanentes, como fissuras, recalques e o afundamento em trilha de roda (Mendes; Lima, 2023). Assim, uma solução eficiente em cenários simples torna-se progressivamente onerosa em contextos mais complexos.

Além das limitações estruturais, os defeitos recorrentes no pavimento flexível impactam diretamente a qualidade do tráfego. Trincas e deformações reduzem o conforto do rolamento e aumentam os riscos de acidentes, exigindo intervenções frequentes e dispendiosas (Oliveira; Fernandes; Pacheco, 2024). Esse ciclo de degradação acelerada evidencia que o baixo custo inicial não se traduz, necessariamente, em economia ao longo do tempo; ao contrário, as constantes manutenções geram custos diretos para a administração pública e custos indiretos para os usuários.

Estudos recentes reforçam essa fragilidade em ambientes de tráfego intenso. Vello, Barreto e Pacheco (2024) demonstram que, nessas condições, a durabilidade do pavimento flexível é significativamente reduzida, exigindo intervenções de grande porte em intervalos regulares. Esse cenário, além de elevar o custo total do sistema, aumenta o tempo de interrupções no tráfego e compromete a mobilidade regional, tornando a opção pelo flexível pouco racional em corredores logísticos e vias de grande fluxo.

Outro ponto crítico identificado na literatura refere-se à segurança viária. O surgimento precoce de defeitos, como trincas mal seladas e deformações profundas, amplia a probabilidade de acidentes, sobretudo em vias de alta velocidade ou elevado volume de cargas (Mendes; Lima, 2023). Essas patologias demandam respostas rápidas por parte das equipes de manutenção; contudo, a demora na execução dos reparos — realidade comum em diversas regiões — tende a agravar os problemas, aumentando a exposição dos usuários a situações de risco. Esse conjunto de fatores acrescenta complexidade às decisões de projeto, evidenciando que o menor custo inicial do pavimento flexível pode implicar em riscos futuros não mensurados adequadamente.

2.2.2.3 Custos e desempenho econômico

As análises de horizonte estendido demonstram que, ao longo do ciclo de vida, os custos totais associados ao pavimento flexível tendem a superar os do pavimento rígido. Estudos indicam diferenças de até 20% em desfavor do flexível, resultado da alta frequência de manutenções, da necessidade de reabilitações estruturais e do desgaste acelerado em vias sujeitas a tráfego intenso (Oliveira; Fernandes; Pacheco, 2024). Dessa forma, a economia inicial frequentemente atribuída ao pavimento flexível mostra-se ilusória quando se consideram períodos de 30 a 40 anos, reforçando a importância de análises baseadas no ciclo de vida para decisões mais precisas de viabilidade econômica.

Apesar dessas limitações, o pavimento flexível mantém relevância em cenários de baixo tráfego e em municípios com recursos financeiros restritos. Nesses contextos, sua execução mais simples e o custo inicial reduzido atendem às necessidades locais, ainda que com a consciência de que sua durabilidade é significativamente menor (Mendes; Lima, 2023). Assim, a escolha pelo flexível reflete não apenas critérios técnicos, mas também condicionantes políticas e econômicas que frequentemente limitam investimentos em soluções de maior longevidade.

Outro fator de destaque refere-se à dependência econômica do pavimento flexível

em relação ao petróleo. Como o asfalto é um derivado desse recurso, oscilações no mercado internacional afetam diretamente o custo de manutenção e reabilitação das vias (Mendes; Lima, 2023). Esse elemento adiciona incerteza às análises de longo prazo e dificulta o planejamento financeiro, especialmente em países que dependem fortemente da importação de derivados de petróleo.

Além dos custos diretos, os estudos reforçam que o pavimento flexível gera impactos econômicos indiretos significativos. As constantes intervenções provocam interrupções no tráfego, elevando os custos logísticos, aumentando o tempo de deslocamento e reduzindo a competitividade de regiões que dependem das rodovias para o transporte de cargas (Santos; Balduíno, 2024). Nesse cenário, a menor necessidade de manutenção do pavimento rígido se apresenta como uma vantagem não apenas técnica, mas também socioeconômica.

Esses impactos são ainda mais evidentes em corredores logísticos estratégicos. Santos e Balduíno (2024) destacam que as frequentes manutenções necessárias no pavimento flexível resultam em custos indiretos elevados, especialmente para cadeias produtivas que dependem de regularidade e confiabilidade no transporte rodoviário. A necessidade de reparos frequentes gera interrupções totais ou parciais da via, comprometendo a fluidez do tráfego e encarecendo o deslocamento de mercadorias.

Assim, embora o pavimento flexível apresente custo inicial inferior, sua performance econômica em longo prazo revela fragilidades expressivas, tornando-o uma opção menos competitiva em vias de grande fluxo ou relevância logística, onde a previsibilidade operacional é essencial.

2.2.2.4 Impactos ambientais e sociais

A literatura demonstra que os impactos ambientais associados ao pavimento flexível são mais significativos quando analisados ao longo de todo o ciclo de vida. Embora sua implantação inicial apresente menor emissão de gases de efeito estufa quando comparada ao pavimento rígido, os benefícios ambientais se perdem devido à elevada frequência de intervenções necessárias para manter suas condições de serviço. A produção repetida de misturas asfálticas, o transporte de materiais e a execução periódica de obras demandam consumo constante de energia e recursos naturais, além de contribuir para a geração de resíduos que pressionam os sistemas de disposição final (Queiroz, 2022).

Quando considerado apenas o momento da obra, o pavimento flexível pode parecer uma alternativa ambientalmente mais vantajosa. No entanto, estudos de ciclo de vida demonstram que esse entendimento é limitado. A necessidade de manutenções recorrentes — característica inerente ao desempenho do asfalto — acumula impactos ambientais ao longo dos anos, tornando o desempenho ambiental do flexível progressivamente desfavorável. Em contraste, o pavimento rígido, embora apresente emissões iniciais mais elevadas devido à produção do cimento, tende a compensar esse impacto por meio de sua maior durabilidade e menor necessidade de intervenções (Oliveira, 2023).

Além disso, a frequência de manutenção do pavimento flexível resulta em perturbações ambientais indiretas, como o aumento do congestionamento durante obras, elevação do consumo de combustível por veículos em fila e intensificação da emissão de poluentes atmosféricos. Esses impactos se acumulam ao longo do tempo, especialmente em vias de tráfego intenso, agravando a pegada ambiental da solução asfáltica (Oliveira; Fernandes; Pacheco, 2024).

Outro ponto destacado pela literatura refere-se ao uso recorrente de insumos derivados do petróleo. A dependência do ligante asfáltico reforça não apenas vulnerabilidades econômicas, mas também impactos ambientais associados à extração, refino e transporte de derivados do petróleo (Mendes; Lima, 2023). Como cada manutenção demanda nova aplicação de material betuminoso, o pavimento flexível intensifica a exploração desses recursos, ampliando sua contribuição para impactos ambientais globais.

Segundo Santos et al. (2021), a emissão acumulada de CO_2 ao longo de um ciclo de vida de 20 anos tende a ser significativamente maior no pavimento flexível. Os autores identificam que, quando considerados fatores como manutenções periódicas, reposição de camadas superficiais e o transporte contínuo de materiais, o pavimento flexível apresenta, em média, 35% mais emissões por quilômetro do que o pavimento rígido. Esse resultado reforça a influência das demandas de manutenção na pegada de carbono das soluções asfálticas, evidenciando uma vantagem ambiental do pavimento rígido em análises de longo prazo.

Dessa forma, embora o pavimento flexível apresente vantagens ambientais pontuais na fase inicial da obra, sua menor durabilidade e a necessidade constante de intervenções fazem com que seus impactos se acumulem ao longo dos anos. Esse resultado contrasta com o pavimento rígido, cujo desempenho ambiental tende a ser mais equilibrado quando avaliado sob uma perspectiva de longo prazo e de uso racional dos recursos naturais.

2.2.3 Pavimento rígido – características, vantagens e limitações

2.2.3.1 Desempenho estrutural

O pavimento rígido apresenta desempenho estrutural amplamente superior quando comparado ao pavimento flexível, sobretudo em termos de resistência à fadiga e durabilidade. Sua principal vantagem decorre da capacidade do concreto de distribuir de maneira mais uniforme as tensões aplicadas ao longo da placa, reduzindo a concentração de esforços no subleito e diminuindo a incidência de deformações permanentes. Estudos de Cipriano, Lima e Silvestre (2021) destacam que essa característica prolonga significativamente a integridade estrutural da via, resultando em menor frequência de falhas e maior vida útil.

Esse comportamento estrutural faz do pavimento rígido uma solução especialmente indicada para rodovias de tráfego intenso e para corredores logísticos estratégicos, onde a regularidade operacional é essencial. Sua maior resistência a deformações proporciona níveis superiores de confiabilidade, reduzindo não apenas os custos diretos associados à manutenção, mas também os custos indiretos decorrentes de interrupções no tráfego e atrasos no transporte de cargas.

Além disso, a estabilidade estrutural do pavimento rígido contribui diretamente para a eficiência socioeconômica das regiões atendidas por rodovias de importância estratégica. Ao oferecer uma superfície mais resistente e menos suscetível a patologias, o pavimento rígido assegura maior previsibilidade no transporte de mercadorias e passageiros, favorecendo a competitividade econômica em áreas com forte atividade logística. Dessa forma, sua aplicação não representa apenas uma escolha técnica, mas também uma estratégia de desenvolvimento regional pautada em desempenho, durabilidade e redução de custos ao longo do ciclo de vida.

2.2.3.2 Custos e economia no ciclo de vida

Embora apresente um investimento inicial mais elevado, o pavimento rígido destaca-se pela expressiva economia ao longo de seu ciclo de vida. Estudos demonstram que, em horizontes superiores a 20 anos, sua menor necessidade de intervenções representa uma redução significativa dos custos totais, tornando essa solução mais competitiva do que o pavimento flexível em análises ampliadas (Silva; Silva, 2021). Dessa forma, evidencia-se que decisões baseadas apenas no custo inicial tendem a mascarar a real viabilidade econômica das alternativas de pavimentação, reforçando a importância de avaliações fundamentadas em períodos mais extensos.

Além da durabilidade superior, outro fator que contribui para o desempenho econômico do pavimento rígido é a maior estabilidade de preços em sua cadeia produtiva. Os principais insumos utilizados — como cimento e agregados — apresentam oferta interna mais regular e menos suscetível a variações de mercado, garantindo maior previsibilidade financeira para os gestores públicos e privados. Essa estabilidade, destacada por Oliveira, Fernandes e Pacheco (2024), reforça a atratividade do pavimento rígido em contextos de planejamento de longo prazo, nos quais a constância dos custos e a segurança orçamentária são fundamentais para a sustentabilidade dos investimentos em infraestrutura.

2.2.3.3 Segurança, logística e impacto social

O pavimento rígido demonstra maior eficiência na redução de custos sociais associados à conservação viária, principalmente devido à sua elevada durabilidade e à menor necessidade de intervenções ao longo do tempo. Essa característica garante maior fluidez ao tráfego, reduz a ocorrência de interrupções e aumenta a confiabilidade da infraestrutura rodoviária, fatores essenciais para o desempenho diário das vias (Vello; Barreto; Pacheco, 2024). Como resultado, diminuem-se as externalidades negativas sobre os usuários, fortalecendo o papel do pavimento rígido em ambientes com tráfego elevado.

Além disso, a menor frequência de manutenções se traduz em benefícios sociais diretos, como a redução do tempo de viagem, o aumento da segurança e a melhoria geral da experiência de deslocamento. Esses aspectos, embora muitas vezes negligenciados nas análises tradicionais de viabilidade, assumem importância central quando se considera o impacto das condições da via sobre a produtividade, o cotidiano dos usuários e o funcionamento adequado das regiões atendidas (Vello; Barreto; Pacheco, 2024). Assim, os ganhos socioeconômicos associados ao pavimento rígido vão além das vantagens estruturais, alcançando dimensões fundamentais da mobilidade e da qualidade de vida.

Em corredores rodoviários de grande porte e rotas destinadas ao transporte de cargas em larga escala, a confiabilidade proporcionada pelo pavimento rígido torna-se um diferencial estratégico. Sua maior resistência às deformações garante regularidade no transporte, reduz custos logísticos e melhora o desempenho de cadeias produtivas que dependem da eficiência do modal rodoviário (Vello; Barreto; Pacheco, 2024). Dessa forma, a adoção do pavimento rígido contribui não apenas para a robustez da infraestrutura, mas também para o fortalecimento da competitividade regional e da dinâmica econômica de setores que operam intensamente sobre a malha viária.

2.2.3.4 Sustentabilidade

O desempenho ambiental do pavimento rígido tem sido destacado na literatura como

um de seus principais diferenciais, especialmente quando analisado sob a perspectiva do ciclo de vida. Sua elevada durabilidade reduz significativamente a necessidade de extração, processamento e transporte de materiais ao longo dos anos, diminuindo os impactos associados ao uso contínuo de recursos naturais.

Queiroz (2022) ressalta que essa característica é capaz de compensar, em grande medida, as emissões iniciais decorrentes da produção de cimento — etapa que costuma representar o maior impacto ambiental do pavimento rígido na fase de implantação. Assim, quando considerado em horizontes mais amplos, o pavimento rígido apresenta um desempenho ambiental mais equilibrado, demonstrando que a avaliação da sustentabilidade não deve se restringir ao impacto inicial da obra, mas abranger todo o ciclo de vida da infraestrutura.

2.2.4 Comparação entre pavimento flexível e rígido

2.2.4.1 Comparação técnica

A literatura aponta que a escolha entre pavimentos rígidos e flexíveis depende de um conjunto amplo de fatores técnicos, ultrapassando a análise restrita ao custo inicial de implantação. Cipriano, Lima e Silvestre (2021) destacam que características como resistência estrutural, durabilidade, comportamento mecânico e desempenho em longo prazo devem ser avaliadas conjuntamente com condicionantes econômicos e ambientais. Dessa forma, análises simplificadas, baseadas apenas no investimento inicial, mostram-se insuficientes para orientar decisões adequadas em projetos de pavimentação, especialmente em contextos de tráfego intenso ou condições geotécnicas desafiadoras.

Do ponto de vista ambiental, também se observam diferenças marcantes entre as duas tipologias. A produção do cimento — insumo indispensável para o pavimento rígido — está associada a emissões elevadas de gases de efeito estufa durante a fase de execução. Entretanto, quando a análise é ampliada para todo o ciclo de vida, esse impacto inicial tende a ser compensado pela maior durabilidade do pavimento rígido e pela consequente redução na necessidade de manutenções ao longo dos anos. Oliveira (2023) evidencia que, ao demandar menos intervenções e consumir menos recursos naturais ao longo de sua vida útil, o pavimento rígido apresenta um desempenho ambiental mais equilibrado em horizontes prolongados. Assim, torna-se claro que a avaliação ambiental não deve se limitar ao momento da obra, mas contemplar todo o período de utilização da infraestrutura.

2.2.4.2 Comparação econômica e ambiental

Quando analisados sob a perspectiva de longo prazo, os pavimentos rígidos demonstram desempenho econômico superior ao dos pavimentos flexíveis. Estudos indicam que, em horizontes de 30 a 40 anos, os custos totais do pavimento flexível podem superar os do rígido em até 20%, resultado da combinação entre maior frequência de manutenções, necessidade de reabilitações estruturais e desgaste acelerado sob tráfego intenso (Oliveira; Fernandes; Pacheco, 2024). Dessa forma, a economia inicial frequentemente associada ao pavimento flexível se revela limitada, reforçando a importância de metodologias baseadas na análise de ciclo de vida para decisões de viabilidade técnica e financeira.

Sob a ótica ambiental, os estudos também apontam vantagens consistentes para o pavimento rígido. Autores como Queiroz (2022) e Oliveira (2023) destacam que, ao exigir menos intervenções ao longo de sua vida útil, o pavimento rígido reduz significativamen-

te o consumo de recursos naturais e de energia. Essa menor necessidade de manutenção contribui para uma pegada ambiental reduzida, compensando, em grande medida, as emissões iniciais geradas pela produção de cimento. Assim, torna-se evidente que a avaliação ambiental de soluções de pavimentação não deve se limitar à fase de implantação, mas incorporar todo o ciclo de vida da infraestrutura, reforçando a relevância dos critérios ambientais nas análises de viabilidade.

2.2.5 Execução, fiscalização e gestão de obras

A literatura destaca que a superioridade do pavimento rígido depende diretamente da qualidade técnica empregada em sua execução. Silva e Silva (2021) apontam que falhas de projeto, deficiências construtivas ou ausência de controle de qualidade podem reduzir de forma significativa a vida útil esperada, anulando os benefícios econômicos associados a essa solução. Nessas condições, defeitos precoces aproximam os custos do pavimento rígido daqueles observados no flexível, evidenciando que a viabilidade estrutural e financeira não está vinculada apenas ao tipo de material utilizado, mas ao rigor técnico adotado durante todas as etapas da obra.

Essa constatação reforça a necessidade de políticas eficazes de fiscalização, padronização de procedimentos e capacitação da mão de obra envolvida. Conforme salientam Cipriano, Lima e Silvestre (2021), a durabilidade e o desempenho econômico do pavimento rígido somente se confirmam quando os padrões técnicos são rigorosamente seguidos, demonstrando a importância de integrar práticas de engenharia, gestão e inspeção sistemática. Nesse sentido, qualquer análise de viabilidade deve considerar não apenas as características dos materiais, mas também a capacidade institucional de garantir a correta execução das camadas estruturais.

Além dos fatores técnicos e operacionais, a literatura evidencia que a escolha do tipo de pavimento também está profundamente relacionada às políticas públicas de infraestrutura. Em muitos contextos, a predominância do pavimento flexível decorreu de decisões governamentais influenciadas por restrições orçamentárias, privilegiando soluções de menor custo inicial, ainda que menos duráveis (Lima Júnior et al., 2020). Esse padrão demonstra que condicionantes políticos e financeiros desempenham papel decisivo na escolha da tipologia de pavimentação, independentemente de sua eficiência em longo prazo, revelando a necessidade de integrar critérios técnicos, econômicos e institucionais na formulação de políticas de infraestrutura.

3 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como propósito analisar o ciclo de vida dos pavimentos rígidos e flexíveis, buscando identificar qual tipo apresentou maior viabilidade econômica. Por meio da revisão bibliográfica realizada, constatou-se que os objetivos foram alcançados, uma vez que foi possível compreender as diferenças estruturais, de durabilidade, custos e impactos ambientais de cada sistema. Observou-se que a escolha do pavimento deve ser baseada em uma avaliação ampla, que considere não apenas o investimento inicial, mas também os custos de manutenção e o desempenho ao longo do tempo.

Com base na análise das pesquisas, verificou-se que o pavimento rígido demonstrou melhor desempenho técnico e maior durabilidade, apresentando-se como a alternativa mais vantajosa em horizontes de longo prazo e em rodovias de tráfego intenso. Já o pavi-

mento flexível manteve relevância em contextos de menor demanda e restrição financeira, nos quais a rapidez de execução e o custo inicial reduzido são determinantes. Assim, a viabilidade econômica de cada tipo de pavimento mostrou-se dependente das condições locais e do planejamento adequado do projeto.

O estudo também evidenciou que a análise do ciclo de vida é uma ferramenta essencial para o processo decisório, pois permite avaliar com mais precisão os impactos econômicos, ambientais e sociais associados a cada tipo de pavimentação. A abordagem integrada dos fatores de custo, durabilidade e sustentabilidade se revelou indispensável para o desenvolvimento de obras mais eficientes e responsáveis. Dessa forma, a adoção de métodos de análise baseados no ciclo de vida deve ser incentivada na engenharia civil como prática permanente de planejamento e gestão.

Como limitação, o trabalho baseou-se exclusivamente em fontes bibliográficas, não contemplando análises experimentais de campo ou medições diretas de desempenho. Recomenda-se que pesquisas futuras ampliem essa discussão por meio de estudos práticos, comparando custos reais de manutenção, emissões ambientais e durabilidade em diferentes contextos. Além disso, a incorporação de tecnologias sustentáveis nos materiais de pavimentação poderá contribuir para soluções ainda mais eficientes e economicamente equilibradas.

REFERÊNCIAS

CIPRIANO, L. F.; LIMA, R. C. S.; SILVESTRE, K. C. C. **Estudo comparativo de pavimento rígido x pavimento flexível através da análise de solo na PB 008.** Acta Scientia, v. 3, n. 2, 2021.

LIMA JUNIOR, V. N.; OLIVEIRA, V. M. S.; AIRES, R. O. S.; AQUINO, A. E. B.; ARAÚJO, F. I. S.; SANTOS, L. C.; SOUSA, R. M. L.; MELO, S. T. **Pavimento rígido e flexível: um estudo comparativo sobre o uso nas vias públicas.** Anais do Congresso Brasileiro de Jovens Pesquisadores, v. 5, n. 5, 2020. ISSN: 2526-2434. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/index.php/BJD/article/view/TR2020202965049. Acesso em: 09 out. 2024.

MENDES, A. V. S.; LIMA, H. R. **Análise comparativa da viabilidade e custo-benefício entre o pavimento flexível e o pavimento rígido.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharel em Engenharia Civil do Centro Universitário Fametro, Fortaleza, 2023.

OLIVEIRA, M. A.; FERNANDES, R. C. P.; PACHECO, R. F. R. **Análise comparativa de custos entre pavimentos rígidos e flexíveis.** Concreto & Construções, v. 113, p. 70-75, 2024.

OLIVEIRA, N. R. S. **Análise de viabilidade técnica e econômica dos sistemas de pavimentação rígida e flexível: uma revisão sistemática.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2023.

PEREIRA, M. P. C. **Análise comparativa entre pavimento rígido e pavimento flexível.** 2019. 73 f. Monografia apresentada ao Curso de Graduação do Centro Universitário Atenas, Paracatu, 2019.

QUEIROZ, L. P. **Análise comparativa de características e custo-benefício entre pavimento rígido e pavimento flexível.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022.

SANTOS, João; PEREIRA, Luís; COSTA, Marta. **Avaliação do ciclo de vida de pavimentos rodoviários.** Revista Engenharia Civil, v. 28, n. 2, p. 45–60, 2021.

SANTOS, W. B.; BALDUÍNO, Â. R. **Análise comparativa entre pavimentação rígida e flexível.** Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 10, n. 7, p. 1483-1489, jul. 2024.

SILVA, A. C. A.; SILVA, M. V. A. **A diferença entre pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos: qual melhor custo-benefício?** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à UniEVANGÉLICA, Anápolis, 2021.

VELLO, M. S.; BARRETO, T. B. Z.; PACHECO, R. F. R. **Comparativo de custos entre o pavimento rígido não armado e o pavimento flexível em CBUQ para variados níveis de tráfego.** Trabalho Final de Curso da Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Urbana do Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2024.

GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

João Guilherme Santos Torres
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

14

Pascal
Editora

RESUMO

A gestão de resíduos da construção civil é um tema de crescente importância no contexto da sustentabilidade e eficiência operacional no setor. Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica que explorasse as práticas de gestão de resíduos, identificando desafios e soluções. A pesquisa abrangeu publicações de 2019 a 2024, garantindo a atualização das informações analisadas. Os dados coletados mostraram que as práticas inadequadas de manejo de resíduos geram significativos impactos ambientais, como a contaminação do solo e da água, além de contribuírem para a degradação dos ecossistemas. Os estudos analisados evidenciaram que empresas que investem em gestão adequada de resíduos não apenas atendem à legislação vigente, mas também se destacam no mercado, melhorando sua imagem e aumentando a competitividade. Os resultados deste estudo evidenciam que a gestão de resíduos da construção civil é não apenas uma questão ambiental, mas também uma oportunidade estratégica para as empresas. A integração de boas práticas de gestão de resíduos na cultura organizacional contribui para a preservação do meio ambiente e posiciona as empresas de forma competitiva em um mercado que valoriza a sustentabilidade. Portanto, a pesquisa conclui que a implementação de práticas de gestão de resíduos é essencial para enfrentar os desafios atuais e futuros da construção civil. Investir em capacitação, promover a educação ambiental e fomentar a colaboração entre stakeholders são passos fundamentais para um desenvolvimento sustentável e eficaz no setor.

Palavras-chave: Construção Civil. Impactos. Meio Ambiente. Resíduos Sólidos.

ABSTRACT

Construction waste management is a topic of growing importance in the context of sustainability and operational efficiency in the sector. This work aimed to conduct a literature review exploring waste management practices, identifying challenges and solutions. The research covered publications from 2019 to 2024, ensuring the updating of the analyzed information. The collected data showed that inadequate waste management practices generate significant environmental impacts, such as soil and water contamination, in addition to contributing to the degradation of ecosystems. The analyzed studies showed that companies that invest in proper waste management not only comply with current legislation but also stand out in the market, improving their image and increasing competitiveness. The results of this study show that construction waste management is not only an environmental issue but also a strategic opportunity for companies. The integration of good waste management practices into the organizational culture contributes to the preservation of the environment and positions companies competitively in a market that values sustainability. Therefore, the research concludes that the implementation of waste management practices is essential to face the current and future challenges of the construction industry. Investing in training, promoting environmental education, and fostering collaboration among stakeholders are fundamental steps for sustainable and effective development in the sector.

Keywords: Construction. Impacts. Environment. Solid Waste.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades econômicas mais significativas no Brasil, responsável por uma parcela considerável do Produto Interno Bruto (PIB) e por gerar milhares de empregos. Contudo, essa atividade também é uma das principais fontes de geração de resíduos, que, se não gerenciados adequadamente, podem causar sérios impactos ambientais e sociais. Estima-se que o setor da construção civil é responsável por cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos gerados nas grandes cidades, tornando essencial a discussão sobre a gestão desses resíduos para promover a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente. Nesse contexto, as práticas de gerenciamento de resíduos da construção civil se tornam imprescindíveis para o desenvolvimento de soluções que minimizem os efeitos negativos dessa atividade.

A crescente necessidade de implementar práticas sustentáveis na construção civil se torna cada vez mais evidente, especialmente em um cenário onde a conscientização ambiental é relevante. A má gestão dos resíduos gerados não só contribui para a degradação ambiental, mas também resulta em perdas econômicas significativas e impacta a saúde pública. Diante desse panorama, é fundamental investigar quais práticas de gestão são atualmente adotadas, as barreiras enfrentadas pelas empresas e como essas dificuldades podem ser superadas.

O problema de pesquisa que se destaca neste contexto é: Quais são os principais desafios enfrentados na gestão de resíduos da construção civil e como podem ser superados para promover práticas mais sustentáveis?

O objetivo geral deste trabalho é revisar e analisar as práticas de gestão de resíduos da construção civil, identificando os principais desafios e propondo alternativas sustentáveis. Os objetivos específicos são: a) identificar as legislações pertinentes à gestão de resíduos; b) avaliar as práticas atualmente adotadas pelo setor; c) propor medidas que possam ser implementadas para melhorar a eficiência na gestão dos resíduos gerados.

Portanto, a gestão de resíduos da construção civil é um tema que merece atenção e aprofundamento, considerando suas implicações para a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento social. Este estudo visa contribuir para um melhor entendimento sobre as práticas existentes, bem como para a promoção de soluções que possam beneficiar tanto o setor da construção quanto a sociedade em geral. A compreensão adequada deste tema poderá auxiliar na formulação de políticas públicas e estratégias que visem à redução dos impactos ambientais e ao incentivo de práticas mais sustentáveis na construção civil.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A metodologia adotada para a realização deste trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica, caracterizada como uma pesquisa qualitativa e descritiva. Essa abordagem foi escolhida para compilar e analisar as informações disponíveis sobre a gestão de resíduos da construção civil, permitindo identificar as práticas adotadas e os desafios enfrentados nesse contexto. O período considerado abrangeu publicações de 2019 a 2024, assegurando que as informações analisadas fossem atualizadas e relevantes.

Os critérios de inclusão foram estabelecidos para abranger apenas trabalhos publicados em português e inglês que abordassem especificamente a gestão de resíduos da construção civil, como artigos de periódicos, teses e dissertações. Foram excluídos artigos

de revisão, primeiras impressões e resumos, priorizando fontes que apresentassem uma análise aprofundada do tema. As buscas foram realizadas em bases de dados acadêmicas reconhecidas, como Google Acadêmico, SciELO, Periódicos CAPES e bancos de teses e dissertações.

Para ampliar o espectro de informações, foram utilizados descritores e palavras-chave, incluindo “gestão de resíduos da construção civil”, “reciclagem na construção” e “práticas de gestão de resíduos”. Essa estratégia de busca garantiu a coleta de uma diversidade de dados relevantes.

Os dados coletados foram organizados sistematicamente, o que possibilitou uma avaliação crítica das práticas de gestão de resíduos identificadas na literatura. A análise concentrou-se nas abordagens apresentadas nos estudos, bem como nos desafios enfrentados e nas soluções sugeridas. O resultado foi um panorama coerente sobre o tema, contribuindo para o entendimento dos aspectos críticos e das oportunidades de melhoria no setor de gestão de resíduos da construção civil.

2.2 Resultados e Discussão

A gestão de resíduos da construção civil é um aspecto fundamental para a sustentabilidade do setor. Diversas práticas têm sido implementadas com o intuito de minimizar os impactos ambientais e sociais decorrentes da geração de resíduos. Entre as principais práticas de gestão de resíduos identificadas na literatura, destacam-se a reciclagem, a reutilização de materiais e a implementação de tecnologias emergentes (Souza, 2020).

A reciclagem consiste no processo de transformação dos resíduos em novos produtos ou materiais, reduzindo a necessidade de extração de recursos naturais e diminuindo a quantidade de resíduos enviados para aterros. Estudos demonstraram que a reciclagem de materiais como concreto, tijolos e madeira pode gerar benefícios significativos, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Segundo Silva et al. (2021), a reciclagem do concreto, por exemplo, não apenas reduz a quantidade de resíduos, mas também diminui a pegada de carbono associada à produção de novos materiais. Além disso, a adoção de materiais reciclados pode resultar em economia de custos na construção, uma vez que muitos materiais reciclados são mais baratos do que suas contrapartes virgens (Martins et al., 2020).

A reutilização de materiais, por sua vez, envolve a aplicação de resíduos em novas construções ou em projetos de reforma, sem que estes sejam processados. Essa prática se mostra altamente eficaz em canteiros de obras, especialmente em projetos de demolição e reforma, onde materiais como madeiras, estruturas metálicas e elementos de alvenaria podem ser reaproveitados (Costa et al., 2019). O uso de materiais reutilizados não apenas reduz a quantidade de resíduos gerados, mas também preserva os recursos naturais e pode ser uma estratégia viável em termos econômicos, especialmente em obras de menor escala (Martins et al., 2020).

As tecnologias emergentes, como a utilização de software para gestão de resíduos e técnicas de modelagem da informação da construção (BIM), têm se mostrado promissoras na otimização da gestão de resíduos. De acordo com Oliveira et al. (2022), o uso de BIM permite que projetistas e engenheiros planejem melhor a utilização dos materiais, reduzindo o desperdício desde a fase de projeto. A aplicação dessas tecnologias contribui para a eficácia das práticas de gestão de resíduos, pois facilita a identificação de áreas onde é possível reduzir, reciclar ou reutilizar materiais (Martins et al., 2020).

No que tange à eficácia dessas práticas, é importante observar que sua implementação pode variar significativamente entre diferentes tipos de obras e regiões. Por exemplo, em grandes empreendimentos urbanos, como edifícios comerciais e residenciais, a gestão de resíduos tende a ser mais estruturada, com a aplicação de práticas sistemáticas de reciclagem e reutilização. Em contraste, em pequenas obras ou em regiões menos desenvolvidas, a gestão de resíduos pode ser menos eficaz devido à falta de recursos, infraestrutura e conscientização sobre a importância da gestão sustentável (Freitas; Sousa, 2020). Além disso, a legislação local e as políticas públicas desempenham um papel fundamental na promoção de práticas adequadas de gestão de resíduos, uma vez que incentivos e regulamentações podem estimular ou desencorajar a adoção dessas práticas (Martins et al., 2020).

As comparações entre regiões também revelam discrepâncias nas práticas de gestão de resíduos. Em países desenvolvidos, como a Alemanha e a Suécia, observa-se uma maior adesão a práticas de reciclagem e reutilização, impulsionadas por políticas governamentais rigorosas e pela conscientização da população. Em contrapartida, em muitos países em desenvolvimento, a gestão de resíduos ainda enfrenta desafios significativos, como a falta de infraestrutura adequada e a necessidade de educação e treinamento para trabalhadores do setor (Junior; Pereira, 2021).

Dessa forma, as práticas de gestão de resíduos na construção civil, que incluem reciclagem, reutilização e o uso de tecnologias emergentes, têm demonstrado eficácia na minimização dos impactos ambientais e na promoção da sustentabilidade. No entanto, a implementação dessas práticas é influenciada por diversos fatores, incluindo o tipo de obra, a região e as políticas públicas em vigor. Portanto, é importante que o setor da construção civil continue a buscar soluções inovadoras e sustentáveis para a gestão de resíduos, promovendo uma abordagem mais responsável e consciente em relação ao meio ambiente (Martins et al., 2020).

A gestão de resíduos é uma questão relevante para a sustentabilidade ambiental e a saúde pública. Contudo, diversas empresas enfrentam desafios significativos na implementação de práticas efetivas de gestão de resíduos. Entre os principais obstáculos estão a falta de conscientização, os custos elevados e a ausência de regulamentações adequadas. Um dos principais desafios na gestão de resíduos é a falta de conscientização entre os colaboradores e a alta administração das empresas. Muitas organizações não reconhecem a importância de uma gestão de resíduos eficaz, o que resulta em práticas inadequadas que agravam o problema ambiental (Martins et al., 2020).

De acordo com Souza (2020), a educação ambiental é essencial para mudar comportamentos e promover a responsabilidade socioambiental nas empresas. A falta de programas de treinamento e capacitação sobre gestão de resíduos pode levar a uma cultura organizacional que desprioriza essa questão. Além disso, a desinformação sobre as legislações vigentes e as melhores práticas de gestão de resíduos contribui para a ineficiência. As empresas, muitas vezes, desconhecem as alternativas disponíveis para a redução, reciclagem e descarte adequado de resíduos, o que limita seu potencial de inovação e responsabilidade (Santos, 2021).

Sendo assim, é fundamental que as organizações invistam em campanhas de conscientização interna para promover uma cultura de sustentabilidade. Outro desafio significativo é o custo associado à implementação de práticas de gestão de resíduos. Muitas empresas acreditam que a gestão adequada de resíduos implica em investimentos altos e imediatos, o que desencoraja a adoção de iniciativas sustentáveis. O investimento em tecnologias de reciclagem, sistemas de coleta seletiva e capacitação de pessoal pode

ser visto como um ônus financeiro, principalmente para pequenas e médias empresas (Souza, 2020).

Segundo Oliveira (2019), embora os custos iniciais possam ser elevados, os benefícios a longo prazo, como a redução de desperdícios e o aumento da eficiência operacional, compensam esses investimentos. Além disso, a falta de incentivos financeiros por parte do governo também agrava a situação. A ausência de subsídios ou linhas de crédito específicas para empresas que adotam práticas sustentáveis pode dificultar a viabilidade econômica de tais iniciativas.

Muitas vezes, os custos de descarte inadequado de resíduos não são contabilizados nas operações das empresas, levando a uma visão míope que ignora o impacto ambiental e social das atividades empresariais. A regulamentação é um fator crítico na gestão de resíduos, e sua ausência ou fragilidade representa um obstáculo significativo. Muitas empresas operam em ambientes com normas insuficientes para a gestão de resíduos, o que pode levar à complacência em relação à responsabilidade ambiental (Martins et al., 2020).

As regulamentações desempenham um papel fundamental na criação de padrões claros e na responsabilização das empresas, mas a falta de fiscalização efetiva pode resultar em práticas inadequadas. Segundo Santos (2021), a elaboração de políticas públicas robustas e a implementação de regulamentações rigorosas são essenciais para promover a sustentabilidade. Além disso, a falta de padronização nas legislações de diferentes regiões pode criar um cenário confuso para as empresas que atuam em múltiplas jurisdições.

Essa complexidade pode dificultar a conformidade com as normas e levar a uma gestão de resíduos fragmentada e ineficaz. As empresas precisam estar atentas às legislações locais e nacionais e buscar alinhamento com as melhores práticas internacionais. Em conclusão, a implementação de práticas eficazes de gestão de resíduos enfrenta desafios significativos, incluindo a falta de conscientização, os custos elevados e a ausência de regulamentações adequadas (Martins et al., 2020). Superar essas barreiras requer um esforço conjunto entre empresas, governos e a sociedade. Investir em educação, promover incentivos financeiros e fortalecer as regulamentações são passos essenciais para garantir uma gestão de resíduos mais eficiente e sustentável. Somente por meio de uma abordagem integrada e colaborativa será possível enfrentar os desafios da gestão de resíduos e contribuir para um futuro mais sustentável (Martins et al., 2020).

A adoção de práticas sustentáveis é um tema cada vez mais relevante, especialmente em um contexto de crescente degradação ambiental e mudanças climáticas. No entanto, diversas barreiras sociais, econômicas e legais dificultam essa transição. Este texto explora essas barreiras e sugere formas de superá-las (Martins et al., 2020).

As barreiras sociais incluem a falta de conscientização e engajamento da população em questões ambientais. Muitas pessoas ainda não reconhecem a importância da sustentabilidade ou têm conhecimento limitado sobre as práticas que podem ser adotadas. Segundo Silva (2020), a educação ambiental é fundamental para promover a conscientização e incentivar comportamentos sustentáveis. Campanhas de conscientização que envolvem comunidades e instituições educacionais podem ajudar a informar e engajar as pessoas. Além disso, o envolvimento da sociedade civil em processos de tomada de decisão pode fortalecer a implementação de práticas sustentáveis, criando um senso de pertencimento e responsabilidade coletiva (Martins et al., 2020).

Outra barreira social significativa é a resistência cultural. Muitas comunidades têm tradições que não contemplam práticas sustentáveis, e mudar comportamentos enraizados pode ser um desafio. Para superar essa resistência, é essencial que as soluções propostas respeitem as culturas locais e sejam adaptadas às necessidades e valores das comunida-

des. O diálogo aberto e a construção de parcerias com líderes comunitários podem facilitar a aceitação de novas práticas (Martins et al., 2020).

As barreiras econômicas estão relacionadas principalmente aos custos iniciais de implementação de práticas sustentáveis. Muitas empresas, especialmente pequenas e médias, enfrentam dificuldades financeiras e veem a sustentabilidade como um ônus em vez de uma oportunidade. O investimento em tecnologias limpas, infraestrutura de reciclagem e práticas de produção sustentável muitas vezes é elevado, dificultando a adesão (Almeida, 2019). Para superar essa barreira, é necessário oferecer incentivos financeiros, como subsídios, isenções fiscais e linhas de crédito específicas para projetos sustentáveis. Essas iniciativas podem tornar a adoção de práticas sustentáveis mais viável e atraente para as empresas (Pereira, 2021).

Além disso, a falta de acesso a informações sobre o retorno sobre investimento (ROI) de práticas sustentáveis é um obstáculo significativo. Muitas empresas desconhecem os benefícios econômicos a longo prazo, como a redução de custos operacionais e o aumento da eficiência. A divulgação de estudos de caso e a promoção de plataformas que conectem empresas com iniciativas sustentáveis podem ajudar a disseminar informações sobre os benefícios econômicos e sociais da sustentabilidade (Martins et al., 2020).

As barreiras legais são frequentemente relacionadas à falta de regulamentações claras e à fragilidade da fiscalização. Em muitos países, as leis sobre práticas sustentáveis são insuficientes ou não são rigorosamente aplicadas, o que cria um ambiente propício para a continuidade de práticas prejudiciais ao meio ambiente (Pereira, 2021).

Para superar essas barreiras, é essencial que os governos estabeleçam regulamentações mais rigorosas e promovam a fiscalização efetiva. Além disso, a criação de incentivos legais para empresas que adotam práticas sustentáveis pode encorajar a conformidade (Almeida, 2019).

A falta de padronização nas regulamentações ambientais entre diferentes regiões também pode dificultar a adoção de práticas sustentáveis. Empresas que operam em múltiplas jurisdições podem enfrentar dificuldades em atender a normas variadas. A harmonização das regulamentações ambientais e a promoção de políticas públicas que incentivem a sustentabilidade são medidas essenciais para criar um ambiente mais favorável à adoção de práticas sustentáveis (Martins et al., 2020).

A gestão de resíduos é um tema central nas discussões sobre sustentabilidade e desenvolvimento ambiental. A maneira como os resíduos são geridos pode ter impactos significativos, tanto negativos quanto positivos, na saúde pública, na economia e no meio ambiente. A gestão inadequada de resíduos resulta em diversos impactos ambientais e sociais que comprometem a qualidade de vida das comunidades e a saúde do planeta. Um dos principais impactos é a poluição do solo, água e ar. Quando resíduos são descartados de forma inadequada, como em aterros não regulamentados ou em locais abertos, eles podem contaminar o solo e os corpos d'água (Martins et al., 2020).

Segundo Costa (2021), a contaminação do solo pode levar à degradação da terra, tornando-a imprópria para a agricultura e afetando a biodiversidade local. A poluição da água, por sua vez, impacta diretamente a fauna e a flora aquáticas e compromete o abastecimento de água potável para as comunidades. Outro impacto significativo é a emissão de gases de efeito estufa resultantes da decomposição dos resíduos. Os aterros sanitários, quando não adequadamente geridos, emitem metano, um gás com um potencial de aquecimento global muito superior ao do dióxido de carbono.

De acordo com Ribeiro (2020), a gestão inadequada de resíduos sólidos é responsável

por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para as mudanças climáticas e suas consequências, como eventos climáticos extremos e elevação do nível do mar. Além dos impactos ambientais, a gestão inadequada de resíduos também afeta a saúde pública.

A exposição a resíduos sólidos, especialmente em áreas urbanas, pode resultar em problemas de saúde, como doenças respiratórias, infecções e intoxicações. O descarte inadequado de resíduos perigosos, como produtos químicos e eletrônicos, pode levar à contaminação do meio ambiente e à exposição de trabalhadores e comunidades a substâncias tóxicas. Dessa forma, a gestão inadequada de resíduos não só prejudica o meio ambiente, mas também compromete a qualidade de vida e a saúde das populações (Martins et al., 2020).

Por outro lado, a implementação de boas práticas de gestão de resíduos traz benefícios significativos para o meio ambiente e a sociedade. A correta segregação e destinação dos resíduos podem reduzir a quantidade de material enviado para aterros sanitários, promovendo a reciclagem e a reutilização de recursos (Martins et al., 2020). A economia de recursos é um dos principais benefícios associados à gestão adequada de resíduos. Ao reciclar materiais, como papel, plástico e vidro, as empresas e comunidades podem reduzir a demanda por novos recursos naturais, economizando energia e diminuindo a extração de matérias-primas. Essa prática não apenas diminui os custos operacionais, mas também contribui para a conservação dos recursos naturais e a redução dos impactos ambientais (Oliveira, 2019).

Além disso, a gestão adequada de resíduos pode promover a saúde pública ao reduzir a poluição e minimizar a exposição a materiais perigosos. Programas de coleta seletiva, por exemplo, podem melhorar a qualidade do ambiente urbano, tornando as cidades mais limpas e saudáveis. O aumento na qualidade de vida das comunidades também está relacionado à percepção de um ambiente mais limpo e organizado, o que pode, por sua vez, incentivar a participação cívica e o engajamento comunitário (Santos, 2021).

Outro aspecto relevante é o potencial econômico da gestão de resíduos, que pode gerar novos empregos e estimular a economia circular. A transição para uma economia circular implica na adoção de modelos de negócios que priorizam a redução, reutilização e reciclagem de materiais. Segundo Almeida (2019), a economia circular não apenas reduz os resíduos, mas também criar novas oportunidades de emprego em setores como a reciclagem e a recuperação de materiais. Com o crescimento da demanda por produtos reciclados e serviços sustentáveis, surgem oportunidades para pequenas e médias empresas se destacarem nesse mercado.

A geração de empregos relacionados à gestão de resíduos é uma oportunidade significativa em países em desenvolvimento, onde a implementação de políticas e práticas adequadas pode ter um impacto positivo na economia local. A criação de cooperativas de reciclagem, por exemplo, pode oferecer trabalho e renda para grupos vulneráveis, contribuindo para a inclusão social e o desenvolvimento econômico. Além disso, a gestão de resíduos adequada também pode estimular inovações tecnológicas que visam melhorar a eficiência da reciclagem e a gestão dos resíduos, promovendo a pesquisa e o desenvolvimento de novas soluções (Martins et al., 2020).

Portanto, os impactos da gestão inadequada de resíduos são amplos e prejudiciais, afetando tanto o meio ambiente quanto a saúde pública. Por outro lado, a implementação de boas práticas de gestão de resíduos oferece uma série de benefícios, incluindo a economia de recursos, a promoção da saúde pública e a geração de novos empregos. O potencial econômico da gestão de resíduos, especialmente no contexto da economia circular, é

uma oportunidade que deve ser explorada para criar um futuro mais sustentável e próspero. A colaboração entre governos, empresas e sociedade civil é essencial para promover a gestão adequada de resíduos e garantir um ambiente saudável para as futuras gerações (Silva; Martins; Reis, 2021).

3 CONCLUSÃO

Este trabalho reforçou a relevância da gestão de resíduos da construção civil como um tema central para a sustentabilidade e eficiência no setor. Através da revisão bibliográfica realizada, foi possível identificar que as práticas inadequadas de manejo de resíduos não apenas geram impactos ambientais significativos, mas também acarretam custos elevados para as empresas. Portanto, a implementação de estratégias eficazes de gestão é essencial para minimizar esses impactos e promover um desenvolvimento mais sustentável na construção civil.

Os dados analisados demonstraram que a adoção de práticas de reciclagem e a conscientização sobre a importância da redução de resíduos podem trazer benefícios tanto ambientais quanto econômicos. As empresas que investem na gestão adequada de resíduos não apenas cumprem com a legislação vigente, mas também se destacam no mercado, aumentando sua competitividade. Isso evidencia que a gestão de resíduos deve ser vista não apenas como uma obrigação legal, mas como uma oportunidade estratégica para melhorar a imagem e a eficiência operacional das organizações.

Além disso, a pesquisa revelou que os principais desafios enfrentados na gestão de resíduos incluem a falta de informação e capacitação dos profissionais envolvidos. É fundamental que as empresas promovam treinamentos e campanhas de conscientização, visando a educação ambiental dos colaboradores. Esse investimento em capacitação é fundamental para que as boas práticas sejam implementadas de maneira eficaz e duradoura, assegurando que todos os envolvidos estejam alinhados e engajados nas ações de sustentabilidade.

A análise das publicações também destacou a importância da colaboração entre diferentes stakeholders, incluindo empresas, órgãos governamentais e a sociedade civil. A gestão de resíduos da construção civil é uma responsabilidade compartilhada, e a cooperação entre essas partes é fundamental para o desenvolvimento de soluções inovadoras e eficazes. Parcerias e projetos conjuntos podem resultar em melhorias significativas na gestão de resíduos, promovendo uma cultura de responsabilidade e compromisso com o meio ambiente.

Portanto, este trabalho demonstrou que a gestão de resíduos da construção civil é um aspecto crítico para a sustentabilidade do setor. A adoção de práticas eficientes e a promoção da educação e capacitação dos profissionais são passos essenciais para enfrentar os desafios atuais e futuros. Ao integrar essas práticas na cultura organizacional, as empresas não apenas contribuem para a preservação ambiental, mas também se posicionam de forma competitiva em um mercado cada vez mais consciente e exigente em relação à sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. S. Desafios econômicos na implementação de práticas sustentáveis nas empresas. **Revista de Administração e Sustentabilidade**, v. 8, n. 1, p. 12-25, 2019.

COSTA, A. F.; SOUZA, L. M.; SILVA, R. T. Gestão de resíduos na construção civil: práticas de reutilização e reciclagem. **Revista de Engenharia Civil**, v. 25, n. 2, p. 45-58, 2019.

COSTA, M. A. Poluição do solo e suas consequências. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 12, n. 1, p. 55-70, 2021.

FREITAS, M. A.; SOUSA, J. P. Desafios na gestão de resíduos da construção civil em regiões em desenvolvimento. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 12-23, 2020.

JUNIOR, C. S.; PEREIRA, J. A. **Gestão de resíduos: uma análise comparativa entre países desenvolvidos e em desenvolvimento**. Caderno de Engenharia, v. 13, n. 4, p. 70-82, 2021.

MARTINS, D. R.; ALMEIDA, R. F.; NASCIMENTO, P. S. Impactos da reciclagem de materiais na construção civil**. Journal of Sustainable Construction**, v. 18, n. 3, p. 90-105, 2020.

OLIVEIRA, J. S. Gestão de resíduos: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 45-58, 2019.

OLIVEIRA, T. A.; RIBEIRO, L. J.; CARVALHO, M. C. A utilização do BIM na gestão de resíduos da construção civil. **Revista de Tecnologia e Sustentabilidade**, v. 5, n. 1, p. 50-65, 2022.

PEREIRA, A. T. A importância da regulamentação na promoção de práticas sustentáveis. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 15, n. 2, p. 44-59, 2021.

RIBEIRO, J. F. **Impactos da gestão de resíduos na mudança climática**. Cadernos de Gestão Ambiental, v. 8, n. 2, p. 90-104, 2020.

SANTOS, M. R. Políticas públicas e gestão de resíduos sólidos: um estudo sobre a importância da regulamentação. **Revista de Políticas Públicas**, v. 10, n. 1, p. 23-36, 2021.

SILVA, E. C.; MARTINS, P. L.; REIS, A. J. Reciclagem do concreto: benefícios e desafios. **Revista Brasileira de Construção Sustentável**, v. 22, n. 1, p. 23-35, 2021.

SILVA, M. L. **A educação ambiental como ferramenta de transformação social.** Cadernos de Educação e Sustentabilidade, v. 6, n. 3, p. 34-50, 2020.

SOUZA, L. C. **A educação ambiental como ferramenta para a gestão de resíduos nas empresas.** Cadernos de Gestão Ambiental, v. 5, n. 3, p. 67-82, 2020.

PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

PATHOLOGIES IN CIVIL CONSTRUCTION

Caio Pompeu Amorim Santana de Sousa
Jose Atila Matos Aroucha Junior

15

Pascal
Editora

RESUMO

A pesquisa apresenta o estudo sobre as patologias na construção civil, que são entendidas como falhas, defeitos e desvios que surgem ao longo da vida útil das edificações, comprometendo a segurança, durabilidade e funcionalidade. O objetivo foi identificar as principais patologias, suas causas e as ações preventivas para reduzir a ocorrência. O estudo foi elaborado por meio de uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e descritivo, utilizando obras, artigos e normas técnicas recentes. Os resultados demostraram que a maior parte das patologias ocorrem nas fases de projeto e execução, relacionando-as a falhas técnicas, escolhas inadequadas de materiais e ausência de manutenção. Entre as manifestações mais comuns estão fissuras, infiltrações e problemas de esquadrias. O estudo destacou a importância da adoção de sistemas de controle de qualidade, manutenção preditiva e a sistematização dos processos construtivos, que contribuem para a redução dos custos e aumento da vida útil das edificações. Conclui-se que a prevenção é a principal estratégia para minimizar as patologias, sendo necessário um planejamento adequado, controle técnico e a capacitação dos profissionais envolvidos. Também ressalta o papel fundamental dos engenheiros na adoção de práticas de controle e gestão de qualidade.

Palavras-chave: Prevenção. Qualidade. Segurança. Manutenção.

ABSTRACT

This research presents a study on pathologies in civil construction, understood as failures, defects, and deviations that arise throughout the lifespan of buildings, compromising safety, durability, and functionality. The objective was to identify the main pathologies, their causes, and preventive actions to reduce their occurrence. The study was developed through a qualitative and descriptive literature review, using recent works, articles, and technical standards. The results showed that most pathologies occur during the design and execution phases, relating them to technical failures, inadequate material choices, and lack of maintenance. Among the most common manifestations are cracks, infiltrations, and problems with window and door frames. The study highlighted the importance of adopting quality control systems, predictive maintenance, and the systematization of construction processes, which contribute to reducing costs and increasing the lifespan of buildings. It concludes that prevention is the main strategy to minimize pathologies, requiring adequate planning, technical control, and the training of the professionals involved. It also highlights the fundamental role of engineers in adopting quality control and management practices.

Keywords: Prevention. Quality. Safety. Maintenance.

1 INTRODUÇÃO

A patologia na construção civil se entende como o estudo de anomalias, defeitos e falhas que são manifestadas ao longo da vida útil das edificações. Estas que devem ser identificadas, prevenidas ou corrigidas para que não comprometa a segurança e integridade da edificação.

Diante da otimização dos prazos na construção e a redução de custos da obra, tem se acentuado a ocorrência de patologias juntamente com a aquisição do código de defesa do consumidor (CDC) e ampliação do acesso aos direitos para a população. Aumentando assim os casos de manutenções e custos adicionais na fase de ocupação do imóvel, visto que o código civil garante ao consumidor garantia de 5 anos para defeitos construtivos.

Esse cenário evidencia a importância de estudar as principais patologias suas origens e as estratégias de mitigação. A falta de manutenção preventiva e a negligência em etapas críticas de projeto e execução reforçam a necessidade de disseminar conhecimentos técnicos capazes de orientar profissionais e futuros engenheiros.

Perante a recorrência de patologias construtivas e os impactos econômicos, estruturais e de segurança causados, de que forma a discriminação das principais patologias e as práticas de controles de ações preventivas podem contribuir para a redução da ocorrência dessas patologias e aumentar a durabilidade das construções?

Sendo assim, esta pesquisa se dedica a identificar quais são as patologias que acontecem com maior recorrência, quais suas causas e quais estratégias podem ser adotadas para prevenção de modo a reduzir os impactos estruturais e econômicos.

Dessa forma, o objetivo geral deste artigo é analisar, com base na literatura e pesquisas realizadas, as principais patologias na construção civil, visando contribuir para a melhoria da qualidade, durabilidade e segurança das edificações. Especificamente, busca-se se identificar manifestações mais recorrentes, discutir suas causas e apontar o papel do engenheiro nas práticas preventivas fundamentadas em normas técnicas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Este trabalho foi elaborado a partir de uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e descritivo. A pesquisa priorizou obras publicadas nos últimos dez anos, disponíveis em bases como Google Acadêmico e SciELO, além de livros, dissertações, artigos científicos e normas técnicas. Como critérios de inclusão, consideravam se publicações em português e de caráter técnico científico. Foram excluídos texto sem fundamentação teórica resumos expandidos e materiais opinativos. Essa abordagem possibilitou a sistematização das informações já consolidadas sobre patologias construtivas, permitindo analisar causas, classificações e estratégias de prevenção e correção. Os descritores utilizados para a busca foram “patologia”, “manutenção”, “construção” e “gestão”.

2.2 Resultados e Discussão

Segundo Bolina, Tutikian e Helene (2019), a patologia é a ciência dedicada ao estudo das doenças, abrangendo os mecanismos, sintomas e a natureza das condições patológicas. Tradicionalmente, essa área do conhecimento está associada à medicina, uma vez

que busca entender o desvio de uma condição considerada saudável. Nesse sentido, a patologia investiga e classifica as causas e os sintomas de danos que podem afetar tanto os corpos humanos quanto as construções.

Os fenômenos patológicos na construção civil podem ter causas diversas, que incluem o envelhecimento natural dos materiais, imprudência ou falta de cuidados por parte dos profissionais envolvidos, escolha de materiais que não atendem às especificações técnicas, ou ainda a ausência de manutenção adequada ao longo do tempo (Neves; Vázquez, 2021).

Essas ocorrências comprometerem a segurança, a estética à estética e a durabilidade das construções, gerando impactos econômicos e risco aos usuários. Entre as manifestações mais comuns estão fissuras, infiltrações e corrosão de armaduras, frequentemente associadas a falhas em projeto, execução ou manutenção (Heerdt, Pio & Bleichvel, 2016).

Helene (1992) evidencia a importância de identificar a origem dos problemas para fins judiciais, de forma que seja responsabilizado corretamente o causador da patologia, seja o projetista, fabricante, mão de obra, consumidor ou o engenheiro responsável.

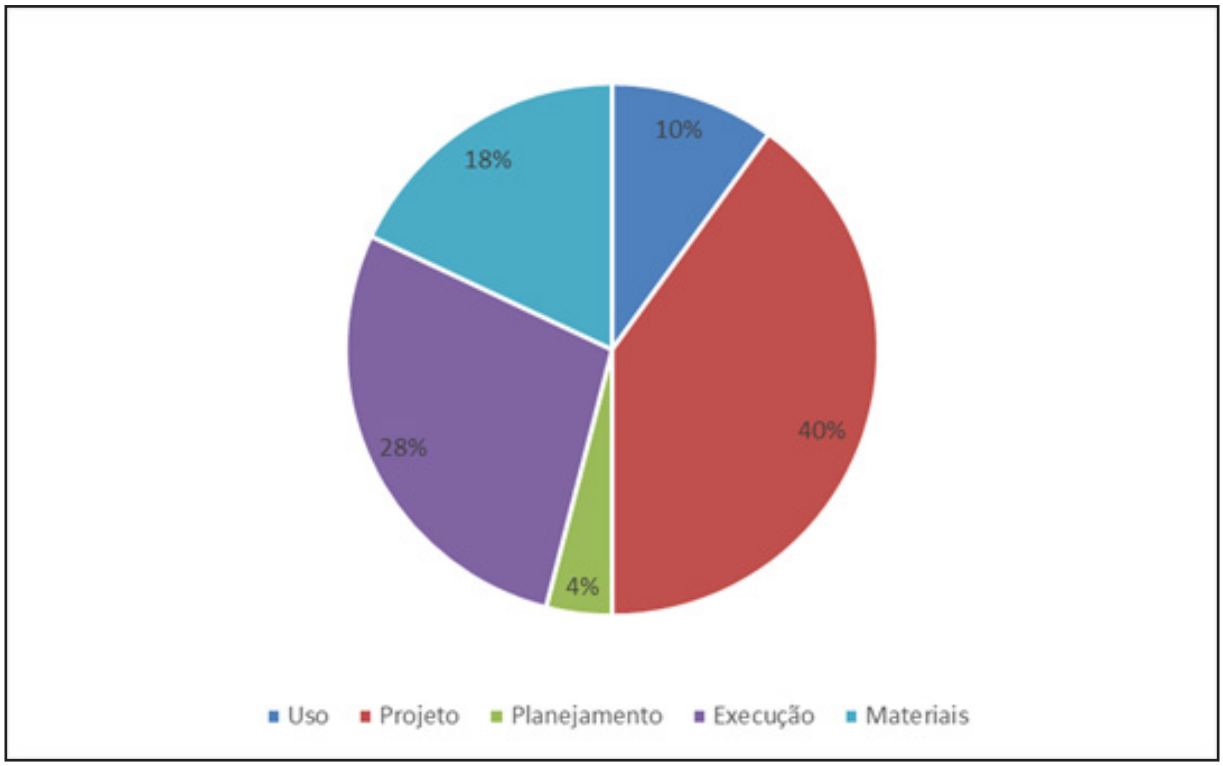


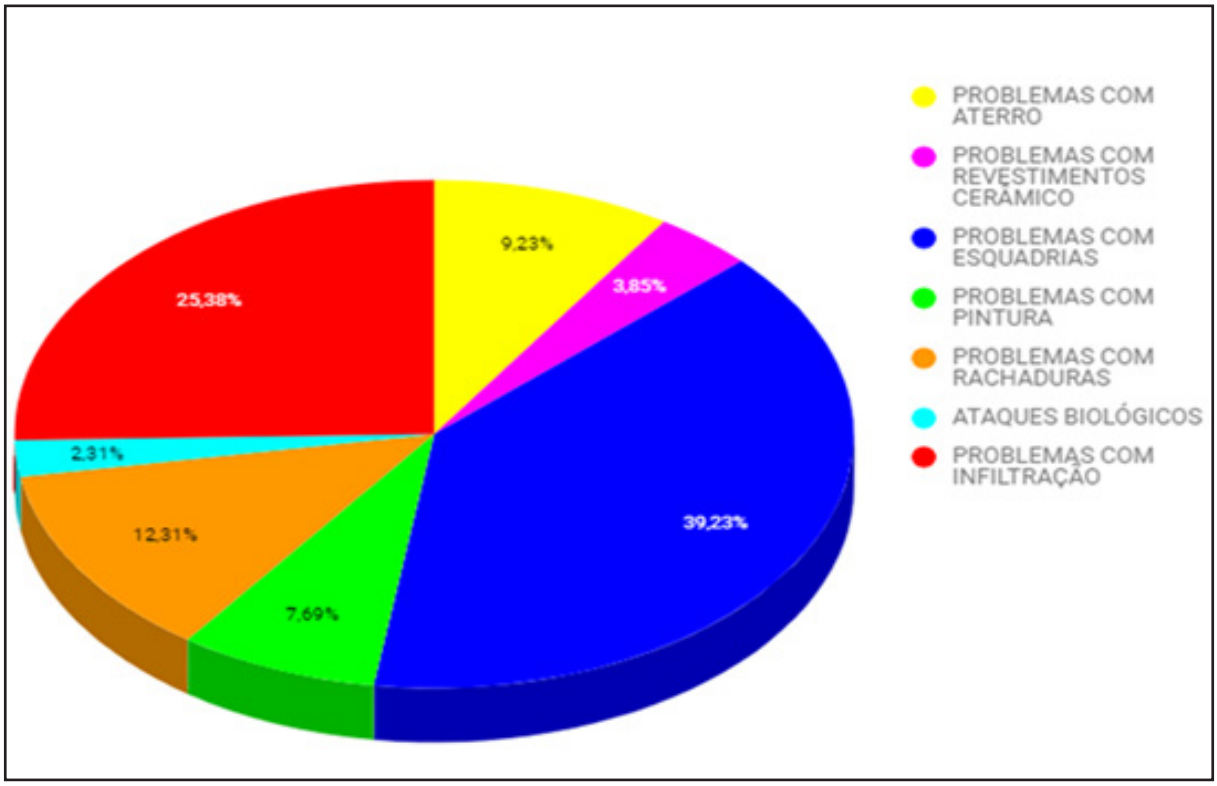
Figura 1. Origem das patologias

Fonte: Helene (1992)

A Figura 1 demonstra uma predominância em problemas construtivos originários no projeto, execução e materiais, que tira a responsabilidade do consumidor final na grande maioria dos casos (HELENE, 1992).

Farias (2018) analisa obras construídas no programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Mossoró, com finalidade de identificar e indicar as patologias que ocorrem com maior frequência, com o propósito de minimizar ou corrigir as patologias encontradas.

Figura 2. A incidência dos tipos de problemas construtivos em obras do programa Minha Casa Minha Vida.



Fonte: Farias (2018)

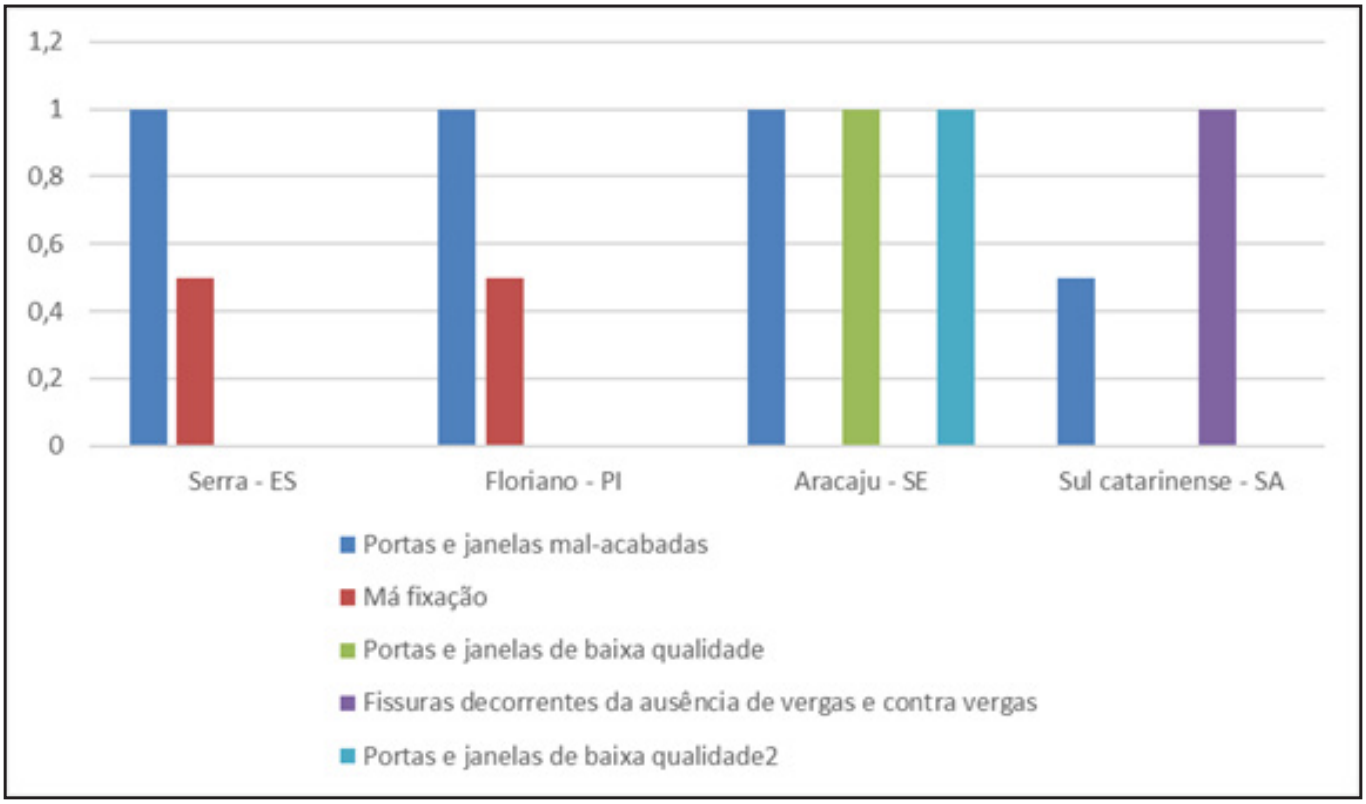
A Figura 2 apresenta um gráfico que indica a maioria das patologias encontradas, somando mais de 75%, em obras construídas no programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Mossoró são problemas de esquadrias, infiltrações e rachaduras. Manifestações que estão frequentemente associadas com falhas construtivas (FARIAS, 2018).

Ambas as perspectivas convergem ao destacar que a origem da maioria das manifestações patológicas está associada a falhas dentro do processo construtivo. Helene (1992) já apontava que mais de 80% dos casos decorrem de falhas em projeto, execução e materiais.

Corroborando com o estudo de Farias (2018) onde mais de 75% das patologias são identificadas como problemas em esquadrias, infiltrações e rachaduras. Dessa forma, evidencia-se que a maior parte das anomalias tem origem em falhas técnicas e não no uso das edificações, reforçando a necessidade de maior controle de qualidade durante a concepção e a obra.

Segundo Sant'ana (2020), o problema das manifestações patológicas em moradias populares é uma questão recorrente em diversos serviços, como os de esquadrias, instalações hidráulicas, cobertura e revestimento. Esses problemas se apresentam principalmente devido ao uso de materiais de baixa qualidade, ausência de controle de qualidade e mão de obra não qualificada.

Figura 3. Levantamento de patologias em esquadrias em edificações de interesse social.



Fonte: SANT'ANA (2020)

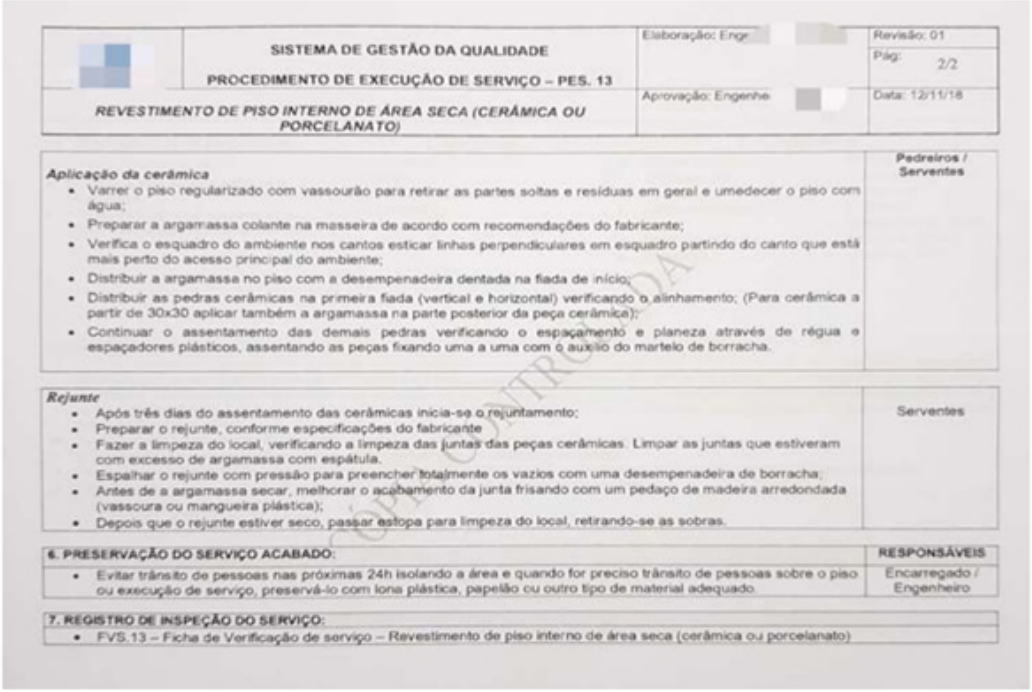
A figura 3 demonstra maior índice de problemas relacionados a execução, como já apontado por Helene (1992) e corroborando com o estudo de Farias (2018) que mostra as esquadrias com alto índice de patologias detectadas.

A ABNT (2012) por meio da NBR 5674, define os requisitos para a manutenção predial, assegurando o funcionamento e a conservação das edificações ao longo do tempo. A norma determina a elaboração de um plano com periodicidades, mecanismos de controle e prazos, de modo a garantir segurança e funcionalidade. Para atingir esses objetivos, recomenda-se a adoção de manutenções rotineiras, preventivas ou corretivas, assegurando maior eficiência e conformidade com o plano estabelecido.

Conforme ABNT (2015), a ISO 9001:2015 estabelece diretrizes da gestão de qualidade, promovendo padronização e controle dos processos construtivos. Na construção civil, sua aplicação contribui na redução de patologias ao exigir planejamento, monitoramento e rastreabilidade. A certificação baseada nessa norma assegura que materiais, mão de obra e prazos sejam controlados de forma sistemática, evitando falhas recorrentes. Assim a norma complementa a NBR 5674, que trata da manutenção predial, unindo gestão organizacional e práticas preventivas nas edificações.

De acordo com Meira e Araújo (2016), o controle de qualidade na construção civil deve ser implementado mediante sistemas que assegurem a conformidade dos serviços executados. Os autores recomendam a utilização de instrumentos como os Procedimentos de Execução de Serviços (PES), Procedimentos de Inspeção de Serviços (PIS) e Fichas de Verificação de Serviços (FVS) para padronizar e registrar a qualidade obtida em cada etapa construtiva, garantindo assim a excelência do produto.

Figura 04. Exemplo de PES (Procedimento de Execução de Serviço)



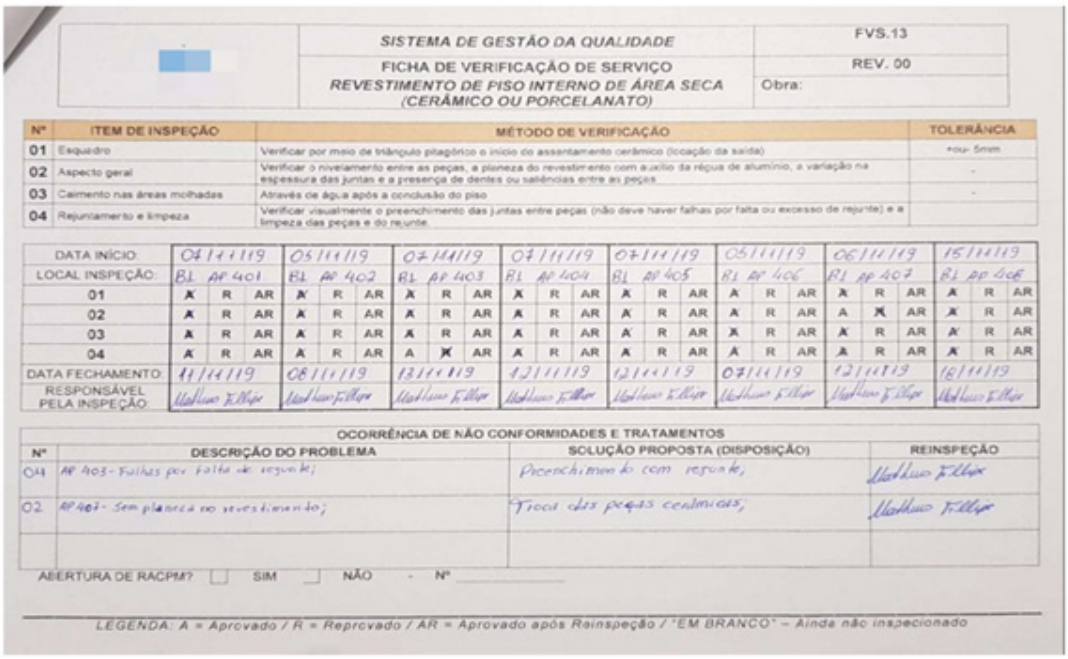
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO DE SERVIÇO – PES. 13	Elaboração: Engº	Revisão: 01 Pág: 2/2
REVESTIMENTO DE PISO INTERNO DE ÁREA SECA (CERÂMICA OU PORCELANATO)	Aprovação: Engenhe	Data: 12/11/18

Aplicação da cerâmica • Varrer o piso regularizado com vassourão para retirar as partes soltas e resíduas em geral e umedecer o piso com água; • Preparar a argamassa colante na masseira de acordo com recomendações do fabricante; • Verifica o esquadro do ambiente nos cantos esticar linhas perpendiculares em esquadro partindo do canto que está mais perto do acesso principal do ambiente; • Distribuir a argamassa no piso com a desempenadeira dentada na fiada de início; • Distribuir as pedras cerâmicas na primeira fiada (vertical e horizontal) verificando o alinhamento; (Para cerâmica a partir de 30x30 aplicar também a argamassa na parte posterior da peça cerâmica); • Continuar o assentamento das demais pedras verificando o espaçamento e planeza através de régua e espaçadores plásticos, assentando as peças fixando uma a uma com o auxílio do martelo de borracha.	**Pedreiros / Serventes**
Rejunte • Após três dias do assentamento das cerâmicas inicia-se o rejuntamento; • Preparar o rejunte, conforme especificações do fabricante • Fazer a limpeza do local, verificando a limpeza das juntas das peças cerâmicas. Limpar as juntas que estiveram com excesso de argamassa com espátula. • Espalhar o rejunte com pressão para preencher totalmente os vazios com uma desempenadeira de borracha; • Antes de a argamassa secar, melhorar o acabamento da junta frisando com um pedaço de madeira arredondada (vassoura ou mangueira plástica); • Depois que o rejunte estiver seco, passar estopa para limpeza do local, retirando-se as sobras.	Serventes
6. PRESERVAÇÃO DO SERVIÇO ACABADO: • Evitar trânsito de pessoas nas próximas 24h isolando a área e quando for preciso trânsito de pessoas sobre o piso ou execução de serviço, preservá-lo com lona plástica, papelão ou outro tipo de material adequado.	**RESPONSÁVEIS** Encarregado / Engenheiro
7. REGISTRO DE INSPEÇÃO DO SERVIÇO: • FVS.13 – Ficha de Verificação de serviço – Revestimento de piso interno de área seca (cerâmica ou porcelanato)	

Fonte: Carvalho et al. (2020)

A figura 4 mostra um PES (Procedimento de Execução de Serviço) que padroniza todas as etapas de um serviço construtivo. Na imagem de (Carvalho et al., 2020), temos um PES de revestimento de piso interno, que orienta desde a preparação até a limpeza final. Assegurando que o processo siga normas técnicas para controle de qualidade.

Figura 05. Exemplo de FVS (Ficha de Verificação de Serviço)



SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO REVESTIMENTO DE PISO INTERNO DE ÁREA SECA (CERÂMICO OU PORCELANATO)	FVS.13 REV. 00 Obra:	

Nº	ITEM DE INSPEÇÃO	MÉTODO DE VERIFICAÇÃO	TOLERÂNCIA
01	Esquadro	Verificar por meio de triângulo pitagórico o início do assentamento cerâmico (locação da saída)	+ou- 5mm
02	Aspecto geral	Verificar o nivelamento entre as peças, a planeza do revestimento com a ajuda da régua de alumínio, a variação na espessura das juntas e a presença de dentes ou saliências entre as peças	-
03	Caimento nas áreas molhadas	Através de água após a conclusão do piso	-
04	Rejuntamento e limpeza	Verificar visualmente o preenchimento das juntas entre peças (não deve haver falhas por falta ou excesso de rejunte) e a limpeza das peças e do rejunte	

DATA INÍCIO:	04/11/19			05/11/19			07/11/19			07/11/19			07/11/19			05/11/19			06/11/19			15/11/19		
LOCAL INSPEÇÃO:	B1 AP 401			B1 AP 402			B1 AP 403			B1 AP 404			B1 AP 405			B1 AP 406			B1 AP 407			B1 AP 408		
01	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR
02	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR
03	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR
04	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR	A	R	AR
DATA FECHAMENTO:	11/11/19			08/11/19			13/11/19			12/11/19			12/11/19			07/11/19			12/11/19			18/11/19		
RESPONSÁVEL PELA INSPEÇÃO:	Matheus Filho			Matheus Filho			Matheus Filho			Matheus Filho			Matheus Filho			Matheus Filho			Matheus Filho			Matheus Filho		

OCORRÊNCIA DE NÃO CONFORMIDADES E TRATAMENTOS

Nº	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	SOLUÇÃO PROPOSTA (DISPOSIÇÃO)	REINSPEÇÃO
04	AP 403 - Falhas por falta de rejunte;	Preenchimento com rejunte;	Matheus Filho
02	AP 407 - Sem planeza no revestimento;	Troca das peças cerâmicas;	Matheus Filho

ABERTURA DE RACPM? ☐ SIM ☐ NÃO - Nº _____

LEGENDA: A = Aprovado / R = Reprovado / AR = Aprovado após Reinspeção / "EM BRANCO" – Ainda não inspecionado

Fonte: Carvalho et al. (2020)

A figura 5 mostra a FVS (Ficha de Verificação de Serviço), que é usada para controlar a qualidade do serviço, registrando inspeções em várias etapas. Na imagem temos uma FVS de revestimento de piso interno de área seca, que assegura a inspeção em esquadro, aspecto geral, caimento, rejuntamento e limpeza. Esse controle garante a identificação e

correção imediata de falhas, garantindo maior qualidade (CARVALHO et al., 2020)

Baldissarelli e Fabro (2019) as manutenções prediais são classificadas em programadas e não programadas. A manutenção corretiva, de caráter não programado, busca corrigir falhas ou desempenhos abaixo do esperado em itens e sistemas definidos no projeto inicial. Já a manutenção preventiva, de caráter programado, tem como objetivo reduzir patologias e problemas estruturais por meio de avaliações periódicas e planejadas. Essa prática permite identificar e corrigir falhas antes que gerem impactos significativos.

Conforme abordado por Erat (2016), em caso de manutenção preventiva de um pilar na área externa de uma escola, o concreto apresentava um alto índice de degradação e com a ferragem exposta. A partir de uma vistoria realizada, foi elaborado um plano de manutenção que considerou a captação de informações para identificar o grau da manifestação patológica, obedecendo a critérios já estabelecidos. Em seguida, foi realizada uma avaliação das causas dessa manifestação, permitindo a execução da manutenção corretiva que é essencial para restaurar a estrutura.

3 CONCLUSÃO

O estudo alcançou o objetivo proposto, analisando as principais patologias, identificando as principais causas e as recorrência de cada patologia. Destacou a importância da prevenção e manutenção para garantir a durabilidade da construção. Por meio da revisão bibliográfica, foi possível confirmar que a maioria das falhas construtivas decorrem de erros na fase de projeto e execução. Reforçando que a identificação e o controle dessas falhas, em conjunto com ações preventivas e de controle de qualidade, são necessários para reduzir a incidência de patologias e entregar maior vida útil a edificação.

A discriminação detalhada das principais patologias permite identificar as causas com precisão, promovendo práticas preventivas mais assertivas. Visto que as principais ocorrências são nas fases de projeto e execução, a resposta está na prevenção. A implementação de práticas de qualidade, como o uso de PES e FVS, juntamente com manutenções programadas, impactam diretamente na redução das mazelas e na maior durabilidade da edificação.

Como limitação, destaca-se o fato de ser exclusivamente revisão bibliográfica, sem o uso de análises de campo e experimentais. Mas permitiu descrever o conhecimento já existente. Para pesquisas futuras, é recomendado que faça estudo de experimental em que tenha a adoção de cultura de qualidade mais rigorosa, utilizando sistemas de padronização e fiscalização, e ênfase na qualificação dos engenheiros e profissionais responsáveis. Para que façam análises qualitativas e quantitativas da eficácia desses sistemas.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001:2015 – Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BALDISSARELLI, Luciano; FABRO, Elton. **Manutenção Preditiva na indústria 4.0.** Scientia cum industria, v. 7, n. 2, p. 11-22, 2019.

BOLINA, Fabricio Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo. **Patologia de estruturas**. [S.l.]: Oficina de Textos, 2019.SANT'ANA, M. M. S. Levantamentos de Manifestações Patológicas em Edificações de Inte-

resse Social. Boletim do Gerenciamento, v. 20, n. 20, p. 34–44, 30 nov. 2020.

ERAT, D. et al. **ANÁLISE DE PATOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Maiêutica - Engenharias, v. 2, n. 1, 19 ago. 2016.

FARIAS, Luiz Paulo de Medeiros. **Análise das manifestações patológicas nas habitações de interesse social em Mossoró/RN**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2018.

HEERDT, G. B.; PIO, V. M.; BLEICHVEL, N. C. T. **Principais patologias na construção civil.** 2016. Artigo (Curso de Engenharia Civil) – Faculdade Metropolitana de Rio do Sul, Rio do Sul, 2016.

HELENE, Paulo. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

MEIRA, Alexsandra Rocha; ARAÚJO, Nelma Mirian Chagas de. **Qualidade na Construção Civil**. João Pessoa: Editora IFPB, 2016.

NEVES, M.; VÁZQUEZ, E. G. **Patologias das estruturas**. Boletim do Gerenciamento, v. 22, n. 22, p. 11–19, 2021.

SANT'ANA, M. M. S. **Levantamentos de manifestações patológicas em edificações de interesse social**. Boletim do Gerenciamento, v. 20, n. 20, p. 34–44, 30 nov. 2020.

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: CAUSAS, IMPACTOS E MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO

PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS IN CONCRETE STRUCTURES: CAUSES, IMPACTS, AND RECOVERY METHODS.

Yanne Karolyne Nunes Rabelo
Miriam Nunes de Carvalho Nunes

16

Pascal
Editora

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar as manifestações patológicas em estruturas de concreto, abordando suas causas, impactos e métodos de recuperação. A pesquisa caracterizou-se como uma revisão bibliográfica de natureza qualitativa, baseada estudos publicados nos últimos dez anos. A busca foi realizada nas bases Google Acadêmico, SciELO e PubMed, utilizando as palavras-chave “patologia”, “concreto” e “manutenção”. Constatou-se que as patologias do concreto representam um dos principais desafios da engenharia civil, uma vez que comprometem a durabilidade e a segurança das edificações. As análises evidenciaram que os fatores mais recorrentes estão relacionados a falhas construtivas, uso inadequado de materiais, ausência de fiscalização e exposição a condições ambientais agressivas. Verificou-se também que os danos ocasionam prejuízos econômicos e estruturais significativos, exigindo intervenções corretivas e ações preventivas contínuas. Entre os métodos de recuperação destacados, observam-se o reforço estrutural, a injeção de resinas e a substituição de partes comprometidas, que se mostram eficazes quando aplicadas com planejamento técnico adequado. Conclui-se que a prevenção, aliada à manutenção periódica e a capacitação profissional, constitui a medida mais eficiente para assegurar a durabilidade e o desempenho das estruturas de concreto.

Palavras-chave: Patologias Estruturais. Concreto. Manutenção Preventiva.

ABSTRACT

This study aimed to analyze pathological manifestations in concrete structures, addressing their causes, impacts, and recovery methods. The research was characterized as a qualitative literature review, based on studies published in the last ten years. The search was conducted in the Google Scholar, SciELO, and PubMed databases, using the keywords “pathology,” “concrete,” and “maintenance.” It was found that concrete pathologies represent one of the main challenges in civil engineering, as they compromise the durability and safety of buildings. The analyses showed that the most recurrent factors are related to construction failures, inadequate use of materials, lack of supervision, and exposure to aggressive environmental conditions. It was also found that the damage causes significant economic and structural losses, requiring corrective interventions and continuous preventive actions. Among the highlighted recovery methods, structural reinforcement, resin injection, and replacement of compromised parts are observed, which prove effective when applied with adequate technical planning. It is concluded that prevention, combined with periodic maintenance and professional training, constitutes the most efficient measure to ensure the durability and performance of concrete structures.

Keywords: Structural Pathologies. Concrete. Preventive Maintenance.

1 INTRODUÇÃO

O concreto constitui um dos materiais mais relevantes da construção contemporânea, sendo amplamente utilizado em virtude de sua elevada resistência, versatilidade e viabilidade econômica. Sua presença é marcante em diferentes tipologias de obras, desde edificações residenciais até grandes infraestruturas, tornando-se um elemento indispensável ao desenvolvimento urbano.

Apesar de suas reconhecidas vantagens, o concreto apresenta vulnerabilidades que, ao longo do tempo, podem comprometer seu desempenho e resultar em danos estruturais capazes de afetar tanto a estética quanto a segurança das estruturas. Essas manifestações configuram um conjunto de anomalias que incluem fissuras, infiltrações, desagregação do material e corrosão, entre outras ocorrências que impactam diretamente a durabilidade das construções.

Suas causas são multifatoriais e podem estar associadas a falhas de projeto, execução inadequada, uso de materiais de baixa qualidade ou ainda a ação de agentes ambientais. Quando não identificadas e corrigidas em estágios iniciais, essas patologias evoluem progressivamente, elevando os custos de manutenção e, em casos extremos, comprometendo a estabilidade estrutural.

O impacto dessas patologias transcende a esfera técnica e econômica, uma vez que interfere diretamente na segurança dos usuários e na confiabilidade das edificações. Em um cenário de crescente verticalização urbana e expansão da infraestrutura, compreender as causas e os mecanismos de degradação torna-se fundamental para a preservação do patrimônio construído e para a adoção de práticas preventivas mais eficazes.

Desse modo, o estudo de técnicas de recuperação tem se consolidado como ferramenta estratégica para prolongar a vida útil das construções e reduzir os riscos estruturais. Diante desse contexto, a pesquisa foi guiada pela seguinte questão: Quais são as principais causas das manifestações patológicas em estruturas de concreto e como os métodos de recuperação podem minimizar seus impactos?

Com base nesse problema, definiu-se como objetivo geral analisar as manifestações patológicas em estruturas de concreto, considerando suas causas, impactos e métodos de recuperação. Especificamente, buscou-se descrever as patologias mais recorrentes, identificar os fatores que favorecem seu aparecimento e discutir as técnicas de recuperação disponíveis.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A pesquisa desenvolvida caracterizou-se como uma revisão bibliográfica, de natureza qualitativa e descritiva, voltada a análise das manifestações patológicas em estruturas de concreto, suas causas, impactos e métodos de recuperação. A busca dos materiais foi realizada nas bases de dados Google Acadêmico e SciELO, e na base internacional PubMed, utilizando as palavras-chave “patologia”, “concreto” e “manutenção”, aplicadas de forma isolada ou combinada.

Foram considerados artigos científicos, dissertações e livros que apresentassem discussões pertinentes ao objeto de estudo. Para garantir a atualidade do levantamento, delimitou-se como critério de inclusão as publicações produzidas nos últimos dez anos (2016-2025), disponíveis integralmente em português ou em inglês com tradução acessível. Os

critérios de exclusão envolveram documentos que não apresentassem relação com os objetivos da pesquisa ou revisões duplicadas ou incompletas.

2.2 Resultados e Discussão

O concreto, amplamente utilizado na construção civil, constitui-se como um material composto essencialmente formado por cimento, água, agregados e, em muitos casos, aditivos que conferem propriedades específicas ao produto final. A combinação entre esses elementos produz uma matriz resistente, moldável e capaz de suportar elevadas cargas de compressão, sendo sua durabilidade decorrente não apenas da qualidade dos materiais empregados, mas também dos procedimentos de dosagem, mistura, adensamento e cura (Arauna, 2023).

Cholfe e Bonilha (2018) destacam que o comportamento mecânico do concreto está intrinsicamente ligado à sua microestrutura, influenciada tanto pela relação água/cimento quanto pela granulometria e pela qualidade dos agregados. Quando adequadamente produzidos e aplicados, o concreto apresenta robustez, elevada capacidade de adaptação as formas e boa resistência ao fogo, fatores que explicam seu predomínio em estruturas de edifícios, pontes, fundações, pavimentos e uma gama extensa de obras civis.

Entretanto, a durabilidade do concreto depende diretamente das condições ambientais as quais a estrutura é exposta, das solicitações mecânicas e da compatibilidade entre sua composição e o uso pretendido. Madureira e Paiva (2018) ressaltam que até mesmo características do estado fresco, como a consistência, podem interferir em manifestações futuras, como a fluência, especialmente em pilares parede, cujo comportamento depende da capacidade do concreto em manter sua estabilidade volumétrica ao longo do tempo.

Outro aspecto relevante é o tipo de agregado utilizado, pois tanto agregados naturais quanto reciclados interferem nas propriedades finais do concreto. Martins *et al.* (2021) e Salles *et al.* (2021) demonstram que o uso de agregados reciclados, embora traga benefícios ambientais, pode comprometer a resistência e a durabilidade se não houver segregação adequada e controle rigoroso da composição, já que tais agregados apresentam maior porosidade e absorção.

A partir dessas características, percebe-se que o concreto, apesar de suas vantagens, é suscetível a uma série de manifestações patológicas ao longo de sua vida útil. Morais *et al.* (2020) ressaltam que a identificação precoce desses danos é fundamental para evitar o agravamento das falhas e garantir o desempenho estrutural. Entre as causas mais comuns estão processos físico-químicos, erros executivos, falhas de projeto, agressividade ambiental e cargas além das previstas, cada uma resultando em diferentes expressões patológicas.

A corrosão das armaduras destaca-se como um dos fenômenos mais recorrentes. Segundo Araruna (2023), este processo decorre do rompimento da barreira protetora alcalina proporcionada pelo concreto ao aço, podendo ser desencadeado pela carbonatação ou pela penetração de cloretos. A evolução do processo corrosivo tende a comprometer progressivamente o desempenho estrutural, uma vez que os produtos de corrosão apresentam maior volume que o aço original, gerando tensões internas capazes de provocar fissuração, destacamento do cobrimento e, posteriormente, redução da seção resistente das barras.

Esse mecanismo, quando não identificado precocemente, acelera o avanço da deterioração e compromete a aderência entre aço e concreto, diminuindo a capacidade de

ancoragem e aumentando o risco de instabilidade estrutural. Além disso, a presença de umidade e oxigênio mantém o processo ativo, criando um ciclo contínuo de degradação que reduz a vida útil da estrutura e eleva significativamente os custos de manutenção e recuperação (Araruna, 2023).

Felix, Carrazedo e Possan (2017) explicam que a carbonatação consiste na reação entre o dióxido de carbono atmosférico e os compostos hidratados do cimento, reduzindo o pH da matriz cimentícia e tornando o aço vulnerável à oxidação. Esse processo, acelerado em ambientes urbanos, úmidos e com elevada concentração de CO_2, representa um dos principais mecanismos de degradação em edificações. Conforme a carbonatação avança pelo interior do concreto, ocorre uma redução gradual da alcalinidade que, ao atingir a superfície das armaduras, provoca a perda da camada passivadora responsável por proteger o aço.

A partir desse momento, mesmo pequenas variações de umidade e a presença de oxigênio tornam-se suficientes para iniciar a corrosão. Esse avanço é fortemente influenciado por fatores como a porosidade do concreto, a espessura do cobrimento e falhas no processo de adensamento, que facilitam a entrada de dióxido de carbono. Em estruturas com cobrimento insuficiente ou concreto de baixa qualidade, a progressão da carbonatação ocorre de forma mais rápida, favorecendo o aparecimento de fissuras, desplacamentos e enfraquecimento das seções estruturais, comprometendo gradualmente o desempenho e a durabilidade da construção (Santos; Souza; Farias, 2017).

Já Bonifácio *et al.* (2022) ressaltam que estruturas expostas a sulfatos presentes no solo ou na água subterrânea sofrem reações expansivas que provocam fissuras e perda de resistência, especialmente em fundações, cujos danos podem evoluir silenciosamente até se tornarem críticos. Essas reações decorrentes da presença de íons sulfato são particularmente prejudiciais porque alteram a microestrutura da matriz cimentícia, formando produtos expansivos como a etringita tardia, que aumentam significativamente o volume interno do concreto. Esse processo gera tensões internas capazes de provocar desagregação progressiva, destacamento superficial e comprometimento da resistência mecânica, mesmo quando não há sinais aparentes em um primeiro momento.

Cerqueira, Gonçalves e Leite (2018) ressaltam que a corrosão pode se manifestar tanto de maneira generalizada quanto localizada, provocando expansão dos produtos de corrosão e gerando fissuras longitudinais, destacamento do cobrimento e redução da seção das barras de aço. Esses efeitos comprometem tanto a durabilidade quanto a segurança estrutural, exigindo intervenções adequadas. Em pontes e viadutos, por exemplo, Bastos e Miranda (2017) evidenciam que as vibrações, ações do tráfego, intempéries e falta de manutenção favorecem o desenvolvimento de fissuras, infiltrações e corrosão, acentuando o desgaste natural das obras de arte especiais.

Outro aspecto importante refere-se as deformações lentas, como a fluência e a retração, que podem gerar fissuras e deslocamentos ao longo do tempo. Oliveira e Cardoso (2018) apontam que tais fenômenos são frequentemente subestimados no dimensionamento e podem levar ao surgimento de manifestações patológicas tardias, especialmente em elementos comprimidos ou submetidos a esforços constantes. A falta de controle rigoroso sobre a cura e o processo de adensamento do concreto também pode favorecer a formação de vazios internos, segregação e exsudação, fatores que reduzem a densidade e a resistência dos elementos estruturais.

Em pavimentos de concreto, como analisam Girardi *et al.* (2024), as patologias decorrentes do impacto de cargas repetitivas, variações térmicas e falhas no dimensionamento das juntas podem gerar destacamentos, fissurações e perda de capacidade de suporte,

comprometendo o uso e aumentando os custos de manutenção. Ainda, Gasparetto, Pantoja e Ramires (2021) reforçam que uma metodologia adequada de inspeção e avaliação da segurança é essencial para identificar não apenas os danos aparentes, mas também aqueles ocultos, que podem representar riscos significativos à integridade estrutural.

As manifestações patológicas impactam diretamente o desempenho e a vida útil das estruturas, podendo provocar desde danos estéticos até riscos de colapso. Lopes e Nóbrega (2021) mostram que, em edificações residenciais, fissuras, infiltrações, corrosão e desagregação do concreto afetam não apenas a resistência estrutural, mas também o conforto dos usuários e a valorização imobiliária.

Em estruturas de grande porte, como pontes e viadutos, Santos, Souza e Farias (2017) ressaltam que a deterioração pode comprometer seriamente a segurança da população, uma vez que tais obras estão expostas a solicitações intensas e contínuas. Casos como aqueles investigados por Gurgel *et al.* (2017), que analisaram a corrosão em uma edificação universitária, demonstram que a falta de manutenção preventiva acelera o processo de degradação, elevando os custos e ampliando os riscos associados às manifestações patológicas.

O impacto das patologias não se limita ao aspecto estrutural, estendendo-se a questões econômicas e funcionais. Moreira *et al.* (2021) destacam que o desconhecimento sobre o comportamento do concreto e suas patologias, bem como a falta de capacitação técnica, contribuem para erros de execução e dimensionamento, acarretando prejuízos significativos ao longo do ciclo de vida das estruturas. Esses aspectos reforçam a importância da formação adequada e da adoção de metodologias de inspeção contínuas, já que o custo da correção de danos severos tende a ser muito superior ao custo da prevenção.

Diante desse cenário, os métodos de recuperação tornam-se fundamentais para restabelecer a integridade e prolongar a vida útil das estruturas deterioradas. Araruna (2023) enfatiza que a eficiência das intervenções depende, antes de tudo, de uma etapa diagnóstica precisa, capaz de identificar as causas reais das manifestações patológicas e diferenciar os mecanismos de origem física, química ou mecânica, evitando soluções paliativas que não tratam o problema em sua raiz. Assim, o reparo bem-sucedido exige a compreensão completa das condições ambientais, das características do concreto e do estado da armadura antes da definição das técnicas aplicáveis.

Nesse sentido, Dourado *et al*. (2022) apontam que as metodologias de recuperação variam de acordo com o tipo e a extensão do dano observado. Para manifestações relacionadas a corrosão das armaduras, são comuns a remoção do concreto contaminado, a limpeza das barras, a passivação química com inibidores de corrosão e a recomposição da seção com argamassas poliméricas de alta aderência.

Além disso, revestimentos protetores de superfície e sistemas de barreira contra agentes agressivos auxiliam na restauração do ambiente alcalino e na proteção das armaduras contra nova deterioração. Em casos mais severos de corrosão, quando há perda significativa da seção resistente, pode ser necessária a substituição de barras ou a realização de reforços complementares. Dourado et al. (2022) também destacam o uso de sistemas de monitoramento da corrosão, que permitem acompanhar o comportamento das armaduras ao longo do tempo e avaliar a eficácia das intervenções.

Para estruturas afetadas pela carbonatação avançada, que compromete o pH do concreto e expõe o aço à oxidação, as técnicas de recuperação incluem a remoção do concreto carbonatado, a recomposição da camada de cobrimento com materiais de baixa permeabilidade e a aplicação de revestimentos de realcalinização. Em situações em que o avanço da carbonatação se encontra generalizado, a aplicação de revestimentos protetores anti-

carbonatação é recomendada, reduzindo a difusão de dióxido de carbono e prolongando a durabilidade.

No caso do ataque por cloretos, frequentemente associado a estruturas expostas a ambientes marinhos ou a sais descongelantes, a simples recomposição do concreto pode ser insuficiente. Assim, técnicas adicionais como a extração eletroquímica de cloretos e a realcalinização eletroquímica tornam-se alternativas relevantes, preservando as armaduras sem necessidade de remoções extensas, alinhando-se as abordagens de controle de agentes agressivos descritas por Araruna (2023).

Nos casos de pilares, Mota e Pinheiro (2022) apresentam estudos que demonstram a eficácia de técnicas de reforço, como o uso de jaquetas em concreto ou aço, que não apenas aumentam a capacidade resistente dos elementos, mas também controlam a propagação de fissuras e evitam danos mais profundos. Esse método é especialmente indicado quando há esmagamento do concreto, corrosão significativa das armaduras longitudinais ou perda de seção decorrente de processos químicos. O uso de jaquetas metálicas, por sua vez, tem sido empregado quando há necessidade de rápida execução, principalmente em estruturas que não podem ser descarregadas ou interditadas por longos períodos.

Em estruturas complexas, como obras de arte especiais, Bastos e Miranda (2017) reforçam que a escolha do método de intervenção deve considerar a interação entre os elementos estruturais, o impacto sobre o tráfego, as condições ambientais e o risco de reincidência da patologia. Assim, intervenções podem variar desde o reforço externo com chapas metálicas ou polímeros reforçados com fibras (PRF), até substituições parciais de segmentos comprometidos, passando por técnicas de injeção de caldas cimentícias para recomposição de regiões fissuradas.

Já na recuperação de pavimentos e pisos industriais, conforme discutido por Girardi *et al*. (2024), o processo de intervenção depende diretamente do nível de deterioração da superfície. Quando a degradação é superficial, são comuns procedimentos como lixamento, polimento e aplicação de endurecedores químicos. Para danos moderados, utilizam-se tratamentos restauradores com argamassas de alta resistência, correção das juntas e selantes com maior durabilidade. Em casos mais avançados, a substituição de placas, o reforço das áreas de maior solicitação e a melhoria do sistema de drenagem tornam-se essenciais para evitar novos processos de degradação.

No tratamento de danos associados a ataques por sulfatos, Bonifácio *et al.* (2022) destacam que a recuperação pode envolver tanto a recomposição do concreto danificado quanto intervenções preventivas, como a aplicação de barreiras impermeabilizantes e a utilização de cimentos resistentes a sulfatos em reparos estratégicos. Quando o dano compromete elementos de fundação, é necessário controlar a infiltração de água e reduzir o contato com solos agressivos, além de monitorar a evolução das reações expansivas que podem provocar desplacamentos internos.

Por fim, a durabilidade das estruturas recuperadas depende diretamente da manutenção preventiva e das inspeções periódicas, aspectos amplamente reforçados por Gasparetto, Pantoja e Ramires (2021). Esses autores enfatizam que metodologias de avaliação contínua permitem identificar precocemente a reincidência de patologias, garantindo maior segurança e desempenho.

Nesse mesmo sentido, Morais *et al.* (2020) reforçam que a análise das manifestações patológicas em estruturas de concreto exige não apenas o diagnóstico e o reparo imediato, mas uma compreensão aprofundada das causas, dos mecanismos de deterioração e do contexto ambiental. Dessa forma, a recuperação estrutural não deve ser entendida como um procedimento isolado, mas como parte de uma estratégia integrada de gestão, con-

servação e prolongamento da vida útil das edificações.

3 CONCLUSÃO

A análise realizada permitiu compreender de maneira ampla as manifestações patológicas que afetam as estruturas de concreto, reforçando que essas ocorrências constituem um desafio expressivo para a engenharia civil devido a multiplicidade de fatores envolvidos em sua origem e evolução. O estudo atingiu seu objetivo ao identificar as principais causas relacionadas ao surgimento dessas anomalias, como falhas construtivas, deficiências no controle tecnológico, exposição a ambientes agressivos e inadequações no uso e manutenção das edificações, demonstrando que tais fatores comprometem significativamente o desempenho e a longevidade das estruturas.

Constatou-se que patologias como fissuras, infiltrações, corrosão das armaduras, desagregação e deformações não representam apenas danos materiais, mas constituem processos progressivos capazes de gerar impactos estruturais, econômicos e de segurança. Quando não são diagnosticadas e tratadas precocemente, essas manifestações tendem a evoluir para estados avançados de deterioração, exigindo intervenções mais complexas e onerosas, o que evidencia a relevância do monitoramento contínuo e da adoção de práticas preventivas.

Verificou-se também que os métodos de recuperação disponíveis — como reforços estruturais, substituição de elementos deteriorados, aplicação de argamassas especializadas e técnicas de proteção ou passivação — mostram-se eficazes desde que fundamentados em um diagnóstico preciso e em planejamento técnico adequado. Ainda assim, o estudo demonstra que a prevenção permanece como a estratégia mais eficiente, uma vez que minimiza custos, reduz a necessidade de intervenções corretivas e promove maior durabilidade às edificações.

Como limitação, destaca-se que a pesquisa se fundamentou exclusivamente em referências bibliográficas, sem a realização de estudos empíricos ou avaliação prática das técnicas analisadas. Assim, recomenda-se que pesquisas futuras explorem estudos de caso, análises experimentais e comparações entre métodos tradicionais e soluções inovadoras, ampliando o conhecimento sobre a eficácia real das intervenções em diferentes contextos construtivos.

Em síntese, torna-se evidente que a gestão das manifestações patológicas em estruturas de concreto exige uma abordagem integrada, envolvendo diagnóstico adequado, manutenção preventiva, controle rigoroso da qualidade e capacitação contínua dos profissionais envolvidos. A adoção dessas práticas contribui não apenas para preservar a integridade estrutural, mas também para garantir edificações mais seguras, duráveis e alinhadas as demandas de sustentabilidade e responsabilidade técnica que orientam a engenharia contemporânea.

REFERÊNCIAS

ARARUNA, Júlio César Messias. **Prevenção e recuperação de estruturas de concreto armado submetidas ao processo de corrosão da armadura: revisão de literatura.** Revista Principia, v. 60, n. 4, p. 133-138, 2023. Disponível em: https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/iew/6633. Acesso em: 03 ago. 2025.

BASTOS, Herik César; MIRANDA, Mateus Zanirate. **Principais patologias em estruturas de concreto de pon-**

tes e viadutos: manuseio e manutenção das obras de arte especiais. CONSTRUINDO, v. 9, n. 3, p. 93-101, 2017. Disponível em: https://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/5026. Acesso em: 02 ago. 2025.

BONIFÁCIO, Diego Rodrigues *et al.* **Análise sobre ataques por sulfatos ao concreto de fundações.** Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 14, n. 4, 2022. Disponível em: https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/20653. Acesso em: 02 ago. 2025.

CERQUEIRA, Marcellus Fortes; GONÇALVES, Rodrigo Souza; LEITE, Igor Charlles Siqueira. **Manifestações patológicas em concreto armado estudo de caso corrosão nas armaduras.** Projectus, v. 3, n. 1, p. 62-79, 2018. Disponível em: https://scholar.archive.org/work/mlp6r435m/ /https://revistas.unisuam.edu. /projectus/article/download/628/318. Acesso em: 02 ago. 2025.

CHOLFE, Luiz; BONILHA, Luciana. **Concreto protendido: teoria e prática**. Oficina de Textos, 2018. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=gvGnEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=CONCRETO&ots=eCurWo_D0c&sig=PWPHflA3-UHyPphyi6Z6TwXGjJQ. Acesso em: 01 ago. 2025.

DOURADO, Deybion *et al.* **Métodos de recuperação, proteção e monitoramento de estruturas de concreto armado em processo de corrosão: revisão de literatura.** Revista Científica Multidisciplinar, v. 3, n. 9, p. e391820-e391820, 2022. Disponível em: https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1820. Acesso em: 02 ago. 2025.

FELIX, Emerson Felipe; CARRAZEDO, Rogério; POSSAN, Edna. **Análise paramétrica da carbonatação em estruturas de concreto armado via Redes Neurais Artificiais.** Revista Alconpat, v. 7, n. 3, p. 302-316, 2017. Disponível em: https://www.scielo.org.mx/? -01700030030script. Acesso em: 02 ago. 2025.

GASPARETTO, Angelica; PANTOJA, João; RAMIRES, Fernando Busato. **Metodologia para inspeção e avaliação da segurança e durabilidade de estruturas de concreto armado.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 1, p. 4942-4960, 2021. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23108. Acesso em: 24 mar. 2025.

GIRARDI, Ingrid Jordana *et al.* **Manifestações patológicas em pavimentos de concreto: análise em armazéns do porto de rio grande**. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 20, n. 2, p. 97-121, 2024. Disponível em: https://revistas.ufg.br/reec/article/view/78817. Acesso em: 02 set. 2025.

GURGEL, Bruna *et al.* **Análise das Manifestações Patológicas causadas por corrosão nas Estruturas de Concreto Armado do Setor III da UFRN.** In: Conferência Nacional De Patologia E Recuperação De Estruturas–CONPAR. Recife. 2017. Disponível em: http://revistas.poli.br/index.php/CONPAR/article/view/607. Acesso em: 02 ago. 2025.

LOPES, Diego Meireles; NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues. **Avaliação das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado de uma edificação.** Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula, v. 4, n. 1, p. 75-91, 2021. Disponível em: https://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/1474. Acesso em: 02 ago. 2025.

MADUREIRA, Eduardo; PAIVA, Luane. **Efeito da consistência do concreto fresco sobre o fenômeno de fluência em pilares parede.** Revista IBRACON, v. 11, n. 3, p. 644-651, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/j/riem/a/T7HjZ4BVykJp/?format=pdf. Acesso em: 01 ago. 2025.

MARTINS, Leandro *et al.* **Influência de agregados reciclados de concreto nas propriedades de novos concretos**. Research, Society and Development, v. 10, n. 4, p. e34210414238-e34210414238, 2021. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14238. Acesso em: 01 ago. 2025.

MORAIS, João Marcos Pereira *et al.* **Análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: uma revisão.** Research, Society and Development, v. 9, n. 7, p. e7599764-e759974964, 2020. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4964. Acesso em: 24 mar. 2025.

MOREIRA, Sérgio Trajano Franco *et al.* **Aprendizagem baseada em problemas: disciplina de estruturas de concreto armado do curso de engenharia civil**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 4, p. 34401-34413, 2021. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/27619. Acesso em: 24 mar. 2025.

MOTA, Elvys Fonseca; PINHEIRO, Érika Nogueira. **Recuperação de estrutura de concreto armado: pilares–estudo de caso**. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 5, p. 38162-38179, 2022. Disponível em: https://scholar.archive. /27mpe3iuaje7derzh2o2mwpnqy/access/wayback/https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/48169/pdf. Acesso em: 03 ago. 2025.

OLIVEIRA, Talita Souza; CARDOSO, Ana Carolina. **Deformação lenta das estruturas de concreto armado e**

suas manifestações patológicas. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 10, n. 2, p.160-171, 2018. Disponível em: https://revistas.uepg.br/ind/article/download9209210174. Acesso em: 24 mar. 2025.

SALLES, Pedro Valle *et al.* **A importância da segregação do agregado reciclado na resistência e na durabilidade do concreto estrutural.** Ambiente Construído, v. 21, n. 3, pág. 177-196, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ac/a/sBkpcRRznX757JkkMkhwCfr/. Acesso em: 01 ago. 2025.

SANTOS, Alfredo Gomes; SOUZA, Anderson Oliveira; FARIAS, Manoel Leandro. **Levantamento das manifestações patológicas de uma ponte de concreto armado junto as suas possíveis técnicas de recuperação.** CONPAR2017. Recife. 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/download/85158835/218.pdf. Acesso em: 04 ago. 2025.

CAPACIDADE DE CARGA E ASSENTAMENTO DE FUNDAÇÕES RASAS: MÉTODOS CLÁSSICOS E CONTEMPORÂNEOS DE DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE

BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT OF SHALLOW FOUNDATIONS:

CLASSICAL AND CONTEMPORARY METHODS OF DESIGN AND ANALYSIS

Ronaldo de Jesus Barros

17

Pascal
Editora

RESUMO

O presente trabalho aborda a avaliação da capacidade de carga e dos assentamentos em fundações rasas, elementos fundamentais para a estabilidade e segurança de edificações. O estudo teve como objetivo compreender, de forma integrada, os métodos clássicos e contemporâneos utilizados no dimensionamento e análise dessas fundações, destacando suas características, vantagens e limitações. A pesquisa foi realizada por meio de revisão bibliográfica qualitativa e descritiva, contemplando obras publicadas nos últimos dez anos e referências clássicas relevantes, permitindo a análise crítica das abordagens tradicionais e modernas. Os métodos clássicos, fundamentados em teorias consolidadas de mecânica dos solos, fornecem estimativas iniciais confiáveis de capacidade de carga e recalques, enquanto os métodos contemporâneos incorporam modelagem computacional, simulações numéricas e técnicas de inteligência artificial, possibilitando maior precisão frente à complexidade e variabilidade do solo. A análise evidencia que as duas abordagens se complementam, sendo recomendada sua integração para o desenvolvimento de projetos estruturais mais seguros e eficientes. Os resultados ressaltam a importância de considerar as propriedades do solo, a geometria da fundação e os fatores de comportamento não linear, promovendo edificações duráveis e adequadas às condições geotécnicas específicas. O estudo contribui para a sistematização do conhecimento em engenharia geotécnica e aponta direções para pesquisas futuras, como o uso de inteligência artificial e modelagem avançada no controle e previsão de desempenho de fundações rasas.

Palavras-chave: Assentamento de Fundações. Fundações Rasas. Capacidade de Carga. Métodos Clássicos e Contemporâneos. Análise Geotécnica.

ABSTRACT

This paper addresses the evaluation of the bearing capacity and settlement in shallow foundations, which are fundamental elements for the stability and safety of buildings. The objective of the study was to comprehensively understand the classical and contemporary methods used in the design and analysis of these foundations, highlighting their characteristics, advantages, and limitations. The research was conducted through a qualitative and descriptive literature review, including works published in the last ten years and relevant classical references, enabling a critical analysis of both traditional and modern approaches. Classical methods, grounded in established soil mechanics theories, provide reliable initial estimates of bearing capacity and settlement, while contemporary methods incorporate computational modeling, numerical simulations, and artificial intelligence techniques, enabling greater accuracy in dealing with the complexity and variability of soil. The analysis shows that the two approaches are complementary, with their integration recommended for the development of safer and more efficient structural projects. The results emphasize the importance of considering soil properties, foundation geometry, and nonlinear behavioral factors, promoting buildings that are durable and suited to specific geotechnical conditions. The study contributes to the systematization of knowledge in geotechnical engineering and points to future research directions, such as the use of artificial intelligence and advanced modeling in the control and prediction of shallow foundation performance..

Keywords: Foundation Settlement. Shallow Foundations. Bearing Capacity. Classical and Contemporary Methods. Geotechnical Analysis.

1 INTRODUÇÃO

As fundações constituem elementos estruturais essenciais na engenharia civil, sendo responsáveis pela transmissão das cargas das edificações ao solo de forma segura. Entre os diferentes tipos de fundações, as rasas se destacam pelo emprego frequente em obras de pequeno e médio porte, devido à sua execução relativamente simples e à eficiência técnica demonstrada em diversos contextos geotécnicos. A estabilidade e a durabilidade das construções dependem da correta interação entre a fundação e o solo, tornando indispensável o estudo aprofundado das propriedades do terreno e da resposta estrutural associada às cargas aplicadas. A análise adequada desses elementos possibilita projetar edificações seguras, confiáveis e compatíveis com os esforços estruturais previstos.

Um aspecto central no dimensionamento de fundações rasas refere-se à capacidade de carga do solo, que define a máxima tensão suportável sem risco de ruptura. A determinação precisa dessa capacidade é fundamental para o desenvolvimento de projetos estruturais eficientes, garantindo que as bases resistam às solicitações impostas pelas edificações. Ao longo da evolução da engenharia geotécnica, métodos clássicos forneceram ferramentas robustas para cálculo da capacidade de carga, oferecendo soluções simplificadas e empiricamente validadas. Entretanto, avanços tecnológicos e conceituais possibilitaram o surgimento de métodos contemporâneos, que incorporam modelagem numérica, análise computacional e técnicas de inteligência artificial, ampliando a precisão e a aplicabilidade das análises.

Além da capacidade de carga, a avaliação de assentamentos do solo constitui outro elemento crucial, pois os deslocamentos verticais resultantes da aplicação de cargas podem comprometer o desempenho da edificação, mesmo na ausência de ruptura do terreno. Assentamentos excessivos ou irregulares podem gerar problemas estruturais e funcionais, afetando a integridade da construção e sua durabilidade. Portanto, a análise detalhada do comportamento do solo sob carregamento, considerando diferentes condições de resistência e deformabilidade, é essencial para garantir a segurança e a estabilidade das fundações rasas.

Apesar da existência de diversos métodos para dimensionamento de capacidade de carga e avaliação de assentamentos, observam-se lacunas na seleção e aplicação adequada de cada abordagem, especialmente quando se busca comparar o desempenho de métodos clássicos e contemporâneos. A literatura aponta limitações relacionadas à simplificação de condições de solo, à dificuldade de modelagem de não linearidades e à necessidade de dados extensivos para métodos avançados. Diante disso, surge a necessidade de estudos que integrem criticamente essas abordagens, analisando convergências, divergências e limitações, a fim de subsidiar projetos mais seguros e eficientes em diferentes contextos geotécnicos.

O objetivo deste estudo consistiu em compreender, a partir de revisão bibliográfica, as características, vantagens e limitações dos métodos clássicos e contemporâneos aplicados à análise da capacidade de carga e dos assentamentos em fundações rasas. Buscou-se, ainda, relacionar esses conhecimentos, evidenciando as interações conceituais entre os dois aspectos e permitindo a identificação de critérios metodológicos confiáveis para diferentes condições de solo. A investigação foi orientada pela questão central: como os métodos clássicos e contemporâneos se diferenciam e se complementam na avaliação da capacidade de carga e dos assentamentos em fundações rasas, e de que forma tais análises podem orientar projetos estruturais seguros e eficientes?

Dessa forma, a pesquisa justifica-se pela relevância acadêmica e prática de sistematizar o conhecimento existente sobre fundações rasas, reunindo informações consolida-

das sobre métodos tradicionais e modernos. Os resultados esperados contribuem para a formação de engenheiros mais capacitados e para a implementação de soluções técnicas aprimoradas, que promovam edificações seguras, duráveis e compatíveis com as demandas atuais da engenharia civil. Além disso, a compreensão integrada desses métodos possibilita identificar lacunas na literatura e direcionar futuras pesquisas que avancem na análise e no dimensionamento de fundações rasas em solos variados.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido como Revisão Bibliográfica, uma abordagem de pesquisa qualitativa e descritiva, que permitiu reunir e analisar criticamente diferentes contribuições teóricas consolidadas sobre dimensionamento e análise de fundações rasas, sem a realização de experimentações práticas, proposição de hipóteses ou intervenções. O recorte temporal da pesquisa abrangeu obras publicadas nos últimos dez anos, de 2015 a 2025, de modo a contemplar tanto os fundamentos clássicos quanto os avanços mais recentes da área. Obras clássicas fora desse intervalo foram incluídas quando apresentaram relevância conceitual, permitindo contextualizar os métodos tradicionais e relacioná-los com práticas contemporâneas de análise de fundações.

As fontes de pesquisa utilizadas incluíram bases de dados reconhecidas pela comunidade científica, como Google Acadêmico, SciELO, ScienceDirect e Periódicos CAPES, além de livros técnicos disponíveis em bibliotecas universitárias. A busca de referências foi realizada por meio de descritores e palavras-chave relacionados ao tema, como “assentamento de fundações”, “fundações rasas”, “capacidade de carga”, “métodos clássicos”, “métodos contemporâneos” e “análise geotécnica”. Todo o material selecionado foi analisado de forma crítica e organizado de modo a fornecer uma fundamentação teórica, permitindo compreender os principais métodos de dimensionamento e análise de fundações rasas, desde os conceitos clássicos até os avanços mais recentes da engenharia geotécnica.

2.2 Resultados e Discussão

As fundações constituem elementos essenciais na engenharia civil, pois são empregadas na transferência das cargas de uma edificação para o solo de maneira segura, assegurando a estabilidade da construção e prevenindo deformações indesejadas. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da norma NBR 6122:2019, define que a escolha do tipo de fundação deve considerar tanto as condições do solo quanto os requisitos estruturais da obra. Entre as opções disponíveis, destacam-se as fundações rasas e profundas, cada uma projetada para atender a diferentes situações geotécnicas e níveis de carga, fornecendo critérios para a seleção mais adequada conforme a capacidade do terreno e as características específicas da construção (ABNT, 2019).

Fundações superficiais, também denominadas rasas ou diretas, são elementos estruturais que transferem a carga da edificação para o solo principalmente por meio das pressões distribuídas sobre a sua base. Caracterizam-se por apresentar profundidade de assentamento inferior a duas vezes a menor dimensão da própria fundação em relação ao terreno adjacente, garantindo que a transmissão de esforços seja eficaz sem necessidade de profundidade excessiva (ABNT, 2019). A Fundação rasa geralmente é instalada a profundidades que não ultrapassam três metros abaixo do nível do piso (Bezerra; Santos Neto;

Souza, 2024). O Quadro 1 apresenta os diferentes tipos de fundações rasas, detalhando suas principais características especificadas pela ABNT (2019) na NBR 6122:2019.

Tipo	Propriedades e variações		
Sapatas	Elemento de fundação superficial em concreto armado, projetado de forma que as tensões de tração sejam absorvidas exclusivamente pela armadura, não pelo próprio concreto. Sua espessura pode ser constante ou variável, enquanto a base, em planta, apresenta formas geralmente quadradas, retangulares ou trapezoidais.	**Sapata associada ou *radier* parcial**	Sapata que atende a múltiplos pilares, cujos centros, em planta, não se encontram alinhados linearmente.
		Sapata corrida	Sapata projetada para suportar uma carga distribuída de forma linear ao longo de sua extensão.
Blocos	Elemento de fundação superficial em concreto projetado de forma que as tensões de tração sejam suportadas pelo próprio concreto, dispensando o uso de armaduras. Suas faces podem ser verticais, inclinadas ou em degraus, e a seção em planta apresenta normalmente formato quadrado ou retangular.		
Radier	Elemento de fundação superficial destinado a suportar todos os pilares de uma edificação ou cargas distribuídas, como aquelas provenientes de tanques, depósitos, silos e estruturas similares.		
Viga de fundação	Elemento de fundação superficial que atende a múltiplos pilares, cujos centros, em planta, estão alinhados linearmente.		

Quadro 1. Tipos e principais características de fundações rasas.

Fonte: Adaptado de ABNT (2019)

Além de compreender os tipos de fundações rasas em termos construtivos e suas propriedades, é importante visualizá-los em suas formas geométricas. Nesse sentido, a Figura 1 complementa o Quadro 1 ao ilustrar os principais tipos de fundações rasas e evidenciar suas diferentes formas construtivas. Observa-se o bloco, indicado para cargas concentradas em solos resistentes; a sapata isolada, que distribui a carga de pilares individuais; a sapata associada ou *radier* parcial, utilizada quando pilares estão próximos ou em solos de menor resistência; o *radier*, laje contínua que apoia toda a construção e distribui uniformemente as cargas; e a sapata corrida, aplicada sob paredes de carga (Noguchi, 2012).

É igualmente fundamental avaliar a capacidade de carga e o comportamento de assentamento dessas estruturas, considerando seus conceitos à luz dos métodos clássicos e das abordagens contemporâneas de dimensionamento e análise. O assentamento de fundações refere-se à deformação vertical que ocorre no solo quando a carga da edificação é transmitida por meio da fundação. Esse fenômeno ocorre devido à compressão do solo, que se ajusta à presença da carga aplicada pelos pilares, paredes ou outros elementos estruturais (Sampaio, 2017).

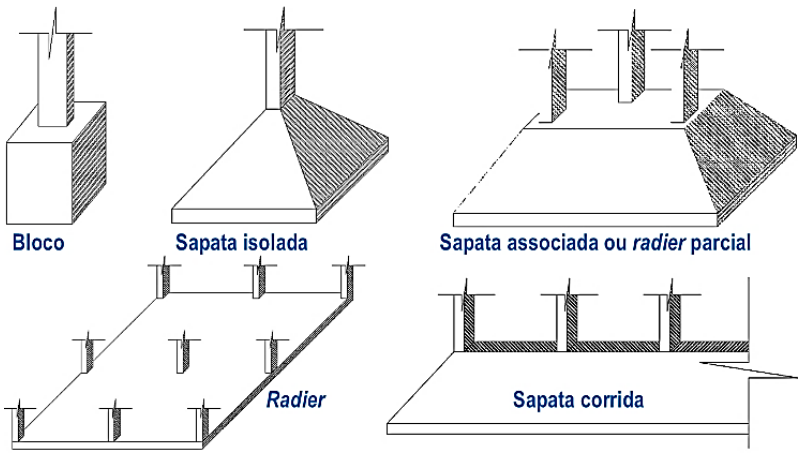


Figura 1. Tipos de fundação superficial ou rasa.

Fonte: Adaptado de Noguchi (2012, p. 31-33).

Nesse contexto, segundo Batista (2024), torna-se essencial compreender os fatores que condicionam tais deslocamentos e adotar métodos de estimativa (critérios adequados de previsão e controle), de modo a assegurar a segurança e a durabilidade das construções, e prevenir deformações excessivas que possam comprometer a funcionalidade da edificação.

O assentamento pode ser classificado de diferentes formas. O assentamento total ou global corresponde à deformação completa do solo sob a fundação, enquanto o assentamento diferencial refere-se à variação de recalque entre diferentes pontos da mesma fundação ou entre fundações distintas, podendo provocar fissuras, inclinações em pisos e desalinhamento de portas e janelas. Além disso, os recalques podem ocorrer de forma instantânea, devido à compressão elástica do solo, ou de forma gradual, por consolidação, dependendo das características do solo e do tempo de aplicação da carga (Sampaio, 2017).

Conforme estudos clássicos, como os de Burland, Mello e Broms (1977), e os valores propostos por Skempton e MacDonald (1956), existem limites recomendados de recalque, tanto diferencial quanto total ou global, que são aceitos em situações rotineiras de projeto de estruturas em aço e concreto. Esses valores servem como referência prática para projetistas e engenheiros, permitindo decisões seguras sobre o dimensionamento das fundações. A Tabela 1, elaborada a partir da abordagem de Batista (2024) sobre limites de recalque máximo admissível, relaciona dois parâmetros principais de deformação do solo sob fundações rasas, em diferentes tipos de solo.

Efeitos de assentamento (*mm*)		**Tipo de solo**	
		Arenoso	**Argiloso**
Recalque diferencial máximo admissível (δ_max)		25	40
Recalque global máximo admissível (ρ_max)	Sapata isolada	40	65
	Radier	40 - 65	65 - 100

Tabela 1. Limites para recalques diferencial e global.

Fonte: Adaptado de Batista (2024)

A partir da análise dos limites de recalque expressos na Tabela 1, observa-se que os solos argilosos apresentam maior tolerância a deformações quando comparados aos solos arenosos. Enquanto para as areias o recalque máximo permitido em fundações rasas é mais restritivo (25 mm para recalque total e até 40 mm para sapatas isoladas), nas argilas esses valores são mais elevados (40 mm e até 65 mm, respectivamente). A mesma tendên-

cia se verifica em *radiers*, onde as areias admitem recalques de 40 a 65 mm, ao passo que as argilas suportam até 100 mm (Batista, 2024).

Essa diferença está relacionada ao comportamento mecânico dos solos: as areias, por serem mais rígidas e menos compressíveis, apresentam recalques menores e exigem limites mais conservadores; já as argilas, devido à sua maior compressibilidade e capacidade de dissipar deformações, permitem recalques mais significativos sem comprometer a estabilidade da estrutura. Assim, os parâmetros de projeto precisam ser definidos considerando o tipo de solo, a fim de assegurar a segurança e a durabilidade das edificações (Batista, 2024).

Os métodos clássicos de previsão do assentamento em fundações rasas são essenciais para a engenharia geotécnica, pois fornecem estimativas iniciais do comportamento do solo sob carregamento, permitindo projetar estruturas mais seguras e eficientes. Segundo Alonso (2019), esses métodos, desenvolvidos ao longo do tempo, baseiam-se em teorias consolidadas de mecânica dos solos e ensaios laboratoriais que relacionam compressibilidade, tensão e deformação do solo. Apesar de apresentarem limitações quanto à complexidade do solo e à precisão em condições não ideais, eles permanecem amplamente utilizados por sua simplicidade e robustez conceitual.

Os métodos clássicos de previsão de assentamento de fundações rasas incluem a abordagem elástica imediata, nos quais se estima o assentamento imediato a partir de tensões induzidas no solo por uma sapata, radier ou bloco. Esses métodos utilizam parâmetros como o módulo de elasticidade do solo, o coeficiente de Poisson, a geometria da fundação e a distribuição de tensões no solo. No Brasil esse tema aparece investigado, por exemplo, no trabalho Furtado Junior (2021) sobre a análise do desempenho de fundações rasas do tipo sapata e *radier* no solo do litoral paranaense, em que se comparam sapata *versus* radier, utilizando métodos semiempíricos para prever recalques.

Outra das abordagens clássicas é a teoria da consolidação unidimensional de solos finos, para estimar assentamentos por drenagem (compressão primária), bem como considerações de compressibilidade secundária, onde relevante. Parâmetros de laboratório (ensaio edométrico) são usados para determinar módulo de compressibilidade ou coeficiente de adensamento, e essas previsões podem ser ajustadas ou verificadas com instrumentos de campo ou sondagens. Em dissertação brasileira, por exemplo, Soares (2018) investigou a previsão de recalques por colapso de sapatas assentadas em solos naturais e compactados, considerando modelos elastoplásticos para solos não saturados, o que complementa os métodos clássicos para casos em que há influência de colapso ou mudança repentina de volume.

Apesar dessas metodologias, os trabalhos brasileiros apontam limitações práticas: as previsões muitas vezes são imprecisas se os parâmetros de solo (elasticidade, compressibilidade, saturação) não forem bem determinados, ou se o solo apresentar comportamento não linear, heterogêneo ou com forte influência de tensões prévias. Também o efeito de solos colapsáveis ou solos com comportamento de volume variável evidencia a necessidade de modelos além da teoria clássica pura. O estudo de Soares (2018), acima citado, mostra justamente a comparação entre previsões teóricas por modelos elastoplásticos e os comportamentos observados ou simulados, mostrando que para sapatas em solos naturais/compactados colapsáveis, o método clássico de previsão por elasticidade pode subestimar assentamentos.

Os métodos contemporâneos de previsão de assentamentos de fundações rasas avançam em relação aos clássicos ao incorporar ferramentas computacionais, modelos constitutivos mais realistas e técnicas de inteligência artificial. Em vez de assumir linearidade e

homogeneidade do solo, esses métodos utilizam simulações numéricas (elementos finitos ou diferenças finitas) com modelos elastoplásticos ou hipoplásticos que permitem capturar não linearidade de rigidez, anisotropia e efeitos de carregamentos cíclicos. Além disso, há crescente uso de *machine learning* e redes neurais para correlacionar dados de campo (SPT, CPTu, ensaios de placa) com recalques observados, fornecendo previsões mais ajustadas a condições locais (Khajehzadeh *et al*., 2024).

Outro avanço está no uso de fatores de correção para *creep* e fluência em solos arenosos, como demonstrado em análises recentes de macroelementos para fundações superficiais (Liu *et al*., 2024). Assim, enquanto os métodos clássicos ainda são fundamentais como base de cálculo e verificação, os métodos contemporâneos oferecem maior precisão e reduzem incertezas, sobretudo em solos complexos e em obras de maior porte.

A capacidade de carga é outro fator decisivo no dimensionamento de elementos de fundação. A capacidade de carga de fundações rasas refere-se à maior tensão que o solo pode suportar sob a base da fundação sem sofrer ruptura ou deformação excessiva, considerando sua resistência ao cisalhamento, peso volumétrico, profundidade de assentamento, geometria da fundação e condições do solo adjacente. Nos estudos recentes, esse conceito tem sido refinado para incorporar variáveis como heterogeneidade do solo, comportamento não linear, interferência de camadas superficiais ou enterradas, e efeitos de forma e profundidade, o que permite previsões mais realistas (Ahmad *et al*., 2021; Bhardwaj; Sharma, 2023).

3 CONCLUSÃO

A presente pesquisa alcançou os objetivos propostos ao promover uma análise abrangente sobre os métodos clássicos e contemporâneos aplicados à avaliação da capacidade de carga e dos assentamentos em fundações rasas. Por meio da revisão bibliográfica, foi possível compreender as bases teóricas e práticas que sustentam essas abordagens, destacando suas principais características, vantagens e limitações no contexto da engenharia geotécnica. Constatou-se que, embora os métodos clássicos continuem sendo amplamente utilizados devido à sua simplicidade e consolidação empírica, os métodos contemporâneos introduzem avanços significativos ao incorporar modelagens numéricas e recursos computacionais que ampliam a precisão e a confiabilidade das análises.

A análise crítica permitiu responder à questão central de pesquisa, evidenciando que os métodos clássicos e contemporâneos não se excluem, mas se complementam no dimensionamento de fundações rasas. Os primeiros fornecem fundamentos conceituais sólidos e servem como ponto de partida para estimativas iniciais, enquanto os segundos aprimoram essas previsões ao considerar fatores mais complexos de comportamento do solo. Assim, a integração entre ambos representa uma estratégia promissora para o desenvolvimento de projetos estruturais mais seguros e eficientes. Todavia, identificaram-se limitações relacionadas à disponibilidade de dados geotécnicos detalhados e à necessidade de ferramentas computacionais avançadas, o que ainda restringe a aplicação prática de metodologias mais sofisticadas em alguns contextos profissionais.

Como recomendação, sugere-se que estudos futuros ampliem a comparação entre métodos numéricos e empíricos em solos brasileiros, considerando variáveis regionais e condições geológicas específicas. Também se destaca a importância de pesquisas que explorem o uso de inteligência artificial e aprendizado de máquina como instrumentos de previsão e controle de desempenho das fundações. Tais iniciativas poderão contribuir para o avanço da engenharia civil, fortalecendo a integração entre teoria e prática e pro-

movendo soluções cada vez mais sustentáveis, seguras e tecnicamente embasadas para o dimensionamento e análise de fundações rasas.

4. AUTORIZAÇÕES

Ao submeter o trabalho, os autores tornam-se responsáveis por todo o conteúdo da obra.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 108 p.

AHMAD, Mahmood. *et al*. Prediction of ultimate bearing capacity of shallow foundations on cohesionless soils: A gaussian process regression approach. **Applied Sciences**, v. 11, n. 21, p. 10317, 2021.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Previsão e controle das fundações: uma introdução ao controle da qualidade em fundações**. 3. ed. – São Paulo: Blücher, 2019. 154 p.

BATISTA, Heitor Venâncio Conceição de Lima. **Considerações sobre aspectos gerais de projetos de fundações rasas e profundas**. 2024. 138 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2024.

BEZERRA, Bruno Oliveira; SANTOS NETO, Edinaldo Feitosa; SOUZA, Diego Silva. Elementos de fundação: indicação de aplicação partindo do pré-projeto. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 8, n. 2, p. 25-41, 2024.

BHARDWAJ, Avinash; SHARMA, Ravi Kumar. Bearing capacity evaluation of shallow foundations on stabilized layered soil using ABAQUS. **Studia Geotechnica et Mechanica**, v. 45, n. 1, p. 55-71, 2023.

BURLAND, J. B.; MELLO, V. F. B.; BROMS, B. B. Behaviour of foundations and structures. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 9., 1977. **Proceedings** [...]. Tokyo, 1977. p. 495–546. Disponível em: https://inspectapedia.com/structure/Behaviour-of-Foundations-Footings--Burland.pdf. Acesso em: 01 out. 2025.

FURTADO JUNIOR, Ivo Antonio Silva. **Estudo de caso: análise do desempenho de fundações rasas do tipo sapata e radier no solo do litoral paranaense**. 2021. 119 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2021.

KHAJEHZADEH, Mohammad. *et al*. Developing effective optimized machine learning approaches for settlement prediction of shallow foundation. **Heliyon**, v. 10, n. 17, 2024.

LIU, Bo. *et al*. An improved creep correction factor for footings on sand using macro-element simulations. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering**, v. 177, n. 2, p. 179-190, 2024.

MEYERHOF, George Geoffrey. Some recent research on the bearing capacity of foundations. **Canadian geotechnical journal**, v. 1, n. 1, p. 16-26, 1963.

NOGUCHI, Leandro Tomio. **Análise da capacidade de carga de fundação por sapatas executadas na cidade de São Caetano do Sul/SP**. 2012. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na área de Geotecnia) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2012.

SAMPAIO, Glayson Barbosa. Análise das patologias nas fundações oriundas de recalque diferencial através de um estudo de caso. **Revista CONSTUINDO**, v. 9, n. 2, p. 16-26, 2017.

SKEMPTON, Alec Westley; MACDONALD, Donald Hugh. The allowable settlements of buildings. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, v. 5, n. 6, p. 727-768, 1956.

SOARES, Fábio Visnadi Prado. **Previsão de recalques por colapso de sapatas assentes em solo natural e compactado**. 2018. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2018.

TERZAGHI, Karl. **Theoretical Soil Mechanics**. New York: John Wiley & Sons, 1943.

Pascal
Editora

Engenharia Elétrica

ESTUDO SOBRE OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: UMA REVISÃO DA LITERATURA

STUDY ON GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A LITERATURE REVIEW

Bruno Silva Batista
Lilian Pereira Barros

18

Pascal
Editora

RESUMO

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a busca por alternativas energéticas sustentáveis têm impulsionado o desenvolvimento e a adoção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, os quais permitem a conversão da radiação solar em eletricidade limpa e renovável. Este trabalho teve como objetivo geral revisar a literatura sobre os sistemas fotovoltaicos on-grid, com foco em sustentabilidade e eficiência energética, além de identificar desafios técnicos, econômicos e regulatórios que influenciam sua expansão. A metodologia adotada foi uma pesquisa bibliográfica, de caráter qualitativo e descritivo, baseada na análise de livros, artigos científicos, relatórios e documentos oficiais publicados entre 2015 e 2025, em português e inglês. Os resultados mostraram que os sistemas conectados à rede oferecem benefícios ambientais, econômicos e sociais relevantes, como a redução de emissões de gases de efeito estufa, a compensação de energia elétrica e o fortalecimento da geração distribuída. Entretanto, ainda existem entraves para sua popularização, entre os quais se destacam os custos iniciais de instalação, a intermitência na geração e a necessidade de redes elétricas modernas. Conclui-se que os sistemas fotovoltaicos on-grid representam uma alternativa promissora para diversificação da matriz energética, sendo fundamental o aprimoramento das políticas públicas e da infraestrutura elétrica para sua consolidação.

Palavras-chave: Energia solar. Sistemas fotovoltaicos. Geração distribuída. Eficiência energética.

ABSTRACT

The growing concern about climate change and the pursuit of sustainable energy alternatives have driven the development and adoption of grid-connected photovoltaic systems, which enable the conversion of solar radiation into clean and renewable electricity. The main objective of this study was to review the literature on on-grid photovoltaic systems, focusing on sustainability and energy efficiency, as well as to identify technical, economic, and regulatory challenges that influence their expansion. The methodology adopted was bibliographic research of a qualitative and descriptive nature, based on the analysis of books, scientific articles, reports, and official documents published between 2015 and 2025, in both Portuguese and English. The results showed that grid-connected systems offer significant environmental, economic, and social benefits, such as the reduction of greenhouse gas emissions, electricity compensation, and the strengthening of distributed generation. However, there are still barriers to their widespread adoption, including high initial installation costs, generation intermittency, and the need for modern electrical grids. It is concluded that on-grid photovoltaic systems represent a promising alternative for the diversification of the energy matrix, and that the improvement of public policies and electrical infrastructure is essential for their consolidation.

Keywords: Solar energy. Photovoltaic systems. Distributed generation. Energy efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de promover o desenvolvimento sustentável têm impulsionado o uso de fontes alternativas de energia. Nesse cenário, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede surgem como uma solução viável, permitindo a conversão da luz solar em eletricidade limpa e renovável. Esses sistemas possibilitam o consumo e a injeção do excedente energético na rede, promovendo uma participação ativa do consumidor na matriz energética.

Justifica-se o crescimento dessa tecnologia diante da urgência em diversificar a matriz energética e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. No entanto, apesar do avanço regulatório e dos incentivos existentes, sua expansão ainda encontra obstáculos. A pergunta que norteia esta pesquisa é: quais são os principais desafios e benefícios dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede para a sustentabilidade e a eficiência energética? A resposta a essa questão pode contribuir com a adoção consciente e estratégica dessa alternativa.

A implementação de sistemas fotovoltaicos on-grid apresenta diversos benefícios ambientais, econômicos e sociais. Entre eles, destacam-se a redução das emissões de gases de efeito estufa, a compensação de energia na conta de luz e o fortalecimento da geração distribuída. No Brasil, a regulamentação estabelecida pela ANEEL tem sido fundamental para consolidar esse modelo, oferecendo segurança jurídica e estímulo ao investimento.

Entretanto, existem desafios que limitam a popularização dessa tecnologia, como o custo inicial de instalação, a intermitência na geração e a necessidade de redes elétricas mais modernas. A variabilidade da radiação solar exige soluções técnicas para manter a estabilidade do fornecimento. Além disso, políticas públicas mais eficazes e linhas de crédito acessíveis são necessárias para ampliar o acesso à energia solar.

Do ponto de vista técnico, destaca-se a importância dos inversores, sistemas de monitoramento e dispositivos de proteção para garantir o bom desempenho dos sistemas. Também é essencial atualizar os marcos regulatórios para acompanhar a evolução tecnológica. Tais medidas favorecem a integração eficiente da energia solar ao sistema elétrico nacional e promovem um modelo energético mais descentralizado.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo geral revisar a literatura sobre os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, com foco em sustentabilidade e eficiência energética. Especificamente, busca-se descrever seu funcionamento e estrutura, identificar os principais desafios técnicos, econômicos e regulatórios e discutir seus impactos no setor energético. A pesquisa visa contribuir com o debate sobre a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável.

Este estudo consiste em uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e descritivo, voltada à análise de materiais teóricos publicados entre 2015 e 2025 sobre energia solar fotovoltaica. A pesquisa contemplou artigos científicos em português e inglês, livros técnicos, teses, dissertações, relatórios e documentos oficiais, obtidos em bases como Google Acadêmico, *Scielo, ScienceDirect, IEEE Xplore e ResearchGate*, além de sites institucionais como ANEEL, CEPEL e ABNT. Foram utilizados os descritores “energia solar”, “sistemas fotovoltaicos” e “geração distribuída”, excluindo-se estudos que não abordavam diretamente o tema ou não possuíam revisão por pares.

2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E EFEITO FOTOVOLTAICO

A crescente demanda por fontes de energia sustentáveis e o agravamento das mudanças climáticas têm impulsionado a busca por tecnologias limpas e renováveis. Nesse contexto, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (grid-tie) tornaram-se uma das soluções mais promissoras para a geração de energia elétrica de forma descentralizada e ambientalmente responsável (Cunha *et al.,* 2020).

A literatura técnica aponta diversos benefícios desses sistemas, como a redução da conta de luz, a diminuição das perdas por transmissão e a contribuição para uma matriz energética mais limpa e descentralizada. Além disso, sua escalabilidade permite a aplicação tanto em residências quanto em grandes empreendimentos. No Brasil, a alta incidência solar torna a tecnologia ainda mais promissora para a geração distribuída (CRESESB, 2020).

Apesar das vantagens, ainda existem desafios para a ampla adoção dessa tecnologia. Entre eles estão os altos custos iniciais de instalação, a dependência da radiação solar e a necessidade de políticas públicas que incentivem sua expansão. O correto dimensionamento dos sistemas e a eficiência dos equipamentos também são aspectos cruciais para garantir sua viabilidade técnica e econômica (Nogueira *et al.,* 2018).

O termo radiação solar refere-se ao fluxo de potência por unidade de área, conhecido como irradiância solar. Como nem toda superfície da Terra está posicionada perpendicularmente aos raios solares, a quantidade de energia recebida em um plano horizontal é reduzida. Assim, a irradiância solar varia conforme a posição geográfica e o ângulo de incidência dos raios (EPE, 2016).

A conversão da radiação solar em eletricidade fundamenta-se no efeito fotovoltaico, fenômeno descrito pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel. Esse efeito consiste no surgimento de uma diferença de potencial elétrico nos terminais de uma estrutura semicondutora como resultado da absorção de luz. Quando a radiação solar incide sobre determinados materiais, ocorre a excitação de elétrons, o que permite a geração de corrente elétrica (Bessa *et al.,* 2025).

Os materiais semicondutores, principais responsáveis por esse fenômeno, possuem propriedades intermediárias entre condutores e isolantes. Sua estrutura eletrônica é composta por bandas de energia, sendo as principais a banda de valência (ocupada por elétrons ligados) e a banda de condução (onde os elétrons livres podem circular). Entre essas duas bandas existe uma região proibida, chamada de gap (ou banda proibida), que determina a quantidade de energia necessária para que um elétron passe de uma banda à outra. A Figura 1 ilustra esse conceito, destacando as posições relativas das bandas de valência, condução e o gap.

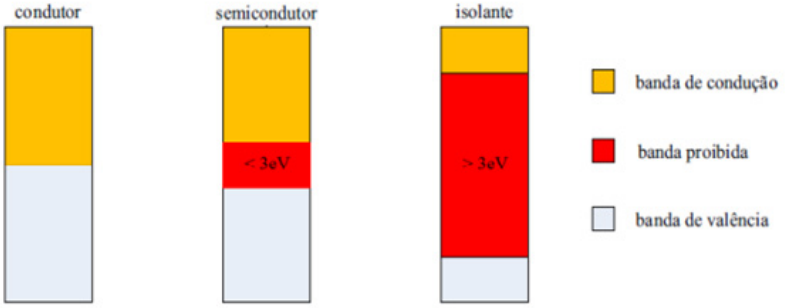


Figura 1. Estrutura de Bandas de Energia

Fonte: Adaptado Cunha et al. (2022).

Em condições de temperatura extremamente baixa, como a zero Kelvin, os semicondutores se comportam como isolantes, com a banda de valência totalmente preenchida e a de condução vazia. No entanto, à medida que a temperatura aumenta, alguns elétrons ganham energia térmica suficiente para atravessar o gap e alcançar a banda de condução. A partir desse momento, esses materiais passam a conduzir eletricidade, o que viabiliza seu uso em dispositivos fotovoltaicos (EPE, 2016)

A corrente elétrica em um semicondutor é gerada quando elétrons da banda de valência absorvem fótons de luz visível, saltando para a banda de condução e deixando buracos que são rapidamente preenchidos, mantendo o cristal eletricamente neutro, fenômeno chamado recombinação (Carvalho *et al.,* 2020).

Quando uma junção pn recebe fótons com energia maior que a do gap, os elétrons são excitados, gerando pares elétron-lacuna. Se isso ocorrer na região com campo elétrico, as cargas são aceleradas, criando uma corrente na junção e uma diferença de potencial chamada efeito fotovoltaico. Conectando as extremidades do silício por um fio, os elétrons circulam, formando a base do funcionamento das células fotovoltaicas — conforme ilustrado na Figura 2 (EPE, 2016).

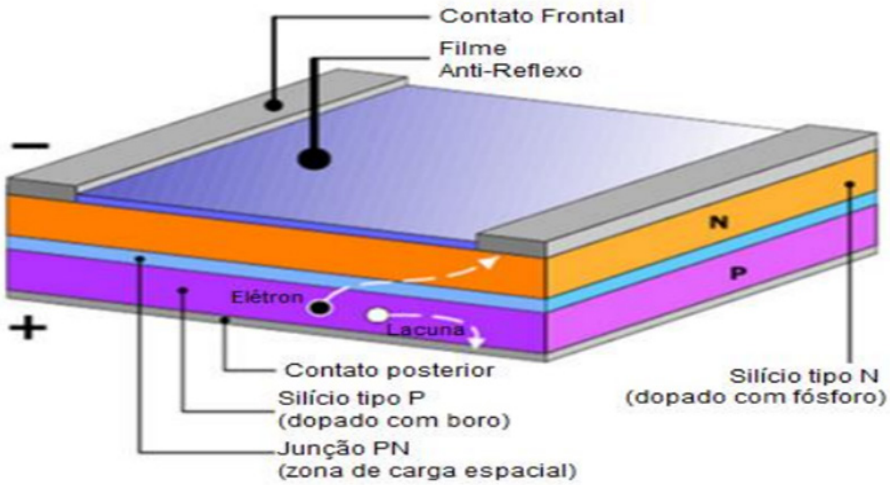


Figura 2. Célula fotovoltaica

Fonte: Adaptado EPE (2016).

O silício monocristalino possui estrutura molecular uniforme, facilitando o transporte de elétrons, essencial para eficiência. Após a extração do dióxido de silício, passa por purificação de grau solar 6N ou eletrônico 9N, seguida da dopagem tipo np. Já o silício policristalino tem maior impureza, qualidade inferior, porém processo de fabricação mais simples e custo menor. A Figura 3 mostra a diferença visual entre elas (Carvalho *et al.,* 2020).

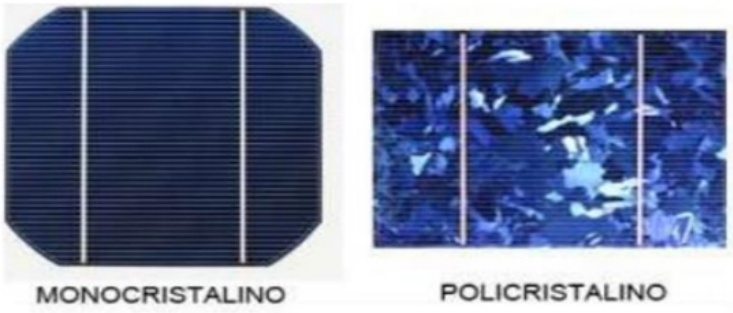


Figura 3. Tecnologias de Primeira Geração - Silício Mono e Policristalino

Fonte: Adaptado EPE (2016).

As tecnologias de Segunda Geração são conhecidas como filmes finos e incluem silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe) e disseleniato de cobre índio (CIS/CIGS). Utilizam camadas finas, cerca de 1 **µm**, o que reduz o uso de semicondutores e o custo. Entretanto, apresentam menor eficiência, vida útil reduzida e impactos ambientais (Gonçalves; Andrade, 2017).

Os materiais semicondutores, especialmente o silício, são essenciais para a fabricação das células fotovoltaicas devido à sua capacidade de controlar a condução elétrica. A junção p-n formada entre duas regiões com propriedades opostas cria uma barreira de potencial que facilita a separação e o direcionamento das cargas elétricas geradas pela excitação causada pelos fótons da luz solar (Santos; Lima, 2020).

De acordo com Santos e Lima (2020), as células fotovoltaicas são classificadas em três gerações principais. As de Primeira Geração utilizam silício cristalino, dividido em silício monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si). Essas células dominam o mercado com eficiências entre 15% e 20%, mas são rígidas e demandam muita energia para fabricação

Segundo Pereira e Martins (2021), no silício amorfo, a adição de hidrogênio corrige defeitos estruturais, formando o silício amorfo hidrogenado. As células utilizam tripla junção com camada intermediária não dopada para criar um campo elétrico eficiente. As células CdTe e CIS são heterojunções feitas de materiais escassos, ampliando as opções tecnológicas em filmes finos.

3 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Um sistema fotovoltaico é formado por três blocos principais: o bloco gerador, o bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, o bloco de armazenamento. O bloco gerador inclui os arranjos fotovoltaicos, compostos por módulos em diferentes configurações, o cabeamento e a estrutura de suporte. O bloco de condicionamento de potência pode conter inversores, controladores de carga (quando há armazenamento), seguidor de ponto de potência máxima (SPPM) e dispositivos de proteção, supervisão e controle, que garantem o funcionamento eficiente do sistema (Gomes; Nascimento, 2021).

O bloco de armazenamento, opcional, é composto por baterias ou outras formas de armazenamento de energia, permitindo o uso da energia gerada mesmo quando o sol não está disponível. Segundo a norma NBR 10899 (ABNT, 2015), o módulo fotovoltaico é a unidade básica do sistema, formado por células interligadas eletricamente e encapsuladas para gerar energia elétrica. O módulo é composto por várias camadas, conforme ilustrado na Figura 4.

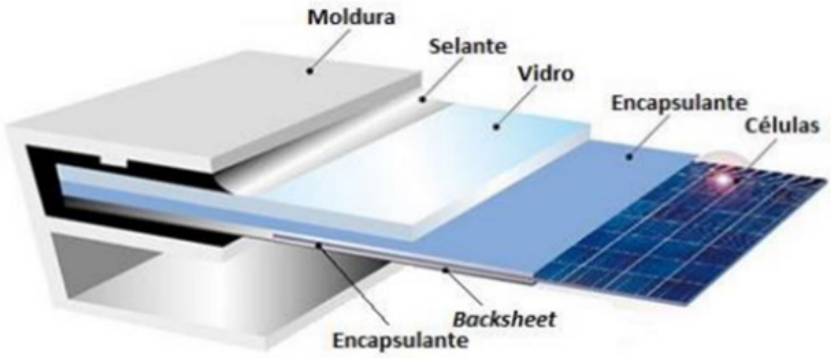


Figura 4. Camadas de um Módulo Fotovoltaico Típico

Fonte: Adaptado Gomes e Nascimento (2021).

O ângulo de inclinação ideal das placas solares varia conforme a altura do sol na latitude do local durante o ano. No Brasil, recomenda-se usar uma inclinação próxima à latitude local, nunca inferior a 15°, para facilitar a limpeza. Em regiões com muita poeira, a limpeza frequente dos módulos é essencial, pois a sujeira reduz a captação de luz e o desempenho do sistema (Gomes; Nascimento, 2021).

De acordo com Ferreira e Rocha, (2021), os inversores são equipamentos eletrônicos que convertem corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), cuja corrente alterna o sentido do fluxo de elétrons várias vezes por segundo em forma senoidal. Eles utilizam dispositivos semicondutores de potência, chamados chaves eletrônicas controláveis.

Em sistemas fotovoltaicos isolados, baterias são essenciais para armazenar energia gerada durante o dia e suprir a demanda em períodos sem geração, como à noite ou em dias nublados. Também podem ser usadas em sistemas conectados à rede para fornecer energia em falta de fornecimento, embora no Brasil ainda não haja regulamentação para essa prática (Nascimento *et al.,* 2019).

As baterias funcionam armazenando energia elétrica em forma química por meio de reações redox. A tecnologia mais comum é a bateria de chumbo-ácido, por seu custo-benefício. Outras opções, como íon de lítio, níquel-cádmio e níquel-hidreto metálico, oferecem maior eficiência e vida útil, mas ainda são caras para uso generalizado em sistemas fotovoltaicos (Bessa *et al.,* 2025).

Os controladores de carga protegem as baterias em sistemas fotovoltaicos contra sobrecargas e descargas excessivas, controlando a voltagem de entrada. Essa proteção é essencial para aumentar a vida útil das baterias, principalmente em sistemas isolados, onde falhas podem causar danos irreversíveis. Eles devem ser projetados conforme o tipo específico de bateria utilizado (Oliveira *et al.,* 2018)

4 SISTEMAS CONECTADOS À REDE (*GRID-TIE)*

Sistemas conectados à rede, conhecidos como *Grid-Tie*, enviam a energia elétrica gerada pelos painéis solares diretamente para a rede pública. Isso permite que o consumidor utilize a energia da rede quando a produção solar for insuficiente, sem depender de baterias. Para garantir a segurança e qualidade da energia entregue, esses sistemas precisam de inversores específicos que sincronizam a energia gerada com a rede elétrica (Nascimento *et al.,* 2019).

Sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ter configuração distribuída ou centralizada. Na geração distribuída, os módulos são integrados a edifícios ou fachadas, trazendo benefícios como redução de perdas, diversificação da matriz energética e postergação de investimentos em infraestrutura. Por outro lado, aumentam a complexidade operacional da rede e dificultam a cobrança pelo uso da energia. A medição pode ser bidirecional ou simultânea, registrando a diferença entre energia gerada e consumida (Gonçalves; Andrade, 2017).

Em sistemas conectados à rede, a energia gerada é injetada diretamente na rede elétrica, sendo necessário o uso de um inversor para converter a corrente contínua (CC), produzida pelos módulos, em corrente alternada (CA), compatível com a rede. Além disso, esse tipo de sistema não utiliza baterias para armazenamento, o que o torna mais simples, econômico e eficiente em relação aos sistemas isolados (autônomos) (Gomes; Nascimento, 2021).

Figura 5. Sistemas conectados à rede (*grid-tie*)

Fonte: Adaptado Gomes e Nascimento (2021).

A regulamentação brasileira para sistemas fotovoltaicos conectados à rede foi estabelecida por meio da Resolução Normativa n° 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), posteriormente atualizada pela REN n° 687/2015 e, mais recentemente, pela Lei n° 14.300/2022, que instituiu o Marco Legal da Geração Distribuída. Essa legislação permite que os consumidores gerem sua própria energia e compensem o excedente por meio do sistema de compensação de energia elétrica, também conhecido como net metering (ANEEL, 2022).

Diante do avanço tecnológico e das políticas de incentivo, o Brasil tem apresentado um crescimento expressivo na adoção de sistemas fotovoltaicos, sobretudo em residências, comércios e propriedades rurais. Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2024), o país ultrapassou a marca de 30 GW de potência instalada em geração distribuída, consolidando-se como um dos principais mercados da América Latina.

A revisão da literatura revela que os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) têm apresentado crescimento expressivo em diversos países, impulsionados por políticas de incentivo, redução de custos dos módulos solares e aumento da eficiência dos inversores (IEA, 2022). No Brasil, o marco legal da geração distribuída, especialmente a Resolução Normativa n° 482/2012 da ANEEL e suas atualizações, foi determinante para a expansão desses sistemas, permitindo que consumidores se tornem também produtores de energia (ANEEL, 2022).

Outro ponto amplamente discutido nos estudos analisados refere-se à eficiência energética e econômica dos SFCR. Pesquisas apontam que, apesar do elevado custo inicial de instalação, o retorno sobre o investimento se torna atrativo em médio prazo, especialmente em regiões com alta radiação solar (Santos; Lima, 2020; Souza *et al.,* 2023). Além disso, o uso de tecnologias como micro inversores e sistemas de monitoramento remoto tem contribuído para aumentar a confiabilidade e o desempenho energético das instalações (Oliveira *et al.,* 2018).

Do ponto de vista ambiental, os sistemas conectados à rede desempenham papel relevante na mitigação das emissões de gases de efeito estufa ao substituir fontes fósseis por uma matriz limpa e renovável (Gonçalves; Andrade, 2017). A literatura destaca ainda

desafios relacionados à intermitência da geração solar e à necessidade de modernização da infraestrutura elétrica para acomodar o fluxo bidirecional de energia, o que demanda investimentos em redes inteligentes e armazenamento de energia (Carvalho *et al.,* 2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão da literatura teve como objetivo analisar o panorama dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, abordando seus avanços tecnológicos, os benefícios ambientais, os aspectos regulatórios e os desafios técnicos e econômicos relacionados à sua expansão no Brasil. Com base nas informações discutidas ao longo do trabalho, é possível afirmar que o objetivo foi alcançado, uma vez que foi possível compreender os fatores que impulsionam a adoção desses sistemas, bem como as barreiras que ainda limitam seu crescimento mais amplo e equitativo no território nacional.

Como resposta ao problema de pesquisa, identificou-se que os sistemas fotovoltaicos conectados à rede representam uma alternativa viável e sustentável para diversificação da matriz energética brasileira, com impactos positivos sobre a redução de emissões e a descentralização da produção elétrica. No entanto, limitações como os custos iniciais, a falta de incentivos mais amplos e a infraestrutura limitada das redes de distribuição continuam sendo obstáculos relevantes.

Dessa forma, recomenda-se que futuras pesquisas se concentrem na análise de políticas públicas mais eficazes para democratizar o acesso à energia solar, assim como em estudos de viabilidade técnica voltados à integração de tecnologias complementares, como baterias e redes inteligentes. Também é relevante investigar os impactos socioeconômicos da geração distribuída em comunidades de baixa renda, além de propor estratégias educacionais que promovam a cultura da sustentabilidade energética.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica**. Relatórios estatísticos 2024. Disponível em: https://www.absolar.org.br. Acesso em: 05 ago. 2025.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Resolução Normativa nº 482/2012 e atualizações. Disponível em: https://www.aneel.gov.br. Acesso em: 05 ago. 2025.

BRITO, T. M.; ALMEIDA, R. S. Desafios da geração distribuída no Brasil. **Revista de Energia Sustentável**, v. 12, n. 1, p. 45–58, 2021.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Relatórios técnicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2020. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br. Acesso em: 05 ago. 2025.

CUNHA, F. A.; SILVA, L. M.; PONTES, A. R. **Tecnologia fotovoltaica e sustentabilidade**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 9, n. 2, p. 112–127, 2020.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2016b, **Energia Renovável*:*** Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro.

GOMES, A. R.; NASCIMENTO, D. M. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede**: uma abordagem técnica. In: Encontro Nacional de Engenharia Elétrica, 2021. Anais [...]. Curitiba: IFPR, 2021.

MAIA, G. C.; FARIAS, H. C. **Princípios de geração fotovoltaica**. Recife: Editora Universitária, 2019.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. Análise dos desafios para a expansão da energia solar no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 24, n. 2, p. 61–78, 2018.

PEREIRA, R. M.; SOUZA, C. J. Geração distribuída e sustentabilidade energética. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 18, n. 3, p. 85–97, 2020.

INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE NA ENERGIA EÓLICA: DESAFIOS E PERSPECTIVAS NO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO - REVISÃO DE LITERATURA

INNOVATION AND SUSTAINABILITY IN WIND ENERGY: CHALLENGES AND PERSPECTIVES IN THE BRAZILIAN ENERGY SECTOR - LITERATURE REVIEW

Neire Serra Gomes
Wesley Nascimento

19

Pascal
Editora

RESUMO

Este estudo tem como foco a energia eólica no Brasil, examinando-a pelos aspectos da inovação e sustentabilidade. Diante da crescente busca por fontes energéticas alternativas, o trabalho procura entender de que maneira a energia gerada pelo vento tem evoluído no país, considerando seus impactos econômicos, sociais e ambientais. A principal pergunta que guia a pesquisa é: como a energia eólica contribui para a inovação e a sustentabilidade no setor energético brasileiro? O objetivo foi investigar as práticas e as tendências relacionadas ao desenvolvimento da energia eólica, bem como as dificuldades e possibilidades para sua inserção na matriz energética nacional. Para isso, foi realizada uma revisão de literatura, que envolveu a análise de livros, artigos científicos, relatórios e documentos institucionais publicados entre 2010 e 2024, coletados nas Bases Scielo, Google Acadêmico, e CAPES. Os resultados mostram que a energia eólica no país tem apresentado crescimento significativo, apoiado por condições naturais favoráveis e avanços tecnológicos. Embora a questão econômica ainda receba maior destaque, os aspectos sociais e ambientais também têm sido considerados. Entretanto, há pontos a serem solucionados, como questões relacionadas à infraestrutura, integração ao sistema elétrico e impacto local, para que a expansão dessa fonte ocorra de maneira equilibrada e responsável.

Palavras-chave: Setorial eólico. Energia. Sustentabilidade. Abastecimento.

ABSTRACT

This study focuses on wind energy in Brazil, examining it from the perspectives of innovation and sustainability. Given the growing search for alternative energy sources, this work seeks to understand how wind-generated energy has evolved in the country, considering its economic, social, and environmental impacts. The main question guiding the research is: how does wind energy contribute to innovation and sustainability in the Brazilian energy sector? The objective was to investigate the practices and trends related to the development of wind energy, as well as the difficulties and possibilities for its integration into the national energy matrix. To this end, a literature review was conducted, involving the analysis of books, scientific articles, reports, and institutional documents published between 2010 and 2024, collected from the Scielo, Google Scholar, and CAPES databases. The results show that wind energy in the country has presented significant growth, supported by favorable natural conditions and technological advances. Although the economic aspect still receives greater emphasis, social and environmental aspects have also been considered. However, there are points to be resolved, such as issues related to infrastructure, integration into the electrical system, and local impact, so that the expansion of this source occurs in a balanced and responsible manner.

Keywords: Wind energy sector. Energy. Sustainability. Supply.

1 INTRODUÇÃO

Diversas fontes de energia têm sido utilizadas ao longo da história da humanidade, destacando-se os combustíveis fósseis como o petróleo, carvão, nuclear e gás. Essas fontes desempenharam papel importante para atender à demanda energética global. No entanto, com o avanço das discussões sobre preservação ambiental, torna-se evidente que essas fontes apresentam limitações, tanto no aspecto econômico, pela predominância de fontes não renováveis, quanto no ambiental, devido aos impactos negativos causados ao meio ambiente.

Nesse cenário, a energia eólica tem se destacado no contexto energético mundial como uma alternativa renovável capaz de diversificar a matriz de geração e diminuir os impactos ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis. No Brasil, as condições naturais são bastante favoráveis para o aproveitamento dessa fonte, o que, junto com o avanço tecnológico, tem impulsionado seu crescimento. Apesar disso, ainda há obstáculos a superar em relação à sua competitividade econômica, à ampliação dos benefícios sociais e à redução dos impactos ambientais.

Dentro desse contexto, a questão norteadora do referido estudo se debruça sobre tal questionamento: De que maneira a energia eólica contribui para a inovação e a sustentabilidade no setor energético brasileiro, considerando seus impactos sociais, ambientais e econômicos, bem como os desafios e perspectivas para sua consolidação na matriz energética nacional?

Este trabalho tem como objetivo analisar o desenvolvimento da energia eólica no país, enfocando sua evolução, os progressos tecnológicos e as perspectivas para que essa fonte se consolide como uma opção viável e sustentável no setor energético brasileiro. Destaca-se a importância do avanço tecnológico e das políticas públicas para que o setor mantenha seu crescimento e atenda às demandas sociais, econômicas e ambientais envolvidas na produção de energia limpa.

O estudo é relevante diante da crescente demanda por fontes energéticas limpas e da necessidade de reduzir impactos ambientais. A inovação tecnológica é essencial para aumentar a eficiência e a viabilidade econômica das energias renováveis, como solar, eólica e biomassa, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e para o desenvolvimento sustentável.

A revisão de literatura permite consolidar conhecimentos existentes, identificar lacunas de pesquisa e apresentar um panorama atualizado sobre práticas, desafios e avanços no setor. Assim, este estudo se justifica por fornecer subsídios para gestores, pesquisadores e formuladores de políticas públicas, promovendo soluções inovadoras e sustentáveis na produção e gestão de energia renovável.

Diante às atuais pressões sociais, políticas e institucionais, muitos países emergentes buscaram expandir ou obter tecnologias energéticas mais limpas, com vistas a se aproximar do conceito de desenvolvimento sustentável da definição Brutdland. pensando nisso, o referido artigo tem como objetivo averiguar como as ações do sistema eólico brasileiro estão vinculadas às perspectivas econômica, social e ambiental que caracterizam as novidades sustentáveis.

O trabalho busca também compreender a trajetória histórica da energia eólica, observando sua evolução desde suas primeiras aplicações até sua consolidação como uma alternativa viável no panorama energético global e nacional.

Nesse sentido, procura-se identificar tanto os benefícios quanto às dificuldades rela-

cionadas à implementação dessa fonte de energia, levando em conta os impactos sociais, ambientais e as questões econômicas envolvidas. Por fim, o foco é examinar as tendências de crescimento da matriz eólica no Brasil, destacando aspectos relacionados às políticas públicas adotadas, às inovações tecnológicas ocorridas e aos investimentos realizados, com o objetivo de oferecer uma visão ampla das possibilidades de expansão dessa fonte energética no país.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Este estudo foi realizado por meio de uma revisão de literatura, com foco descritivo e qualitativo, seguindo o que Gil (2008) apresenta sobre a importância de reunir e analisar informações já publicadas para entender melhor fenômenos complexos. A pesquisa buscou compreender como a inovação e a sustentabilidade têm sido tratadas no setor de energia renovável, especialmente na energia eólica.

As informações foram coletadas em fontes confiáveis, como SciELO, Google Acadêmico, Portal de Periódicos da CAPES e outras bases similares, procurando por artigos científicos, teses, dissertações e documentos técnicos atuais. Para direcionar as buscas, foram usados termos como “energia eólica”, “inovação tecnológica”, “sustentabilidade”, “energia renovável” e “políticas públicas”.

Foram considerados para análise apenas os materiais publicados entre 2010 e 2024, em português ou inglês, que tratassem diretamente dos temas relacionados. Excluíram-se documentos que não fossem relevantes ou que trouxessem informações que destoassem do foco principal. Também foram levados em conta os autores que fazem parte da discussão acadêmica como Zanella (2012) e Moretti (2017), que destacam o valor do exame qualitativo para compreender os diversos aspectos do setor energético renovável. Com isso, foi possível reunir um panorama mais claro dos desafios e possibilidades para a energia eólica no Brasil.

2.2 Resultados e Discussão

Inicialmente cabe destacar os sistemas de inovação, que conforme explica Dutrénit, (2004) a conexão entre os sistemas de inovação e seus agentes característicos intervém nos processos de aprendizagem tecnológica e o desenvolvimento de suas capacidades, assim como a área ou assentamento onde os sistemas estão introduzidos, como resultado da interação com outras redes institucionais, autores e clientes, fornecedores e demais que inspiram no processo de inovação (Dutrénit, 2004).

Dentre os diferentes sistemas estruturados em torno da concepção evolutiva, Malerba (2002, p.28) percebe como um sistema setorial de inovação, definindo-o como um “conjunto de atores heterogêneos” que realizam interações comerciais e não comerciais de mercado para a criação adoção e uso de tecnologias (diferentes e definidas) para a criação e produção e utilização de produtos (diferentes e definidos estabelecidos) pertencentes a um setor (produtos setoriais).

Ainda segundo Malerba (2003) três elementos típicos caracterizam o sistema setorial de inovação e dizem compreendem um espaço de conhecimento e tecnologias específicas dos componentes do sistema, aos intermediários, relações e instituições existentes no

sistema. O primeiro elemento diz respeito aos conhecimentos e tecnologias específicas que diferenciam as empresas de um setor para outro; A segunda, sobre agentes e relações, evidencia a característica de heterogeneidade envolvendo diferentes agentes como usuários, fornecedores, órgãos governamentais e departamentos de pesquisa e desenvolvimento; Por fim, não menos importante, o conjunto de instituições trata daquilo que controla as interações entre os atores e pode assumir a forma de diretrizes, hábitos, costumes, normas leis, entre outros.

Quanto às questões de sustentabilidade e inovação, grande parte dos estudos sobre essas questões parte de uma concepção de evolução sustentável. Por essa razão, fica evidente, quando argumentam que o crescente interesse em encontrar inovações que proporcionam o desenvolvimento sustentável permeia os setores, que acreditam na possibilidade de desenvolvimento econômico. Para os autores a relação entre inovação e sustentabilidade pode corroborar frente ao desenvolvimento de formas seguras de consumo e produção através da otimização dos recursos ambientais.

A ligação dos temas segundo Van Marrewijk (2003) surge em um momento de ascensão como pauta na discussão dos meios acadêmicos e profissionais sobre o tema sustentabilidade, visando uma apresentação mais humana, ética e transparente do tema na forma como os negócios e atividades que afetam a vida das pessoas são guiados.

A relação da discussão da sustentabilidade, proposta por Elkington (2012), conta com três pilares, onde segue uma linha na qual ela não deve ser vista como uma organização isolada, porém vista como uma economia plenamente ecológica e social, sentido da relação com os sistemas de inovação e a relação que isso implica em termos de instituições, empresas, conhecimento e diferentes agentes.

Segundo Elkington (2012, p. 275), “Alcançar excelentes resultados em três áreas-chave requer novas formas de cooperação econômica, social e ambiental” que evolui durante determinado tempo e realizam um papel fundamental na transição para o desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto para Konnola (2009) a ligação entre o tema sustentabilidade ambiental, desempenho econômico e competitividade têm sido bastante discutidos aos longos dos anos, porém mesmo diante de discussões, permanece incerto, ainda sem consenso entre os estudiosos. Em termos gerais para o supramencionado autor, o objetivo da regulação da proteção ambiental é maximizar o bem-estar social, responsabilizar as empresas poluidoras pelos custos das externalidades negativas que podem produzir e, consequentemente, essas políticas de proteção ambiental possuir um efeito inverso na competitividade, e obrigar maiores custos em empresas.

Nesse sentido, introduzida dentro desse cenário de inovação, de avanço sustentável, e desenvolvimento econômico, a energia eólica, de acordo com Junfeng et al.,(2010) vem se consolidando como fonte promissora fonte renovável de energia. A energia gerada pelo vento pode ser entendida, segundo Alves (2006) em termos físicos, como a energia associada ao movimento das massas de ar. Essa energia é aproveitada convertendo o movimento linear do ar em movimento rotacional. Para gerar eletricidade, utilizam-se turbinas eólicas, também chamadas de aerogeradores, enquanto para realizar trabalhos mecânicos, empregam-se diferentes tipos de cata-ventos.

Como apontam Maxwell (2009) e Pérez (2004; 2010), as questões energéticas podem se tornar a próxima onda de inovação, ou seja, o desenvolvimento de novos modelos e caminhos tecnológicos que, na opinião de autores evolucionistas, podem favorecer para a elaboração formulação de políticas corretivas.

Junfeng, (2010) explica que os parques eólicos desenvolvem um papel significativo que não está relacionado apenas à segurança energética das nações amenizando sua dependência de combustíveis fósseis, mas também inclui o progresso da economia, redução da pobreza, comando da poluição do ar e limitar as emissões de gases, colaborar em direção ao avanço mais sustentável.

Segundo Martins, Guarnieri e Pereira (2008), a energia eólica surgiu como uma das principais alternativas de energia renovável nos últimos anos, mas a tecnologia que impulsiona o desenvolvimento dessa indústria não é nova. Segundo Martins, Guarnieri e Pereira (2008), Conversão de Vitalidade Cinética em Vitalidade Mecânica As turbinas eólicas (base dos sistemas eólicos) são instaladas pelo homem há mais de 3.000 anos Água para uso na agricultura.

No entanto, a posição histórica apresentada pelos autores permanece controversa em comparação com outros estudos que tentam determinar a origem dessa tecnologia. Por exemplo, Amarante et al (2001) é mais objetivo ao dizer que o primeiro uso humano da energia eólica é impreciso e pode datar de milhares de anos nas regiões ocidentais.

Apesar de distante início da atividade eólica, durante a idade Média, a humanidade passou a utilizar a energia eólica de forma mais intensa, contribuindo para o desenvolvimento da navegação e, com os interesses das Cruzadas financiadas pelos senhores feudais e pela igreja Católica (Amarante et al., 2001).

Registros mais precisos do uso e desenvolvimento dessa tecnologia datam do século 14 e mostram que a Holanda já havia feito progressos técnicos significativos e a capacitância de gerar energia mecânica com base na força dos ventos culminando no desenvolvimento dos moinhos aplicados. para moagem de grãos, serrarias e bombeamento de água, resultando na veloz expansão da tecnologia nos países europeus até a invenção e expansão do uso da máquina a vapor que desvalorizou os moinhos de vento (Amarante et al., 2001).

Amarante et al., (2001). Explica que mesmo diante do nascimento da máquina a vapor, a energia eólica, que estava em declínio no continente europeu, recebeu novos impulsos nos Estados Unidos no ano 1963 com a abolição da escravatura. Naquela época, era comum um novo tipo de cata-vento chamado Cata-Vento Multipá para o bombeamento de água.

Este aero gerador ganhou grande aceitação e criou uma indústria de várias empresas que transportam centenas de milhares destes aerogeradores todos os anos, permitindo o rápido crescimento desta indústria e significativos progressos tecnológicos, culminando na criação de aerogeradores para recarga de baterias. e possibilitou aos residentes das áreas rurais do país o acesso à eletricidade. (Amarante et al., 2001).

Nesse cenário como apontado por Junfeng et al., (2006) a dependência da humanidade de recursos energéticos e questões como mudanças climáticas, poluição e o impacto econômico da dependência de combustíveis fósseis impulsionaram ainda mais a aplicação em fontes de energia renováveis, incluindo a energia eólica.

Fazendo uma análise do passado não tão distante da sociedade, se faz necessário resgatar questões relacionadas a primeira crise do petróleo, que foi vista como acontecimento de grande relevância dentro do cenário setorial elétrico, bem como pontapé inicial do movimento ambiental moderno, isso se dá a partir da dependência mundial dos combustíveis fósseis e os efeitos que esses causam. A essa dependência, exacerbada pela nova crise do petróleo da década de 1980, que obrigou os governos de todo o mundo a criarem políticas de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias energético alternativas, baseado em capacidades de insumos renováveis (Junfeng et al., 2006).

Introduzida nesse cenário, a indústria de energia eólica tem sido de real importância no que tange a produção de energia limpa e de disponibilização gratuita de seu combustível, o vento. Isso graças as estatísticas em 2005, onde o setor realizou mais de 10 bilhões de dólares em investimentos e empregou mais de 150.000 pessoas (Junfeng et al., 2006). Este episódio, tem corroborado para as iniciativas de desenvolvimento para setor estimular a aplicação de investimentos, e tornar esse tipo de energia mais atraente economicamente.

Segundo Junfeng, Pengfei e Hu (2010), a geração de energia eólica conquistou um lugar de destaque, que mesmo durante a crise financeira global de 2008, continuou evoluindo em taxas aceleradas. Para os autores esse crescimento ainda se baseia em grande parte na instalação de aerogeradores o que representaram mais de 98 % de todas as instalações até 2010.porém, o potencial de geração de energia offshore apresenta um potencial significante e representa atualmente apenas 1,3 % da capacitância instalada.

De acordo com Cunha et al., (2008) o setor eléctrico brasileiro passou por uma reestruturação global desde a década de 1990, visando desenvolver um setor mais competitivo, aumentando a participação do setor privado e ampliando as oportunidades de financiamento, tendência que foi acompanhada de grandes mudanças. Nessa lógica, segundo os autores, o setor energético brasileiro segue, neste momento histórico, outros setores, guiados pelas mudanças nas diretrizes do governo mundial que procuravam novidades no quesito de aprimoração, dos níveis de desenvolvimento nacional trazidos pela crise do estado keynesiano.

Dentre diversas ações voltadas para esse setor neste período, evidencia-se a origem da agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), com finalidade de propiciar condições pertinentes ao progresso do mercado de energia elétrica com equilíbrio entre os atores e promovendo benefícios para a sociedade por meio de regulamentação e fiscalização. Além disso, o a agência promove e apoia o crescimento da pesquisa em eletricidade.

Para o CGEE[1] (2002) é possível salientar que o sistema do setor setorial de energia elétrica no Brasil é composto por três principais atores incluídos no processo de pesquisa e desenvolvimento do setor, mediante os elementos mencionados por Malerba (2002; 2003): empresas, concessionárias da indústria de eletricidade e equipamentos básicos para a indústria de dispositivos elétricos e eletrônicos.

Nessa conjuntura, o CGEE (2002) descreve várias iniciativas que auxiliam no desenvolver de ações voltadas para o setor energético, com a diferenciação da matriz energética nacional e o desenvolvimento de tecnologias de efeito ambiental e de maior dimensão para o uso racional e eficiente da energia.

Nesse aspecto, busca-se novas fontes de energia, o setor eólico brasileiro evoluiu nos últimos anos, principalmente no que diz respeito ao programa de Incentivo às fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), implantado por meio do Decreto n. 5.025, de 2004. O objetivo do programa é expandir o envolvimento desse setor com a participação da eletricidade feita por meio de projetos planejados fundamentados em energia eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema elétrico Interligado Nacional.

Na preocupação do governo de motivar a evolução de pesquisas e financiamentos de empresas interessadas na produção de energia eólica no país e no fornecimento de tecnologias para o setor, o Proinfa foi prorrogado até o final de 2011 para permitir o alcance dos objetivos estabelecidos e não alcançado até o final de 2010. (Brasil, 2010; GWEC, 2010).

Ainda é viável constatar o interesse do governo brasileiro em utilizar essa fonte de

1 Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

energia em seu plano Decenal de Expansão Energética 2019, que realça a capacidade da energia eólica como alternativa energética renovável que pode contribuir para a diversificação de sua matriz energética país é significativamente dependente de recursos hídricos que mudam durante as diferentes estações do ano, principalmente as de inverno (Brasil, 2010; GWEC, 2010). Assim sendo, as estações de maior vento no Brasil coincidem com as de menor capacidade de produção de energia de fontes hidráulicas, portanto a energia eólica complementa o sistema vigente no Brasil.

É possível observar interesse dos investidores neste tipo de energia no país levando em consideração questões referentes aos atores do conjunto de inovação do setor, considerando seguintes pontos: previsões de mercado, premissas contemporâneas determinadas pelo Setor Comitê de Acompanhamento (CMSE) e pela equipe Executiva do programa de Aceleração do desenvolvimento (PAC), o potencial econômico e a distribuição geográfica dos recursos naturais do país (Brasil, 2010).

A entrada de componentes no segmento tem contribuído com a competição nos leilões e o desenvolvimento da produção desse tipo de energia no país. Segundo GWEC (2010), consagradamente, apenas um fabricante de turbinas estava envolvido no mercado brasileiro e, atualmente, o setor atraiu diferentes setores organizacionais se tornaram elegíveis para financiamento do BNDES. Devido à demanda por esse tipo de energia e aos contratos assumidos, a GE e a Alstom Wind já começaram a construir plantas industriais no país enquanto a Gamesa e a Suzlon noticiaram que também montarão plantas específicas para o setor, uma vez que a Siemens já tem com uma planta industrial no país (GWEC, 2010). A construção dos complexos visa suprir não só os fatores de demanda acima mencionados, mas também outros países da américa Latina e Estados Unidos, dada a expectativa de aumento da demanda por esse tipo de energia também nesses países (GWEC, 2010).

Pelo percurso da produção de energia eólica, verifica-se que o Brasil se empenhou em ampliar conhecimentos de ofertas de energia por intermédio de políticas, planos, programas e ações, levando em conta aspectos ambientais, sociais e econômicos, o que se tornou possível por meio da adoção de inovações conceituais, técnicos, regulatórias e operacionais por organizações públicas e privadas.

Segundo Goldemberg; Lucon, (2007) em termos ambientais, a energia eólica apresenta impactos significativamente menores em comparação com fontes fósseis, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e mitigação das mudanças climáticas.

Do ponto de vista econômico, Junfeng et al., (2006) afirma que, a expansão da matriz eólica tem promovido investimentos expressivos e movimentado a cadeia produtiva. Estima-se que o setor, ainda em 2005, já gerava bilhões de dólares em investimentos globais e centenas de milhares de empregos. No Brasil, a instalação de fábricas de aerogeradores por empresas multinacionais, como Siemens e Alstom, reforça o potencial competitivo do país (GWEC, 2010).

Em relação à inovação tecnológica, de acordo com Malerba (2003) a introdução de turbinas de maior porte e a possibilidade de exploração offshore representam avanços significativos para o aumento da eficiência e da competitividade da energia eólica. Esse processo de inovação segundo Dutrénit (2004) se dá no contexto de um sistema setorial, em que empresas, instituições públicas e centros de pesquisa interagem para consolidar o setor.

Barcella e Brambilla (2012) apontam que a instalação da matriz eólica oferece várias vantagens, entre elas os benefícios ambientais e a redução dos custos ao longo do tem-

po, uma vez que a energia gerada pelo vento não causa poluição em água, solo ou ar, e o recurso natural é renovável. A energia eólica pode atuar como complemento à energia hidrelétrica, que é a principal fonte no Brasil e está associada a impactos sociais e ambientais consideráveis. Embora a presença das estruturas dos parques eólicos impeça a construção de novos edifícios nas cercanias, as propriedades agrícolas nas áreas dos parques podem continuar suas atividades desde que o terreno seja adequado. Dessa forma, tanto as atividades rurais quanto o ambiente local sofrem poucas alterações.

Abramowski, (2000) compactua de mesmo entendimento e considera que a sustentabilidade social da energia eólica também é evidente, visto que sua implantação em áreas rurais tem favorecido a geração de emprego e renda, contribuindo para o desenvolvimento regional. Ao contrário de grandes hidrelétricas, que implicam deslocamentos populacionais, os parques eólicos exigem menor intervenção territorial, possibilitando coexistência com atividades agrícolas e pecuárias (Amarante et al., 2001).

Um ponto de destaque nos resultados refere-se à complementariedade da energia eólica com a matriz hidrelétrica brasileira. Em períodos de estiagem, quando a geração hídrica é reduzida, os ventos no Nordeste brasileiro tendem a soprar com maior intensidade, garantindo estabilidade no fornecimento (Brasil, 2010). Esse equilíbrio fortalece a segurança energética nacional e reduz a vulnerabilidade a crises hídricas.

Isso fica evidente para Arienti, (2003) o qual menciona que os dados históricos demonstram que crises energéticas e flutuações no preço do petróleo, como nos anos 1970 e 1980, foram fundamentais para impulsionar pesquisas em fontes alternativas. Nesse sentido, segundo Perez (2010) a energia eólica emergiu como resposta estratégica não apenas às questões ambientais, mas também à busca por independência energética.

No que concerne à termos de competitividade internacional, Junfeng et al., (2006) defende que países como Alemanha, Dinamarca e Estados Unidos já consolidaram sua liderança no setor eólico, principalmente por meio de incentivos estatais e investimento em inovação ainda para o autor, o Brasil, embora ainda em estágio de consolidação, apresenta vantagens naturais e regulatórias que o projetam como futuro protagonista global.

Outro resultado importante refere-se à aceitação social da energia eólica. Que de acordo com Oliveira; Lima, (2021) a percepção positiva da população sobre essa fonte de energia decorre de seu caráter limpo e renovável, embora haja resistências pontuais relacionadas ao impacto paisagístico, onde a superação desse desafio requer políticas de comunicação e participação comunitária.

No que se refere ao papel das políticas públicas, evidencia-se que programas como o Proinfa e o Plano Decenal de Expansão Energética foram decisivos para criar um ambiente regulatório favorável (Brasil, 2010). Tais medidas, aliadas ao financiamento via BNDES, viabilizaram a entrada de novos atores e a diversificação da matriz.

konnola, (2009) por outro prisma, entende que a inovação no setor eólico também deve ser entendida sob a ótica da eco inovação, em que sustentabilidade e competitividade se complementam. Isso significa que a busca por eficiência tecnológica não se restringe a ganhos econômicos, mas está vinculada à redução de impactos ambientais e à melhoria do bem-estar social.

Outro aspecto relevante é a capacidade da energia eólica de fomentar redes de inovação localizadas. A instalação de fábricas de componentes no Brasil não apenas gera empregos diretos, mas também promove capacitação tecnológica, fortalecendo a indústria nacional e reduzindo a dependência externa (GWEC, 2010).

A discussão também mostra que a energia eólica se insere no debate mais amplo

sobre justiça ambiental, pois pode contribuir para democratizar o acesso à energia em comunidades isoladas, reduzindo desigualdades sociais e regionais (Barbieri, 2007). Nesse sentido, projetos descentralizados podem representar soluções inclusivas e sustentáveis.

No cenário global, a resiliência da energia eólica frente a crises econômicas é um dado relevante. Mesmo durante a crise financeira de 2008, o setor continuou crescendo em taxas aceleradas (Junfeng *et al.*, 2010). Isso demonstra que se trata de uma indústria consolidada e menos vulnerável às oscilações do mercado internacional de combustíveis fósseis.

Os resultados também apontam para uma interdependência entre inovação tecnológica e políticas públicas. Sem incentivos regulatórios, a competitividade da energia eólica seria reduzida frente a fontes fósseis subsidiadas. Ao mesmo tempo, sem avanços tecnológicos, os custos não alcançariam patamares competitivos (Maxwell, 2009).

A revisão aponta, ainda, que o Brasil apresenta um dos maiores fatores de capacidade eólica do mundo, especialmente na região Nordeste, onde a constância dos ventos garante elevada produtividade (GWEC, 2008). Esse diferencial natural, aliado ao desenvolvimento industrial, reforça o posicionamento estratégico do país.

Ainda quanto aos benefícios da energia eólica como meio de sustentabilidade, Pinheiro, Sandim e Carneiro (2017) consideram que a energia renovável, especialmente a eólica, configura-se como uma solução para a crescente demanda por energia no mundo. Essa fonte para os autores, oferece vantagens sociais e econômicas, como a diversificação das formas de obtenção de energia, a redução das emissões de CO2 e a geração de empregos. A produção de eletricidade por meio de sistemas eólicos surge como uma opção eficiente e de baixo custo para suprir as necessidades da sociedade.

Pinheiro, Sandim e Carneiro (2017) acrescentam ainda que, no Brasil, esse tipo de energia apresenta um potencial significativo e impacto ambiental reduzido em comparação com fontes não renováveis. Com o avanço dos estudos e o aumento dos investimentos em tecnologia, os custos para a produção de energia eólica tendem a diminuir. No entanto os supramencionados autores entendem que é importante que o poder público apoie políticas que favoreçam a competitividade e intervenha quando necessário para garantir que essa fonte possa se consolidar como uma alternativa viável, colaborando para o desenvolvimento sustentável do país.

Santos e Araújo (2023) entendem que a energia eólica, por ser uma fonte renovável, tem sua participação no cenário energético nacional acompanhada por entidades e associações que monitoram seu desempenho anual, comparando regiões e outras fontes de energia presentes no Brasil. Esse acompanhamento ajuda a entender os fatores que influenciam a decisão pelo uso dessa modalidade energética. No entanto é importante também considerar os impactos ambientais, avaliando como esses podem afetar a sociedade e a fauna, com o objetivo de encontrar soluções que minimizem ou eliminem os efeitos negativos produzidos pelas usinas eólicas.

Pois embora as usinas eólicas tragam diversos benefícios para a sociedade, segundo Santos e Araújo (2023) elas também provocam alguns impactos ambientais que precisam ser avaliados e enfrentados. Segundo Cunha et al., (2008) a dependência de importação de componentes de alta tecnologia e as dificuldades de integração ao sistema de transmissão nacional ainda limitam a plena consolidação do setor, isso reforça a importância de investimentos contínuos em P&D e na infraestrutura elétrica.

Compactua de mesmo raciocínio Junfeng et al., (2010) e acrescenta que apesar de ser considerada uma fonte limpa, a energia eólica não está isenta de impactos ambientais. Entre eles, destacam-se colisões de aves, alteração do microclima local e ruídos mecânicos.

Contudo, avanços tecnológicos têm buscado reduzir esses efeitos por meio de turbinas mais silenciosas e planejamentos que consideram rotas migratórias

Perez (2024) complementa e entende que a energia eólica contribui para a diminuição do uso de combustíveis fósseis e a redução dos gases poluentes, colaborando no enfrentamento das mudanças climáticas. E, apesar dos progressos alcançados, ainda existem desafios técnicos, sociais e ambientais que precisam ser superados para que seu desenvolvimento ocorra de forma equilibrada.

É importante lembrar segundo Perez (2024) que s custos relacionados à energia eólica são competitivos, especialmente em locais que possuem ventos intensos, e a geração desse tipo de energia traz benefícios econômicos para as comunidades locais, como a criação de empregos. No entanto, a variabilidade da produção devido às condições do vento exige investimentos em sistemas de armazenamento e ampliação da rede de transmissão, garantindo assim um fornecimento estável e eficiente.

Por fim, conclui-se que a energia eólica, apesar de seus desafios, representa uma alternativa concreta e inovadora para a construção de um modelo energético sustentável no Brasil. Seus resultados positivos em termos ambientais, sociais e econômicos consolidam-na como vetor estratégico para o desenvolvimento sustentável, alinhando o país às metas globais de descarbonização e transição energética (Elkington, 2012; Oliveira; Lima, 2021).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve como foco analisar a energia eólica no Brasil, considerando sua relação com a inovação e a sustentabilidade, bem como os impactos sociais, econômicos e ambientais envolvidos. Através da revisão de literatura, constatou-se que essa fonte de energia vem se firmando no cenário nacional, apresentando progresso tanto tecnológico quanto no aumento da capacidade de geração.

O objetivo, que era entender a contribuição da energia eólica para práticas sustentáveis e inovações no setor, foi em grande parte cumprido. Foi identificado que a dimensão econômica ainda tem maior destaque nas decisões, mas também há uma crescente atenção às questões sociais e ambientais que acompanham a instalação dos parques eólicos, como a inclusão das comunidades locais e a redução dos efeitos no território. Contudo, esses aspectos precisam ser melhor explorados e demandam políticas públicas que promovam o equilíbrio entre econômica, social e meio ambiente.

Notou-se ainda que o crescimento da energia eólica no país é significativo, impulsionado pelos recursos naturais favoráveis e pelos avanços tecnológicos na fabricação de equipamentos. Esse avanço traz vantagens como a diversificação da matriz energética, segurança de abastecimento e a diminuição das emissões de gases que contribuem para o efeito estufa. Por outro lado, ainda persistem desafios em relação à competitividade, aceitação social e à eficácia das leis e regulamentos, pontos que precisam ser enfrentados para consolidar essa fonte no futuro.

De maneira geral, a pesquisa demonstra que é necessária uma atuação conjunta dos diversos setores envolvidos, para que a energia eólica possa contribuir de forma equilibrada ao progresso energético do país, respeitando os aspectos sociais, econômicos e ambientais. Apesar dos avanços, o caminho para a plena integração dessa fonte na matriz brasileira requer esforços contínuos e o compromisso com práticas que considerem todas essas dimensões.

REFERÊNCIAS

ABRAMOWSKI, J.; POSORSKI, R. **Wind energy in developing countries.** DEWI Magazine, n. 16, p.46-53, February, 2000.

AMARANTE, O. A. C. et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, DF: MME, 2001.

ARAUJO, Gabrielle Souza de; MENDES, Luiz Fernando Rosa. **Energia renovável ou energia "limpa"? Uma busca pela percepção conceitual nos alunos do curso técnico em Meio Ambiente.** Revista Vértices, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 408–427, 2018. DOI: 10.19180/1809-2667.v20n32018p408-427. Disponível em: https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/11624.. Acesso em: 26 out. 2025

ARIENTI, W. L. **Do estado keynesiano ao schumpeteriano**. Revista de Economia Política, v. 23, n. 4, p. 97-113, out./dez. 2003.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BARCELLA, Marciano dos Santos. BRAMBILLA, Flávio Régio . **Energia Eólica e os Impactos Socioambientais: Estudo de Caso em Parque Eólico do Rio Grande do Sul, Brasil.** RCA. Revista de Ciências Ambientais . UniLASALLE. 2012.Disponível em: https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/230/759

BRASIL. **Plano decenal de expansão de energia 2019**. Brasília, DF: MME/EPE, 2010.

CARRILLO-HERMOSILLA, J.; GONZALEZ, P. D. R.; KONNOLA, T. **Eco-innovation: when sustainability and competitiveness shake hands**. New York: Palgrave Macmillan, 2009.

COHEN, C. A. M. J**. Padrões de consumo: desenvolvimento, meio ambiente e energia no Brasil.** 2002. 224 p. Tese (Doutorado em Ciência em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

CUNHA, J. C. et al. **Sistema setorial de inovação e energia elétrica no Brasil**. In: Simpósio De Gestão Da Inovação Tecnológica, 25., 2008, Brasília. Anais.Brasília, DF: Anpad, 2008, p.1-16.

DUTRÉNIT, G. **Building technological capabilities in latecomer firms: a review essay**. Science, Technology & Society, v. 9, n. 2, p.209-241, 2004.

EWEA. Powering Europe: wind energy and the electricity grid. Brussels: EWEA, 2010

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.p.65.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL – GWEC. **Global wind energy outlook** 2008. Brussels: GWEC, 2008.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil.** Estudos Avançados, v. 21, n. 59, p.7-20, 2007.

JUNFENG, L. et al. **A study on the pricing policy of wind power in China.** Brussels: GWEC, 2006.

MALERBA, F. **Sectorial systems of innovation and production.** Research Policy, v. 31, p. 247-264, 2002.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. **O aproveitamento da energia eólica. Revista Brasileira de Ensino de Física,** v. 30, n. 1, p.1304-1 a 1304-13, 2008.

MAXWELL, I. E. **Managing sustainable innovation: the driver for global growth**. New Zealand: Springer, 2009.

MORETTI, A. **Pesquisa qualitativa: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2017.

OLIVEIRA, F. S.; LIMA, P. R. **Inovação tecnológica e sustentabilidade na energia solar e eólica**. Revista Brasileira de Energia Renovável, v. 12, n. 3, p. 45-62, 2021.

PÉREZ, C. **Technological revolutions, paradigm shifts and socio-institutional change.** In: REINERT, E. Globalization, economic development and inequality: an alternative perspective. Cheltenham: Edward Elgar, 2004, 337p.

PEREZ, Lucas Cabrera. **Energia eólica e sustentabilidade ESG: desafios e impactos.** São Paulo, 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Administração) – Faculdade de Economia, Administração, Contábeis e Atuariais, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Disponível em: https://tede2.pucsp.br/bitstream/handle/43784/1/TCC%20Final%20-%20Lucas%20Cabrera%20Perez_R01_ALEXANDRE%20LUZZI%20LAS.pdf. Acesso em 25 out 2025.

PINHEIRO, Cézar Di Paula Da Silva; SANDIM, Débora Prissila Reis; CARNEIRO, Leandro Mayron Da Silva. **Energias Renováveis: uma análise do panorama da energia eólica no Brasil.** Renewable energy: an analysis of the wind energy overview in Brazil. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, 2017. Disponível em:

https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/energias_renova Acesso em 25 out 2025.

SANTOS, Priscila Emanuele de Lucena; ARAÚJO, Francisco José Costa. **O desenvolvimento da energia eólica no Brasil: uma revisão bibliográfica** = The development of wind energy in Brazil: a bibliographic review. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, São Paulo, v. 9, n. 6, jun. 2023. ISSN 2675-3375. Acesso em 25 out 2025.

VAN MARREWIJK, M. **Concepts and definitions of CSR and corporate sustainability: between agency and communion.** Journal of Business Ethics, v. 44, p. 95-105, 2003.

ZANELLA, R. **Metodologia científica: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

UM ESTUDO SOBRE A AQUISIÇÃO DE CERTIFICADOS DE ENERGIA RENOVÁVEL COMO ESTRATÉGIA DE SUSTENTABILIDADE CORPORATIVA

A STUDY ON THE ACQUISITION OF RENEWABLE ENERGY CERTIFICATES AS A CORPORATE SUSTAINABILITY STRATEGY

Evylla Leticia Lima da Cunha
Mirian Nunes de Carvalho Nunes
Lilian Barros Santiago

20

Pascal
Editora

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo compreender de que forma a aquisição de certificados de energia renovável pode contribuir para a sustentabilidade corporativa. A pesquisa, de natureza qualitativa e descritiva, foi conduzida por meio de revisão bibliográfica, com foco em publicações dos últimos dez anos que abordam os conceitos de energia limpa, certificações ambientais e políticas públicas brasileiras voltadas à transição energética. O estudo destaca que os certificados, como o I-REC (International Renewable Energy Certificate), funcionam como instrumentos de validação do uso de fontes renováveis, fortalecendo a imagem institucional das empresas e promovendo práticas alinhadas aos princípios ESG e ao Triple Bottom Line. A análise revelou que, embora os benefícios sejam significativos — como competitividade, inovação e redução de emissões — o processo de certificação envolve burocracias e desafios técnicos, especialmente para pequenas e médias empresas. Foram abordadas as etapas do processo I-REC, desde a vinculação ao gerador até a emissão digital do certificado, além dos incentivos fiscais e regulamentações que viabilizam a adoção da energia renovável no Brasil. O trabalho também reforça a importância da engenharia elétrica na integração de sistemas de medição, rastreabilidade energética e conformidade com normas da ANEEL. Como limitação, a pesquisa não incluiu estudos de campo ou dados empíricos, o que abre espaço para investigações futuras sobre o impacto direto da certificação no desempenho ambiental e financeiro das empresas. Conclui-se que os certificados são ferramentas estratégicas para consolidar a sustentabilidade empresarial e acelerar a transição para uma economia de baixo carbono.

Palavras-chave: Energia renovável, Sustentabilidade corporativa, Certificação ambiental.

ABSTRACT

This study aims to understand how the acquisition of renewable energy certificates can contribute to corporate sustainability. The qualitative and descriptive research was conducted through a literature review, focusing on publications from the last ten years that address the concepts of clean energy, environmental certifications, and Brazilian public policies aimed at the energy transition. The study highlights that certificates, such as the I-REC (International Renewable Energy Certificate), function as instruments for validating the use of renewable sources, strengthening the institutional image of companies and promoting practices aligned with ESG principles and the Triple Bottom Line. The analysis revealed that, although the benefits are significant—such as competitiveness, innovation, and emission reduction—the certification process involves bureaucracy and technical challenges, especially for small and medium-sized enterprises. The stages of the I-REC process were addressed, from linking to the generator to the digital issuance of the certificate, in addition to the tax incentives and regulations that enable the adoption of renewable energy in Brazil. The work also reinforces the importance of electrical engineering in the integration of measurement systems, energy traceability, and compliance with ANEEL (Brazilian Electricity Regulatory Agency) standards. As a limitation, the research did not include field studies or empirical data, which opens up space for future investigations into the direct impact of certification on the environmental and financial performance of companies. It is concluded that certificates are strategic tools to consolidate corporate sustainability and accelerate the transition to a low-carbon economy.

Keywords: Renewable energy, Corporate sustainability, Environmental certification.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções energéticas sustentáveis tem impulsionado transformações significativas no setor elétrico, especialmente no contexto corporativo. Empresas de diferentes segmentos vêm adotando estratégias que alinham eficiência energética, responsabilidade ambiental e competitividade de mercado. Nesse cenário, os certificados de energia renovável surgem como instrumentos relevantes para a promoção da sustentabilidade, permitindo que organizações comprovem o uso de fontes limpas e contribuam para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

A aquisição desses certificados representa não apenas uma escolha técnica, mas também uma decisão estratégica que reflete o compromisso das corporações com práticas sustentáveis. Ao investir em energia renovável, as empresas fortalecem sua imagem institucional, atendem às exigências de stakeholders e se posicionam de forma mais ética e responsável diante dos desafios ambientais contemporâneos. No entanto, apesar dos benefícios associados, o processo de obtenção dos certificados ainda é pouco compreendido, especialmente no que diz respeito às regulamentações, burocracias e impactos reais sobre a sustentabilidade corporativa.

A relevância do tema se intensifica diante da necessidade de transição energética no Brasil, país que possui grande potencial para geração de energia renovável, mas ainda enfrenta obstáculos estruturais e regulatórios. A discussão sobre os certificados de energia renovável envolve aspectos técnicos, econômicos e políticos, exigindo uma abordagem multidisciplinar que considere tanto os avanços tecnológicos quanto os mecanismos de incentivo e controle. A compreensão desse processo é fundamental para que empresas possam tomar decisões informadas e contribuir efetivamente para o desenvolvimento sustentável.

Diante desse contexto, o problema de pesquisa que orienta este estudo é: como a aquisição dos certificados de energia renovável pode contribuir para o processo de sustentabilidade corporativa? A resposta a essa pergunta exige uma análise aprofundada dos conceitos envolvidos, das políticas públicas que incentivam o uso de fontes limpas e dos procedimentos necessários para a obtenção dos certificados. Trata-se de um tema que dialoga diretamente com os princípios da engenharia elétrica, da gestão energética e da responsabilidade socioambiental.

O objetivo geral deste trabalho é compreender de que forma a aquisição dos certificados de energia renovável pode contribuir para o processo de sustentabilidade corporativa. Para isso, serão abordados três objetivos específicos: discorrer acerca dos conceitos e benefícios da energia renovável; estudar as políticas e regulamentações que incentivam a geração e uso de energia renovável no Brasil; e analisar o percurso para a aquisição dos certificados, incluindo as burocracias envolvidas nesse processo.

A escolha por esse tema se justifica pela urgência em promover debates que contribuam para a construção de uma infraestrutura energética mais limpa, eficiente e democrática. A utilização de energia renovável impacta diretamente os custos operacionais, estimula a inovação tecnológica e fortalece o empoderamento do consumidor. Ao explorar esse assunto, este estudo pretende colaborar com a compreensão das estratégias corporativas voltadas à sustentabilidade, evidenciando o papel da engenharia elétrica na transição para um modelo energético mais justo e ambientalmente responsável.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A pesquisa desenvolvida neste trabalho é do tipo Revisão Bibliográfica, com enfoque qualitativo e descritivo. Essa abordagem visa reunir, analisar e sintetizar o conhecimento científico já produzido sobre os certificados de energia renovável e sua contribuição para a sustentabilidade corporativa. A revisão bibliográfica permite compreender o estado atual da temática, identificar lacunas teóricas e destacar as principais práticas e regulamentações que envolvem a aquisição desses certificados no contexto brasileiro, sem a realização de experimentos ou coleta de dados primários.

Para a seleção dos materiais, foram consultadas obras acadêmicas disponíveis em bases de dados reconhecidas, como Google Scholar, SciELO e CAPES, além de documentos técnicos e relatórios institucionais relacionados à política energética e sustentabilidade empresarial. A busca foi direcionada a publicações dos últimos dez anos, com o intuito de garantir a atualidade das informações e contemplar os avanços mais recentes na área de energia renovável e certificações ambientais.

O protocolo de busca foi estruturado por meio da combinação de palavras-chave utilizando operadores booleanos (AND, OR), como por exemplo: “certificados de energia renovável” AND “sustentabilidade corporativa”; “energia limpa no Brasil” OR “I-REC”; “regulação energética” AND “transição energética”. Essa estratégia permitiu ampliar o alcance da pesquisa e garantir a identificação de estudos relevantes em diferentes contextos técnicos, regulatórios e empresariais.

Os critérios de inclusão consideraram publicações em português e inglês que abordassem diretamente os conceitos de energia renovável, os benefícios ambientais e corporativos da sua adoção, as políticas públicas de incentivo à geração limpa e os procedimentos para aquisição de certificados como o I-REC (International Renewable Energy Certificate). Foram excluídos artigos de revisão, resumos, trabalhos não originais e publicações sem fundamentação teórica sólida, a fim de assegurar profundidade e consistência na análise.

A análise e síntese dos materiais selecionados foi conduzida de forma sistemática, utilizando a técnica de análise de conteúdo temática. Essa técnica permitiu identificar categorias recorrentes nos textos, como benefícios ambientais, desafios burocráticos, impactos regulatórios e estratégias corporativas. Os dados foram organizados em quadros temáticos e interpretados à luz de conceitos teóricos e práticos, promovendo uma reflexão crítica sobre o papel da engenharia elétrica na construção de soluções sustentáveis.

Dessa forma, a metodologia adotada neste trabalho oferece uma base teórica sólida para a discussão sobre a integração entre tecnologia, regulação e responsabilidade ambiental, contribuindo para o entendimento das estratégias corporativas voltadas à sustentabilidade e para o fortalecimento da cultura energética limpa no Brasil.

2.2 Resultados

A transição energética para fontes renováveis tem se consolidado como uma estratégia essencial para enfrentar os desafios ambientais e promover o desenvolvimento sustentável. No setor corporativo, essa transição representa uma decisão estratégica que impacta diretamente a reputação, a competitividade e a eficiência operacional das empresas (Ferraz, 2025).

Energia renovável é aquela proveniente de fontes naturais que se regeneram em es-

cala humana de tempo, como solar, eólica, hídrica, biomassa e geotérmica. Essas fontes contrastam com os combustíveis fósseis, que são finitos e altamente poluentes. A utilização de energia renovável reduz significativamente as emissões de gases de efeito estufa, contribui para a mitigação das mudanças climáticas e promove maior segurança energética (Fraga, 2025).

No setor empresarial, os benefícios vão além da dimensão ambiental. Empresas que adotam fontes limpas demonstram compromisso com práticas responsáveis, o que pode atrair investidores, consumidores e parceiros estratégicos. A certificação ambiental, por exemplo, é um diferencial competitivo que reforça a imagem institucional e abre portas para novos mercados. Essa integração está alinhada ao conceito do Triple Bottom Line, que considera simultaneamente os aspectos econômicos, sociais e ambientais da gestão (Silva, 2024).

A economia circular e os princípios de ESG (Environmental, Social and Governance) também impulsionam a adoção de energia renovável nas empresas. Organizações listadas em índices de sustentabilidade empresarial tendem a investir em tecnologias limpas como forma de atender às exigências regulatórias e às expectativas do mercado (Alves, 2019).

Outro aspecto relevante é o papel da energia renovável na promoção do consumo responsável. Ferraz (2025) argumenta que a ecossocioeconomia das organizações está diretamente relacionada à capacidade de oferecer produtos e serviços que respeitem os limites ambientais e sociais. A adoção de fontes limpas permite às empresas alinhar suas operações aos princípios da responsabilidade socioambiental, promovendo uma cultura organizacional voltada à sustentabilidade.

A implementação de projetos de energia renovável também está associada aos mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), que visam incentivar a redução de emissões em países em desenvolvimento. De Freitas, De Abreu e Albuquerque (2013) analisam as implicações estratégicas desses projetos, destacando que empresas que investem em MDL podem obter créditos de carbono, melhorar sua performance ambiental e fortalecer sua posição no mercado internacional. Os certificados de energia renovável, nesse sentido, funcionam como instrumentos de validação e reconhecimento das práticas sustentáveis adotadas.

Com o avanço da tecnologia, novas formas de comercialização de energia renovável têm surgido, como os certificados token baseados em blockchain. Marques, Gomes e Brandão (2023) propõem um modelo inovador que permite maior transparência, rastreabilidade e segurança na negociação desses certificados. Essa abordagem tecnológica fortalece a confiança dos consumidores e investidores, além de facilitar o acesso de pequenas e médias empresas ao mercado de energia limpa.

A coleta e análise de dados socioambientais também desempenham papel fundamental na gestão da sustentabilidade empresarial. Tachizawa e Contador (2022) defendem que sistemas de monitoramento baseados em indicadores ambientais permitem às empresas avaliar o desempenho de suas ações e tomar decisões mais assertivas. A energia renovável, quando integrada a esses sistemas, contribui para a construção de uma infraestrutura corporativa mais eficiente e alinhada aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

A comunicação estratégica das ações sustentáveis é outro fator que potencializa os benefícios da energia renovável. Sousa (2021) destaca que empresas que comunicam de forma clara e transparente suas iniciativas ambientais conseguem engajar melhor seus públicos e fortalecer sua reputação. A aquisição de certificados de energia renovável, nes-

se contexto, é uma ferramenta que pode ser utilizada para demonstrar o compromisso com a sustentabilidade e diferenciar a marca no mercado.

A revisão sistemática realizada por De Lima e Ribeiro (2020) aponta que a sustentabilidade empresarial está cada vez mais integrada às estratégias corporativas, sendo considerada um fator determinante para a competitividade. A energia renovável, como parte dessas estratégias, contribui para a inovação, a redução de custos operacionais e o cumprimento de metas ambientais. A adoção de fontes limpas deixa de ser uma opção e passa a ser uma exigência do mercado e da sociedade.

Araújo e Nazário (2021) reforçam que a sustentabilidade empresarial é um fator de competitividade no Brasil, especialmente em setores que enfrentam pressão regulatória e demanda por práticas responsáveis. A energia renovável, ao reduzir impactos ambientais e promover eficiência energética, torna-se um diferencial estratégico para empresas que desejam se destacar em um mercado cada vez mais consciente e exigente.

No setor industrial, Oliveira (2022) analisa o papel das comunidades de energia renovável como mecanismo de mitigação ambiental. Essas comunidades permitem que empresas compartilhem recursos, reduzam custos e promovam a geração distribuída de energia limpa. A colaboração entre organizações fortalece a infraestrutura energética e contribui para a construção de um modelo mais sustentável e inclusivo.

A adoção de energia renovável também está relacionada à redução da vulnerabilidade energética das empresas. Ao diversificar suas fontes de energia, as organizações tornam-se menos suscetíveis a oscilações de preços e interrupções no fornecimento. Esse fator é especialmente relevante em um cenário de instabilidade climática e geopolítica, no qual a segurança energética é um ativo estratégico (Ferraz, 2025).

Além dos benefícios diretos, a energia renovável promove uma mudança cultural nas organizações. A incorporação de práticas sustentáveis estimula a inovação, o engajamento dos colaboradores e a construção de uma identidade corporativa alinhada aos valores ambientais. Essa transformação interna fortalece a capacidade das empresas de responder aos desafios contemporâneos e de contribuir para a construção de uma sociedade mais justa e equilibrada (Martins; Tose; Souza, 2021).

A expansão da energia renovável no Brasil está diretamente relacionada a políticas públicas e incentivos fiscais que visam promover a transição energética. Um dos principais marcos regulatórios é a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, que criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, permitindo que consumidores gerem sua própria energia e recebam créditos pela injeção na rede.

Além disso, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) oferece incentivos técnicos e financeiros para ampliar o acesso à energia renovável. Empresas que investem em geração distribuída podem se beneficiar de isenções de ICMS, PIS e COFINS sobre equipamentos fotovoltaicos, conforme legislação estadual e federal. Esses incentivos reduzem significativamente os custos de implantação e tornam os projetos mais viáveis economicamente.

A participação do Brasil em acordos internacionais, como o Acordo de Paris, reforça o compromisso com metas de redução de emissões e estimula políticas alinhadas aos objetivos globais de sustentabilidade (De Lima; Ribeiro, 2020). As empresas que desejam investir em energia renovável devem estar atentas às regulamentações que envolvem a certificação ambiental. Meirelles et al. (2022) destacam que a obtenção de selos e certificados, como o I-REC, exige conformidade com critérios técnicos e legais, além de auditorias periódicas. Esses instrumentos funcionam como garantias de que a energia utilizada é

proveniente de fontes renováveis e contribuem para a credibilidade das práticas empresariais.

A regulamentação também se estende ao mercado de créditos de carbono, que permite às empresas compensar suas emissões por meio de investimentos em projetos de energia limpa. De Freitas, De Abreu e Albuquerque (2013) analisam os mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL) como ferramentas estratégicas para empresas que desejam se posicionar de forma sustentável. A participação nesse mercado exige conhecimento técnico e jurídico, além de planejamento estratégico.

A digitalização dos processos regulatórios tem sido uma tendência recente, com destaque para o uso de blockchain na emissão de certificados de energia renovável. Marques, Gomes e Brandão (2023) propõem um modelo que aumenta a transparência e a rastreabilidade das transações, facilitando a verificação da origem da energia e reduzindo fraudes. Essa inovação tecnológica pode transformar a forma como as empresas acessam e gerenciam seus certificados.

Tachizawa e Contador (2022) defendem que os dados socioambientais devem ser incorporados aos sistemas regulatórios como forma de monitorar o desempenho das empresas e orientar políticas públicas. A coleta e análise desses dados permitem identificar padrões de consumo, avaliar impactos ambientais e ajustar as regulamentações conforme as necessidades do setor energético.

A regulamentação também precisa considerar as especificidades regionais e setoriais. Oliveira (2022) destaca que as comunidades de energia renovável, especialmente no setor industrial, enfrentam desafios relacionados à infraestrutura, financiamento e acesso à informação. Políticas públicas que reconheçam essas particularidades são fundamentais para garantir a inclusão e a equidade na transição energética.

A sustentabilidade empresarial, como fator de competitividade, depende da capacidade das empresas de se adaptar às exigências regulatórias. Araújo e Nazário (2021) apontam que organizações que antecipam tendências e se alinham às políticas ambientais tendem a obter vantagens estratégicas. A regulamentação, nesse sentido, não deve ser vista como obstáculo, mas como oportunidade de inovação e reposicionamento no mercado.

A revisão sistemática de De Lima e Ribeiro (2020) revela que a integração entre políticas públicas e estratégias empresariais é um dos pilares da sustentabilidade. A regulamentação deve ser construída de forma colaborativa, envolvendo governo, setor privado e sociedade civil, para garantir que os objetivos ambientais sejam alcançados de maneira eficaz e justa.

Szmuszkowicz, Pereira e Junior (2022) reforçam que a governança ambiental deve ser incorporada aos modelos regulatórios como forma de garantir a responsabilidade das empresas. A transparência, a prestação de contas e o engajamento dos stakeholders são elementos essenciais para a construção de um ambiente regulatório sólido e confiável.

A aquisição de certificados de energia renovável, como o I-REC (International Renewable Energy Certificate), representa uma etapa estratégica para empresas que desejam consolidar sua atuação sustentável, funcionando como comprovação de que determinada quantidade de energia consumida foi gerada a partir de fontes limpas. O processo envolve diversas etapas técnicas e burocráticas, iniciando pela vinculação da empresa a um gerador registrado no sistema I-REC, seguida da contratação de uma emissora autorizada, responsável por validar e emitir os certificados com base nos dados de geração e consumo. Em seguida, a empresa deve apresentar documentação detalhada sobre seu consumo energético e comprovar a origem renovável da energia utilizada, etapa que é

acompanhada por auditorias e verificações para garantir a conformidade com os critérios técnicos e legais (Fraga, 2025).

Conforme ilustrado na Figura 1, o processo de certificação I-REC segue uma sequência estruturada que envolve validações técnicas e documentais, exigindo planejamento e conformidade regulatória.

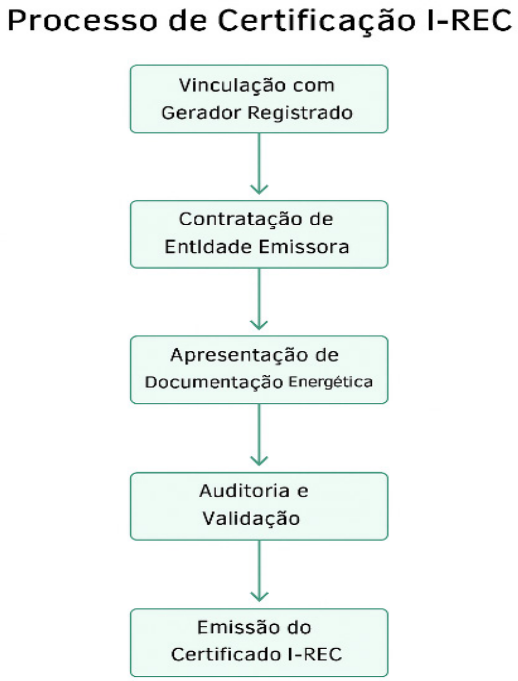


Figura 1. Fluxograma do processo de certificação I-REC.

Fonte: A autora (2025).

Após essa validação, os certificados são emitidos digitalmente e registrados em uma plataforma segura, permitindo rastreabilidade e credibilidade nas transações. Esse percurso exige planejamento estratégico, conformidade regulatória e integração com sistemas de gestão ambiental, sendo que a adoção de tecnologias como blockchain tem ampliado a transparência e a segurança do processo, facilitando o acesso de pequenas e médias empresas ao mercado de energia limpa. Além dos aspectos técnicos, é fundamental que a empresa implemente políticas internas de compliance ambiental, assegurando o cumprimento das normas vigentes e fortalecendo uma cultura organizacional pautada na ética, na responsabilidade socioambiental e na governança sustentável (Alves, 2024).

Outro aspecto relevante é o alinhamento com práticas de compliance. Da Silva (2024) destaca que empresas do setor de energias renováveis devem adotar políticas internas de conformidade que assegurem o cumprimento das normas ambientais e regulatórias. O processo de certificação, nesse sentido, não se limita à emissão de documentos, mas envolve uma cultura organizacional voltada à ética, à responsabilidade e à governança sustentável.

O processo de aquisição dos certificados de energia renovável, como o I-REC, apresenta uma série de exigências regulatórias e operacionais que podem se tornar obstáculos significativos, especialmente para Pequenas e Médias Empresas (PMEs). Entre os principais desafios estão a necessidade de registro junto à ANEEL como agente habilitado, o cumprimento de requisitos técnicos específicos para comprovação da geração renovável,

e a interlocução com entidades emissoras como o Instituto Totum. Esses procedimentos demandam conhecimento técnico, tempo e recursos financeiros, o que pode ser desproporcional para empresas com estrutura enxuta. Além disso, o processo exige a apresentação de documentação detalhada, como relatórios de medição e comprovação de origem da energia, que muitas vezes não estão sistematizados nas PMEs (Fraga, 2025).

Outro ponto crítico é a complexidade do sistema de rastreamento e verificação exigido para a emissão dos certificados. O uso de plataformas digitais específicas, como o sistema I-REC Standard, requer familiaridade com processos digitais e fluência em inglês, o que pode ser uma barreira adicional. A periodicidade das auditorias, a necessidade de manter registros atualizados e a interlocução com múltiplos órgãos reguladores tornam o processo ainda mais burocrático. Esses fatores, somados à falta de suporte técnico acessível, dificultam a entrada de PMEs no mercado de certificados, limitando seu acesso a estratégias de sustentabilidade reconhecidas internacionalmente. Detalhar esses aspectos na seção de Resultados contribui para uma análise mais robusta e crítica sobre os entraves enfrentados pelas empresas brasileiras (Ferraz, 2025).

A burocracia envolvida na aquisição dos certificados também está relacionada à necessidade de integração com sistemas de gestão ambiental. Tachizawa e Contador (2022) argumentam que o uso de dados socioambientais é essencial para monitorar o desempenho das empresas e orientar decisões estratégicas. A certificação, quando incorporada a esses sistemas, fortalece a capacidade da organização de avaliar seus impactos e comunicar suas ações de forma transparente.

No setor de energia elétrica, Purcidonio et al. (2020) analisam um estudo de caso que evidencia os desafios enfrentados por empresas na implementação de práticas sustentáveis. A aquisição de certificados é vista como um diferencial competitivo, mas também como um processo complexo que exige articulação entre diferentes áreas da empresa, como engenharia, jurídico, financeiro e comunicação. A multidisciplinaridade é um fator-chave para o sucesso da certificação.

Empresas listadas no Índice de Sustentabilidade Empresarial da B3 tendem a investir mais em certificações ambientais, reconhecendo o valor agregado à marca e à reputação. No entanto, o custo inicial pode ser um obstáculo para pequenas e médias empresas, o que reforça a importância de políticas públicas de incentivo e simplificação dos processos (Fraga, 2025).

A certificação também influencia o comportamento dos consumidores e parceiros, promovendo uma rede de sustentabilidade e consumo responsável. A comunicação estratégica das ações sustentáveis é fundamental para engajar os públicos e justificar os investimentos realizados.

Dessa forma, a aquisição dos certificados, embora burocrática, representa uma oportunidade valiosa para as empresas se posicionarem de forma ética, responsável e competitiva. A superação dos desafios regulatórios exige articulação entre setores, capacitação técnica e alinhamento com políticas públicas. Quando bem conduzido, esse processo fortalece a sustentabilidade corporativa e contribui para a construção de um modelo energético mais justo e eficiente.

A comunicação estratégica também desempenha papel fundamental na aquisição dos certificados. Sousa (2021) aponta que empresas que comunicam de forma clara suas ações sustentáveis conseguem engajar melhor seus públicos e justificar os investimentos realizados. A certificação, nesse contexto, deve ser integrada à narrativa institucional como prova concreta do compromisso com a sustentabilidade.

Portanto, o percurso para a aquisição dos certificados de energia renovável, embora marcado por burocracias, representa uma oportunidade valiosa para as empresas se posicionarem de forma ética, responsável e competitiva. A superação dos desafios regulatórios exige articulação entre setores, investimento em capacitação e alinhamento com políticas públicas. Quando bem conduzido, esse processo fortalece a sustentabilidade corporativa e contribui para a construção de um modelo energético mais justo e eficiente.

3 CONCLUSÃO

A presente pesquisa evidenciou que a aquisição de certificados de energia renovável, como o I-REC, representa uma estratégia eficaz para fortalecer a sustentabilidade corporativa. Ao adotar fontes limpas e comprovar seu uso por meio de certificações reconhecidas, as empresas não apenas reduzem seus impactos ambientais, mas também se posicionam de forma ética e competitiva no mercado. Essa prática está alinhada aos princípios de governança ambiental, responsabilidade social e eficiência econômica, pilares fundamentais para organizações que buscam longevidade e relevância em um cenário cada vez mais consciente e regulado.

A análise teórica e prática revelou que os certificados de energia renovável funcionam como instrumentos de validação das ações sustentáveis, contribuindo para a construção de uma cultura organizacional voltada à inovação e à responsabilidade socioambiental. Políticas públicas como o ProGD e incentivos fiscais, como isenções de ICMS, PIS e COFINS, desempenham papel crucial na viabilização desses projetos, especialmente para pequenas e médias empresas. Além disso, a digitalização dos processos, com destaque para o uso de blockchain, tem potencial para tornar o sistema de certificação mais acessível, transparente e seguro.

No entanto, a pesquisa apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. Por se tratar de uma revisão bibliográfica, não foram realizados estudos de campo, entrevistas ou análises quantitativas que poderiam aprofundar a compreensão sobre os impactos reais da certificação no desempenho ambiental e financeiro das empresas. Além disso, a abordagem se concentrou no contexto brasileiro, o que restringe a generalização dos resultados para outros países com diferentes estruturas regulatórias e níveis de maturidade energética.

Diante dessas limitações, recomenda-se que pesquisas futuras explorem o tema por meio de estudos empíricos, como análises de casos reais de empresas que adotaram certificados de energia renovável. Investigações comparativas entre diferentes modelos de certificação, como o I-REC e outros sistemas internacionais, também podem oferecer insights relevantes sobre eficiência, custos e credibilidade. Outra sugestão é o aprofundamento da relação entre certificação ambiental e desempenho financeiro, especialmente em setores industriais com alta demanda energética.

Por fim, é fundamental que o debate sobre energia renovável e sustentabilidade corporativa continue sendo ampliado, envolvendo não apenas o setor empresarial, mas também governos, universidades e sociedade civil. A construção de um modelo energético mais justo, eficiente e democrático depende da articulação entre esses atores e da disseminação de práticas que valorizem a responsabilidade ambiental. Este estudo contribui para esse diálogo ao destacar o papel estratégico dos certificados de energia renovável na transição para uma economia de baixo carbono e na consolidação de uma cultura empresarial comprometida com o futuro do planeta.

REFERÊNCIAS

ALVES, Ricardo Ribeiro. **Sustentabilidade empresarial e mercado verde: a transformação do mundo em que vivemos**. Editora Vozes Limitada, 2019.

ARAÚJO, Ricardo; NAZÁRIO, Fernanda Costa Almeida. Sustentabilidade empresarial como fator de competitividade no Brasil. **Revista Novos Desafios**, v. 1, n. 2, p. 49-58, 2021.

DE LIMA, Eliza Minella Buenos Aires; RIBEIRO, Ana Regina Bezerra. Sustentabilidade e estratégia: uma revisão sistemática de literatura. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 4, 2020.

FERRAZ, Ingrid Steil. **Ecossocioeconomia das organizações e consumo responsável: uma análise a partir do setor energético de painéis fotovoltaicos**. 2025. Tese de Doutorado. Universidade Regional de Blumenau (Brazil).

FRAGA, Ana Luzia Bruce. Avaliação financeira de empresas dos setores de energia elétrica, telecomunicações e papel e celulose com destaque no Índice de Sustentabilidade Empresarial da B3 (Base 2024). 2025.

GOMES, Wedja Maria Barbosa; DA SILVA, José Antônio Aleixo. Potencialidades e desafios das energias renováveis para o desenvolvimento sustentável: análise do programa de certificação de energia renovável no Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 545-565, 2020.

MARQUES, Naielly Lopes; GOMES, Leonardo Lima; BRANDÃO, Luiz Eduardo. Um modelo baseado em blockchain para ofertas de certificados token de energia renovável. **Revista Contabilidade & Finanças**, v. 34, p. e1582, 2023.

MARTINS, Carolina Loesch; TOSE, Luiz Vitor Boechat; SOUZA, Mariana Santos Monteiro de. Sustentabilidade empresarial: desenvolvimento sustentável em uma organização a partir do conceito do Triple Bottom Line. 2021.

MEIRELLES, Cibele Sodré et al. Sustentabilidade Empresarial e a Certificação Ambiental nas Empresas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e106111436199-e106111436199, 2022.

OLIVEIRA, António Cardoso. **Comunidades de energia renovável como mecanismo de mitigação ambiental no setor industrial**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal).

PURCIDONIO, Paula Michelle et al. Sustentabilidade corporativa no setor de energia elétrica Brasileiro: um estudo de caso. **Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 15, n. 2, p. 337, 2020.

SOUSA, Carolina. **Sustentabilidade Na Comunicação e Estratégia das Empresas Portuguesas**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho (Portugal).

SZMUSZKOWICZ, Marcelo; PEREIRA, Raquel; JUNIOR, Celso Machado. Economia circular e environment social and governance em empresas listadas no índice de sustentabilidade empresarial. **Revista Organizações em Contexto**, v. 18, n. 36, p. 195-224, 2022.

TACHIZAWA, Takeshy; CONTADOR, Jose Luiz. Dados socioambientais: referencial para desenvolvimento de sistema aplicado à sustentabilidade empresarial. **Revista Conecta**, v. 5, n. 1, p. 42-66, 2022.

SOLUÇÕES DE BAIXO CUSTO COM INTERNET DAS COISAS PARA O GERENCIAMENTO ENERGÉTICO EM AMBIENTES RESIDENCIAIS: UM ESTUDO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

LOW-COST INTERNET OF THINGS SOLUTIONS FOR ENERGY MANAGEMENT IN RESIDENTIAL ENVIRONMENTS: A LITERATURE REVIEW STUDY

Jessica Cristina Santos Machado
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

21

Pascal
Editora

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre soluções de baixo custo baseadas em Internet das Coisas (Em inglês, *Internet of Things* - IoT) para o gerenciamento energético em ambientes residenciais. A pesquisa destaca a relevância do monitoramento em tempo real do consumo elétrico, possibilitando a identificação de padrões de uso, a redução de desperdícios e a adoção de estratégias de resposta à demanda. Foram analisados estudos nacionais e internacionais que evidenciam a viabilidade técnica e econômica dessas tecnologias, mesmo em configurações simples, alcançando economias de até 30% no consumo energético. Além disso, identificou-se a escassez de pesquisas longitudinais e abrangentes sobre o impacto acumulado das soluções IoT em diferentes perfis residenciais. A aplicação da Internet das Coisas (IoT) configura-se como uma estratégia promissora para potencializar a eficiência energética, a sustentabilidade e o uso racional dos recursos em residências. Observou-se, que o avanço e a democratização dessas tecnologias têm o potencial de redefinir a gestão energética no âmbito doméstico, contribuindo para o desenvolvimento de ambientes urbanos mais inteligentes e sustentáveis.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Eficiência Energética; Automação Residencial; Resposta à Demanda.

ABSTRACT

This work presents a literature review on low-cost Internet of Things (IoT)-based solutions for energy management in residential environments. The research highlights the relevance of real-time monitoring of electricity consumption, enabling the identification of usage patterns, the reduction of waste, and the adoption of demand response strategies. National and international studies were analyzed that demonstrate the technical and economic viability of these technologies, even in simple configurations, achieving savings of up to 30% in energy consumption. In addition, a scarcity of longitudinal and comprehensive research on the cumulative impact of IoT solutions in different residential profiles was identified. The application of the Internet of Things (IoT) is configured as a promising strategy to enhance energy efficiency, sustainability, and the rational use of resources in homes. It was observed that the advancement and democratization of these technologies have the potential to redefine energy management in the domestic sphere, contributing to the development of smarter and more sustainable urban environments.

Keywords: Internet of Things; Energy Efficiency; Home Automation; Response to Demand.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a automação residencial consolidou-se como uma tendência tecnológica capaz de transformar a forma como a energia elétrica foi utilizada nas residências. Com o avanço da Internet das Coisas (IoT), tornou-se possível integrar e controlar diversos dispositivos domésticos de maneira remota, promovendo maior conforto, praticidade e segurança. Essa evolução tecnológica representou uma mudança significativa na relação entre os usuários e os equipamentos elétricos, permitindo o gerenciamento inteligente do consumo e contribuindo para o uso mais racional dos recursos energéticos.

Apesar dos avanços e da ampla adoção dos sistemas automatizados, observou-se que a sua simples implementação nem sempre resultou em uma utilização plenamente eficiente da energia. Em muitos casos, os usuários careciam de uma compreensão detalhada sobre o impacto individual que cada dispositivo exerceu no consumo total da residência, o que dificultava a identificação precisa de desperdícios e a implementação de estratégias eficazes de economia. Tal constatação evidenciou uma lacuna e a subsequente necessidade de estudos voltados à análise do comportamento energético dos dispositivos conectados e de sua real influência sobre o consumo global em ambientes residenciais.

A investigação desse tema apresentou relevância significativa, uma vez que a eficiência energética esteve intrinsecamente associada à redução de custos operacionais e à preservação ambiental, aspectos de crescente valor para a sociedade contemporânea. Compreender como as tecnologias de automação residencial influenciaram o consumo elétrico possibilitou identificar oportunidades de otimização no uso da energia e fomentou o desenvolvimento de soluções mais acessíveis, alinhando inovação tecnológica à viabilidade econômica e à sustentabilidade. O foco em sistemas de baixo custo, em particular, buscou democratizar o acesso a práticas de consumo consciente, aspecto fundamental para o avanço de residências mais inteligentes e energeticamente eficientes.

Diante desse cenário e da lacuna identificada na gestão detalhada do consumo, este estudo teve como propósito analisar de que forma os sistemas de automação residencial baseados na Internet das Coisas, especialmente aqueles de baixo custo, influenciaram o consumo de energia elétrica nas residências e como puderam ser gerenciados para promover maior eficiência energética. Esta questão norteou o desenvolvimento do presente trabalho e direcionou a análise sobre as tecnologias disponíveis, suas aplicações e o potencial de otimização do consumo em lares automatizados.

Com esse propósito, o objetivo geral consistiu em analisar o uso de tecnologias de automação residencial baseadas em IoT, com ênfase em sistemas de baixo custo, investigando de que forma esses dispositivos influenciavam o consumo de energia elétrica em ambientes residenciais. De maneira específica, a pesquisa buscou identificar e classificar os principais sistemas de automação residencial de baixo custo e suas aplicações práticas, avaliar de forma estruturada as estratégias de gerenciamento energético implementadas nesses sistemas quanto à sua eficácia e relação custo-benefício, além de examinar os impactos econômicos e ambientais decorrentes de sua utilização. Esperou-se, com isso, fornecer uma base teórica capaz de apoiar o desenvolvimento de soluções acessíveis, eficientes e sustentáveis para o gerenciamento energético no contexto residencial.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O presente trabalho adotou como abordagem metodológica a revisão bibliográfica, com o objetivo de levantar dados, sistematizar e analisar a produção científica e técnica referente ao monitoramento de cargas residenciais por meio de tecnologias de Internet das Coisas, com foco na aplicação ao gerenciamento de resposta à demanda (*Demand Response* – DR), especialmente durante períodos de pico de consumo de energia elétrica.

A seleção do material bibliográfico considerou trabalhos publicados entre os anos de 2015 e 2025, de forma a garantir a atualidade do conteúdo, considerando a rápida evolução das tecnologias relacionadas à Eficiência Energética. Foram incluídos artigos completos em português e inglês, além de dissertações, teses, sites governamentais e documentos técnicos oriundos de periódicos científicos, portais de pesquisa e repositórios acadêmicos reconhecidos no meio científico e tecnológico da área elétrica.

A busca por publicações relevantes foi realizada em bases amplamente reconhecidas no meio científico, como Google Acadêmico, SciELO, Periódicos CAPES, repositórios de teses e dissertações de universidades brasileiras, e também em bases internacionais como MDPI, IEEE Xplore, SpringerLink e ScienceDirect. Para localizar estudos pertinentes, utilizaram-se combinações de palavras-chave em português e inglês, associadas por operadores booleanos “AND” e “OR”, como: “Monitoramento de cargas residenciais”, “Automação residencial de baixo custo”, “Iot para consumo de energia”, “Resposta à demanda ou *demand response*”, “Eficiência energética residencial” e “*Low-cost iot architecture*”.

Para aumentar o rigor metodológico e a transparência da revisão, o processo de seleção foi conduzido em quatro etapas: Identificação, Triagem inicial (título e palavra-chave), Elegibilidade (leitura de resumos) e a Inclusão final. Na Identificação, foram retornadas 327 publicações. Na etapa de Triagem inicial (título e palavra-chave) foi feito o processo de remoção de duplicatas (51 registros), avaliação de 276 trabalhos por título e palavras-chave. Desses, 143 foram excluídos por não apresentarem relação direta com: ambiente residencial, tecnologias IoT, consumo energético e monitoramento de cargas. Na fase de Elegibilidade (leitura de resumos) 85 trabalhos foram excluídos por apresentarem foco em ambiente industrial ou rural, uso de tecnologias não relacionadas ao objetivo da revisão, ausência de abordagem baseada em baixo custo, publicação em idioma diferente de português ou inglês e caráter superficial (*white papers* publicitários, textos introdutórios sem rigor técnico). Na Inclusão final houve a seleção de 48 trabalhos para leitura integral e 21 compuseram a base teórica desta revisão.

Entre os trabalhos analisados, destacaram-se os estudos de Araújo et al. (2021) e Romancini et al. (2022), que propuseram arquiteturas de baixo custo com sensores IoT voltadas ao controle de cargas e otimização do consumo energético. Também foram utilizados artigos internacionais como o de Tushar et al. (2015), que abordou estratégias para equilibrar conforto do usuário e economia de energia. Dessa forma, a presente revisão fornece embasamento técnico e teórico para a compreensão do estado da arte sobre a aplicação de IoT no gerenciamento de cargas residenciais com foco em resposta à demanda.

2.2 Resultados e Discussão

Os sistemas de automação residencial baseados na Internet das Coisas (IoT) têm se destacado como alternativas viáveis e economicamente acessíveis, impulsionados pelo

avanço tecnológico e pela popularização de componentes eletrônicos de baixo custo. Tais soluções apresentaram potencial para monitorar, controlar e otimizar o funcionamento de dispositivos domésticos por meio da integração entre sensores, atuadores, microcontroladores e plataformas de comunicação sem fio. A literatura evidenciou que, quando adequadamente projetados e implementados, esses sistemas favorecem o uso racional de energia, ampliam o conforto dos usuários e promovem maior autonomia na gestão do ambiente residencial. Nesse contexto, Acun e Çunkaş (2023) demonstraram a viabilidade de sistemas de gerenciamento energético de baixo custo utilizando lógica *fuzzy* associada a sensores ambientais e microcontroladores, resultando em controle preciso de iluminação, aquecimento e resfriamento sem comprometer o conforto do usuário.

Complementarmente, estudos voltados ao monitoramento contínuo evidenciaram que essa abordagem não apenas permite a visualização do consumo, mas também auxilia na identificação de padrões ineficientes, contribuindo para modificações comportamentais. Nesse sentido, Severino, Vasconcelos e Andrade (2022) observaram redução média de 12% no consumo energético ao utilizar microcontroladores ESP32 associados a sensores SCT-013 com transmissão via Wi-Fi, após a disponibilização dos dados aos usuários. Apesar de sua simplicidade e baixo custo, os autores ressaltaram que sistemas baseados exclusivamente em Wi-Fi podem apresentar maior consumo próprio e limitações de alcance, sobretudo quando comparados a protocolos mais eficientes.

Pesquisas que investigaram protocolos de comunicação mais leves verificaram ganhos de precisão e desempenho operacional. Guedes et al. (2020) identificaram reduções entre 10% e 15% ao empregar microcontroladores ESP8266 com comunicação via MQTT, atribuindo tal resultado à capacidade de segmentação das cargas energéticas por ambiente. Esses autores destacaram que, embora o uso de MQTT demandasse maior configuração, essa tecnologia apresentou menor tráfego e melhor escalabilidade em relação a sistemas baseados unicamente em Wi-Fi.

Além disso, estudos indicaram que a automação associada ao *feedback* instantâneo ao usuário potencializa os resultados obtidos com o monitoramento. De Freitas et al. (2021) registraram economias de até 18% utilizando sensores ACS712 em tomadas inteligentes, integrados a sistemas de notificação automática via MQTT, permitindo a identificação e correção rápida de usos desnecessários de energia. Embora tenha elevado a complexidade do sistema, a solução permaneceu financeiramente viável devido à ampla disponibilidade comercial dos componentes empregados.

Abordagens baseadas em automação por regras também se mostraram eficientes. Islam et al. (2022) relataram reduções de até 28% ao integrar microcontroladores NodeMCU, sensores ACS712 e acionamento automático por horário ou detecção de presença. Em comparação, Mahmood et al. (2020) demonstraram que sistemas com relés inteligentes operando via *ZigBee* apresentaram economias entre 8% e 22%, além de menor consumo próprio e maior suporte à expansão, evidenciando o equilíbrio entre baixo custo operacional e escalabilidade tecnológica.

No contexto nacional, observou-se que estratégias intermediárias entre monitoramento e automação complexa também podem ser eficazes. Almeida et al. (2023) aplicaram ESP32 associado a sensores INA219 com automação baseada em limiar de corrente, alcançando economias de até 17%. Os autores enfatizaram que os resultados foram fortalecidos por mudanças comportamentais progressivas ao longo da utilização do sistema, destacando a importância do acompanhamento contínuo.

Por fim, soluções associadas à resposta à demanda (Demand Response – DR) apresentaram os melhores resultados em termos de redução percentual do consumo. Tushar

et al. (2018) identificaram economias entre 10% e 30% por meio de estratégias de tarifação dinâmica com corte automático de cargas em horários de pico. De maneira semelhante, Faruqui et al. (2017) observaram reduções estruturais de até 20% ao adotar mecanismos de ajuste automático do consumo conforme a variação tarifária. Apesar da maior complexidade e necessidade de integração com sistemas externos, esses estudos indicaram desempenho superior em eficiência energética. Na tabela 1 apresenta-se um comparativo entre as tecnologias:

Tabela 1. Comparativo entre os autores e tecnologias.

Autor / Ano	Título do Estudo	Tecnologias Utilizadas	Estratégia de Gerenciamento	Resultados Alcançados
Tushar et al. (2018)	*Estratégias de Demand Response (DR) com tarifação dinâmica*	Sensores de baixo custo, *Machine learning*	Ajuste automático do consumo em função da tarifa de energia	Redução entre **10% e 30%** nos custos
Mahmood et al. (2020)	*Gerenciamento energético via ZigBee com relés inteligentes*	ESP32, relés inteligentes, ZigBee	Desligamento de cargas não prioritárias em horários de pico	Economias entre **8% e 22%**
De Freitas et al. (2021)	*Notificações automáticas para economia energética*	Sensores ACS712, tomadas inteligentes, MQTT	Monitoramento com alertas instantâneos ao usuário	Redução de até **18%**
Almeida et al. (2023)	*Sistema integrado de monitoramento e automação por limiar de corrente*	ESP32, sensores INA219, MQTT	Monitoramento com automação baseada em limiar de corrente	Economia máxima de **17%** após ajustes comportamentais
Guedes et al. (2020)	*Monitoramento por cômodo com ESP8266 e MQTT*	ESP8266, sensores SCT-013, MQTT	Monitoramento granular por ambiente	Redução entre **10% e 15%** no consumo
Severino, Vasconcelos e Andrade (2022)	*Sistema de monitoramento energético residencial com ESP32 e Wi-Fi*	ESP32, sensores SCT-013, Wi-Fi	Monitoramento em tempo real e visualização de dados históricos	Redução média de **12%** após conscientização dos usuários
Amaral, Unruh e Oliveira (2021)	*Energy IO: monitoramento de gastos (água e luz)*	Arduino, sensores de corrente e fluxo, módulo Wi-Fi	Monitoramento em tempo real de energia e água	Não quantifica redução, mas destaca potencial para economia e controle
Araújo (2021)	*Automação residencial com objetos inteligentes: qualidade de vida e controle de energia.*	Arduino Mega, sensores diversos, relés, Wi-Fi	Automação para conforto e controle energético	Relata redução de consumo e aumento de qualidade de vida (sem percentual)
Piovesan (2018)	*Sistema de monitoramento de consumo residencial*	Arduino Uno, sensor de corrente, display LCD	Monitoramento manual de consumo por circuito	Sem dados percentuais, mas aponta conscientização como fator de economia

Fonte: Elaborado pela autora.

A análise dos sistemas avaliados demonstrou diferenças relevantes quanto ao custo de implementação, nível de granularidade do monitoramento e complexidade de uso. Nesse sentido, constatou-se que o sistema *Energy IO* se destacou como a solução de menor custo, devido à utilização de componentes amplamente disponíveis e configuração simplificada, adequada para ambientes residenciais de pequena escala. Em contrapartida, a proposta de Piovesan apresentou maior detalhamento por ponto de consumo, permitindo monitoramento em nível de tomada, porém implicando aumento do custo e da complexidade, especialmente pela necessidade de integração de múltiplos sensores distribuídos. Já a abordagem baseada em lógica *fuzzy* (Acun e Çunkaş, 2023) revelou-se tecnicamente mais avançada, proporcionando controle adaptativo de cargas e potencial de otimização energética superior, porém, com demanda por maior capacidade de processamento e conhecimento técnico para implementação, o que pode limitar sua aplicabilidade para usuários residenciais com perfil não especializado.

Além disso, observou-se que o nível de granularidade do monitoramento impactou diretamente a efetividade das intervenções. Sistemas com monitoramento agregado por circuito ou residência apresentaram reduções médias entre 10% e 15%, enquanto aqueles com granularidade por tomada ou por ambiente alcançaram economias superiores, variando entre 18% e 28% (Guedes et al., 2020; De Freitas et al., 2021; Islam et al., 2022). Essa tendência reforça que soluções mais detalhadas favorecem a identificação de cargas com maior potencial de desperdício, embora exijam infraestrutura mais robusta e planejamento de instalação.

No que se refere aos protocolos de comunicação, verificou-se que a escolha da tecnologia interfere significativamente no consumo energético próprio do sistema, na escalabilidade e na viabilidade econômica. Sistemas baseados exclusivamente em Wi-Fi, como observado por Severino, Vasconcelos e Andrade (2022), apresentaram facilidade de implementação, porém maior consumo energético e restrições de alcance, sendo mais adequados para projetos simplificados. Por outro lado, soluções que empregaram MQTT, como nos estudos de Guedes et al. (2020), demonstraram melhor desempenho na transmissão de dados e menor tráfego de rede, embora demandem configuração técnica detalhada. Já os sistemas que integraram *ZigBee* destacaram-se pela eficiência energética, baixa latência e suporte à expansão da rede em malha, caracterizando-se como alternativa promissora para ambientes residenciais com múltiplos pontos de monitoramento (Mahmood et al., 2020).

Dessa forma, a revisão evidenciou que soluções de baixo custo com automação por regras e protocolos simples apresentam maior viabilidade prática para residências unifamiliares e projetos de pequena escala. Em contrapartida, sistemas com lógica avançada ou monitoramento detalhado, embora tecnicamente superiores em termos de eficiência energética, demandam maior investimento, capacidade computacional e suporte especializado, o que pode influenciar diretamente sua aplicabilidade conforme o perfil do usuário e a infraestrutura disponível.

3 CONCLUSÃO

O estudo bibliográfico permitiu analisar de forma abrangente o papel das tecnologias baseadas em Internet das Coisas (IoT) na promoção da eficiência energética em instalações elétricas residenciais. As obras consultadas evidenciaram que o monitoramento em tempo real, combinado a sistemas de controle automatizados e interfaces de visualização intuitivas, constituíam uma estratégia eficaz para racionalizar o consumo, reduzir desperdícios

e melhorar o desempenho energético desses ambientes. Assim, confirmou-se o alcance do objetivo proposto, demonstrando que dispositivos IoT têm potencial significativo para apoiar a resposta à demanda e para fomentar práticas de uso mais consciente da energia.

Entretanto, a revisão revelou limitações importantes no panorama atual. Observou-se uma escassez de estudos de longo prazo que avaliassem os efeitos contínuos dessas tecnologias no consumo global das residências. Além disso, muitos trabalhos restringiram-se a cenários específicos, com baixa diversidade de perfis residenciais analisados. Essa limitação reduziu a capacidade de generalização dos resultados e reforçou a necessidade de pesquisas que integrassem dimensões técnicas, comportamentais e socioeconômicas em contextos mais heterogêneos.

Diante dessas lacunas, recomendou-se o desenvolvimento de novas investigações que considerem residências com diferentes padrões de consumo, avaliando não apenas os ganhos de eficiência pontuais, mas também a viabilidade econômica, o retorno sobre investimento e os impactos ambientais associados. Sugeriu-se, ainda, que futuras pesquisas explorassem a integração de sistemas IoT a programas governamentais de incentivo à eficiência energética, bem como a formulação de protocolos nacionais que orientassem a adoção dessas tecnologias em larga escala.

Com base nos resultados desta revisão, concluiu-se que a Internet das Coisas constituiu uma abordagem promissora, embora ainda insuficientemente explorada para a otimização inteligente e sustentável do consumo energético em ambientes residenciais, alinhando-se às demandas contemporâneas por eficiência, automação e consciência ambiental.

REFERÊNCIAS

ACUN, F.; ÇUNKAŞ, M. **Low-cost fuzzy logic-controlled home energy management system.** Journal of Electrical Systems and Information Technology, v. 10, n. 31, 2023. Disponível em: https://jesit.springeropen.com/articles/10.1186/s43067-023-00100-6. Acesso em: 22 jun. 2025.

AMARAL, G. L.; UNRUH, G. R.; OLIVEIRA, M. M. **Energy IO: sistema de monitoramento de gastos residenciais – água e luz.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/28657. Acesso em: 10 jun. 2025.

ARAÚJO, J. F. de. **Automação residencial com objetos inteligentes: qualidade de vida e controle de energia.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia da Computação) – Centro Universitário de Brasília (UniCEUB), Brasília, 2021. Disponível em: https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/15107. Acesso em: 10 jun. 2025.

BARBOSA, P. F. C. **Um método de otimização de energia multi-protocolo MAC e adaptável por meio de aprendizado de máquina para redes IoT e de sensores.** 2023. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/50078. Acesso em: 05 nov. 2025.

CONDON, F.; MARTÍNEZ, J. M.; ELTAMALY, A. M.; KIM, Y.-C.; AHMED, M. A. **Design and implementation of a cloud-IoT-based home energy management system.** Sensors, v. 23, n. 1, p. 176, 2023. DOI: 10.3390/s23010176.

COSTA, S. J. et al. **Eficiência energética aplicada ao consumo de eletricidade: um estudo de revisão bibliográfica.** Research, Society and Development, v. 10, n. 4, abr. 2021. Disponível em: https://rsdjournal.org/rsd/article/view/14085/12664. Acesso em: 10 jun. 2025.

FARIA, P.; VALE, Z. **Demand response in smart grids.** Energies, v. 16, n. 2, p. 863, 2023. DOI: 10.3390/en16020863.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. **Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy.** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica, 2000. Disponível em: https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/8041/material/v4n3a02.pdf. Acesso em: 18 nov. 2025.

GUEDES, A. C.; SANTANA, A. C. **Automação residencial com NodeMCU ESP8266.** Revista Estudos & Pesquisas Unilins, v. 1, n. 1, 2021. Disponível em: https://www.academia.edu/128741966/Automa%C3%A7%C3%A3o_Residencial_Com_Nodemcu_ESP8266. Acesso em: 05 nov. 2025.

HAFEEZ, G.; HUSSAIN, A.; REHMAN, M.; ALI, S. **Smart home demand side management based on real time electricity pricing through IoT and Big Data analytics.** Sensors, v. 20, n. 11, p. 3155, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/1424-8220/20/11/3155. Acesso em: 28 jun. 2025.

MAHMOOD, Y.; KAMA, N.; AZMI, A.; YA'ACOB, S. **An IoT-based home automation integrated approach: impact on society in sustainable development perspective.** International Journal of Advanced Computer Science and Applications, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2020. DOI: 10.14569/IJACSA.2020.0110131.

OLIVEIRA, Isabella Ferreira de. **Desenvolvimento de um sistema de automação residencial baseado em IoT para controle e monitoramento de dispositivos elétricos.** 2019. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1795/1/MONOGRAFIA_DesenvolvimentoSistemaAutoma%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 18 nov. 2025.

PARRA SANTILIO, F. et al. **Análise do consumo de energia elétrica dos equipamentos IoT utilizados na automação residencial: um estudo de caso para redução do consumo de energia elétrica.** RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar, v. 4, n. 10, p. e4104172, 15 out. 2023. Disponível em: https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/4172. Acesso em: 08 jun. 2025.

PIOVESAN, L. **Sistema de monitoramento para consumo de energia residencial.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Ijuí, 2018. Disponível em: https://bibliodigital.unijui.edu.br/bitstreams/3ae5391c-f-373-423d-92b4-af4358a2650d/download. Acesso em: 22 jun. 2025.

ROMANCINI, E. M. R.; ZANON, V. R.; MORALES, A. S. **Monitoramento inteligente do consumo de energia elétrica em residências utilizando recursos de IoT.** Anais do Computer on the Beach, Itajaí, mai. 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362028042_Monitoramento_inteligente_do_consumo_de_energia_eletrica_em_residencias_utilizando_recursos_de_IoT. Acesso em: 18 nov. 2025.

SEVERINO, V.; VASCONCELOS, D.; ANDRADE, R. **Monitoramento inteligente de consumo energético em ambiente residencial utilizando IoT.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO UBÍQUA E PERVASIVA (SBCUP), 2020. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. DOI: 10.5753/SBCUP.2020.11209.

SOUZA JÚNIOR, M. **Monitoramento de cargas residenciais utilizando tecnologias de Internet das Coisas com aplicação no gerenciamento de resposta à demanda.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2023. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/5a0976de-afc0-462b-9a77-6ba711ba96cf/content. Acesso em: 22 jun. 2025.

TUSHAR, W. et al. **IoT for Green Building Management. 2018.** Disponível em: https://arxiv.org/abs/1805.10635. Acesso em: 22 jun. 2025.

Pascal
Editora

Engenharia Mecânica

INTEGRAÇÃO ENTRE MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NO SETOR INDUSTRIAL

INTEGRATION BETWEEN MAINTENANCE AND RELIABILITY FOR COST REDUCTION IN THE INDUSTRIAL SECTOR.

Jobenilton Costa Ribeiro
Carolina Gomes Araujo Garreto

22

Pascal
Editora

RESUMO

A integração estratégica entre manutenção e confiabilidade constitui um diferencial competitivo para a indústria, com impacto direto na redução de custos e no aumento da eficiência operacional. Este trabalho teve como propósito analisar essa integração, destacando sua relevância para a melhoria da disponibilidade dos ativos e a otimização de processos produtivos. O problema investigado concentrou-se em compreender de que forma essa sinergia contribui para a gestão de custos. O objetivo geral consistiu em avaliar o papel da manutenção aliada à confiabilidade nessa gestão, considerando os impactos econômicos e operacionais decorrentes. A metodologia baseou-se em revisão bibliográfica de obras e artigos especializados, permitindo reunir conceitos fundamentais sobre os diferentes tipos de manutenção – corretiva, preventiva, preditiva, detectiva e a manutenção centrada em confiabilidade – e sua evolução histórica. A análise evidenciou que a correta aplicação das estratégias de manutenção, associada a indicadores de confiabilidade, possibilita não apenas prolongar a vida útil dos equipamentos, mas também reduzir desperdícios, aumentar a segurança e contribuir para a sustentabilidade operacional. Como considerações finais, conclui-se que a integração entre manutenção e confiabilidade representa uma prática essencial para empresas que buscam competitividade, eficiência e gestão responsável de seus recursos

Palavras-chave: Manutenção Industrial. Confiabilidade. Manutenção Preditiva

ABSTRACT

The strategic integration of maintenance and reliability constitutes a competitive advantage for industry, with a direct impact on cost reduction and increased operational efficiency. This work aimed to analyze this integration, highlighting its relevance to improving asset availability and optimizing production processes. The problem investigated focused on understanding how this synergy contributes to cost management. The overall objective was to evaluate the role of maintenance combined with reliability in this management, considering the resulting economic and operational impacts. The methodology was based on a literature review of specialized works and articles, allowing the gathering of fundamental concepts about the different types of maintenance – corrective, preventive, predictive, detective, and reliability-centered maintenance – and their historical evolution. The analysis showed that the correct application of maintenance strategies, associated with reliability indicators, makes it possible not only to extend the useful life of equipment but also to reduce waste, increase safety, and contribute to operational sustainability. In conclusion, the integration of maintenance and reliability is essential for companies seeking competitiveness, efficiency, and responsible management of their resources.

Keywords: Industrial Maintenance. Reliability. Predictive Maintenance

1 INTRODUÇÃO

A competitividade do setor industrial exige práticas de gestão que assegurem eficiência e sustentabilidade. Nesse cenário, a manutenção de equipamentos não deve ser vista apenas como uma atividade corretiva, mas como uma estratégia para aumentar a confiabilidade e reduzir custos. A integração entre manutenção e confiabilidade torna-se essencial para diminuir falhas, otimizar processos e garantir maior disponibilidade dos ativos.

Diante disso, a manutenção e a confiabilidade são peças fundamentais para a eficiência e uma estratégia para redução e controle de custos nas indústrias, garantindo assim o bom funcionamento de equipamentos, sistemas e processos industriais. Quando caminham juntas, é possível potencializar a disponibilidade de equipamentos e minimizar paradas não programadas, resultando em aumento da disponibilidade para operação, redução de custos, otimização dos custos dos ativos, melhor eficiência operacional, dentre outros benefícios.

A escolha do tema justifica-se pela relevância que essas práticas assumem em ambientes industriais modernos. Empresas que adotam manutenção preventiva e preditiva, associadas a indicadores de confiabilidade, alcançam maior produtividade e reduzem desperdícios. Além disso, essas estratégias possibilitam prolongar a vida útil dos equipamentos e alinhar competitividade com sustentabilidade operacional.

A presente pesquisa busca responder à seguinte questão: de que forma a integração entre manutenção e confiabilidade pode contribuir para a redução de custos no setor industrial? Essa problemática envolve a análise das práticas adotadas, dos benefícios alcançados e dos desafios enfrentados pelas organizações que buscam maior eficiência operacional, sem comprometer a segurança dos processos produtivos.

O objetivo geral deste estudo é analisar como a manutenção aliada à confiabilidade pode se transformar em ferramenta estratégica de gestão de custos no setor industrial. Parte-se do pressuposto de que a integração entre essas áreas não apenas otimiza a disponibilidade e a performance dos ativos, mas também potencializa a redução de desperdícios e falhas, promovendo maior previsibilidade e controle dos processos.

De forma mais específica, este trabalho propõe-se a: analisar conceitos da literatura sobre manutenção e confiabilidade; e discutir os impactos econômicos e operacionais decorrentes dessa integração no setor industrial. Espera-se, com isso, evidenciar a importância de práticas gerenciais que unam eficiência operacional, segurança e viabilidade econômica, apontando caminhos que possam servir de referência para a gestão industrial contemporânea.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A presente pesquisa foi conduzida por meio de uma Revisão Bibliográfica, de caráter qualitativo e descritivo, que buscou analisar a relação entre manutenção, confiabilidade e redução de custos no setor industrial. Foram selecionados artigos publicados nos 10 anos, assegurando a atualidade e a relevância das informações. Para tanto, foram adotados critérios de inclusão que contemplaram trabalhos em português e inglês, com foco em Engenharia mecânica, Gestão de Ativos e Manutenção Industrial, garantindo maior pertinência aos objetivos do estudo.

No processo, foram excluídos artigos de revisão, publicações sem rigor científico, re-

sumos de eventos e trabalhos de opinião. Dessa forma, priorizaram-se materiais completos, devidamente avaliados em periódicos reconhecidos, além de dissertações e teses de universidades brasileiras. As bases de dados consultadas foram o Google Acadêmico, a biblioteca SciELO, os periódicos disponibilizados pela CAPES, bem como repositórios institucionais. Essas fontes foram escolhidas devido à relevância e acessibilidade no meio acadêmico.

2.2 Resultados e Discussão

A manutenção é um conceito que remonta ao latim *manus tenere*, que significa "manter o que se tem", estando historicamente ligada à atuação humana no cuidado e no manuseio de instrumentos de produção. Desde os primórdios, a manutenção tem sido essencial para garantir que os equipamentos desempenhem suas funções de maneira adequada (Costa, 2022).

De acordo com Boeira (2022), ela envolve todas as ações técnicas e administrativas, incluindo supervisão, voltadas a manter ou recolocar um item em condições de funcionamento. Além disso, a manutenção busca assegurar a confiabilidade e disponibilidade de equipamentos e instalações, preservando a segurança, o meio ambiente e mantendo custos compatíveis com a operação.

Tradicionalmente, a manutenção era vista apenas como um setor gerador de custos, mas a dinâmica econômica atual exige competitividade e eficiência nos processos produtivos. Nesse contexto, torna-se fundamental investir na melhoria de equipamentos e processos, elevando a importância da manutenção como instrumento estratégico (Lira, 2024).

Ainda segundo Lira (2024), a manutenção passou a ser reconhecida como um fator capaz de influenciar positivamente as prioridades competitivas da manufatura, apoiando a redução de custos e o aumento da produtividade, e contribuindo para a vantagem competitiva das empresas.

De acordo com Santos et al. (2022), a implementação de sistemas produtivos como o Just-in-Time trouxe automação em larga escala e redução de estoques, tornando a manutenção ainda mais relevante. Pequenas interrupções ou falhas nos fluxos de produção podem gerar impactos econômicos significativos, reforçando a necessidade de estratégias de manutenção bem estruturadas.

Conforme Santos et al. (2022), a crescente complexidade e o alto custo dos ativos industriais exigem uma gestão estratégica da manutenção. Equipamentos operando fora das condições ideais podem sofrer danos que comprometam seu desempenho e gerem prejuízos irreparáveis, afetando a competitividade da empresa.

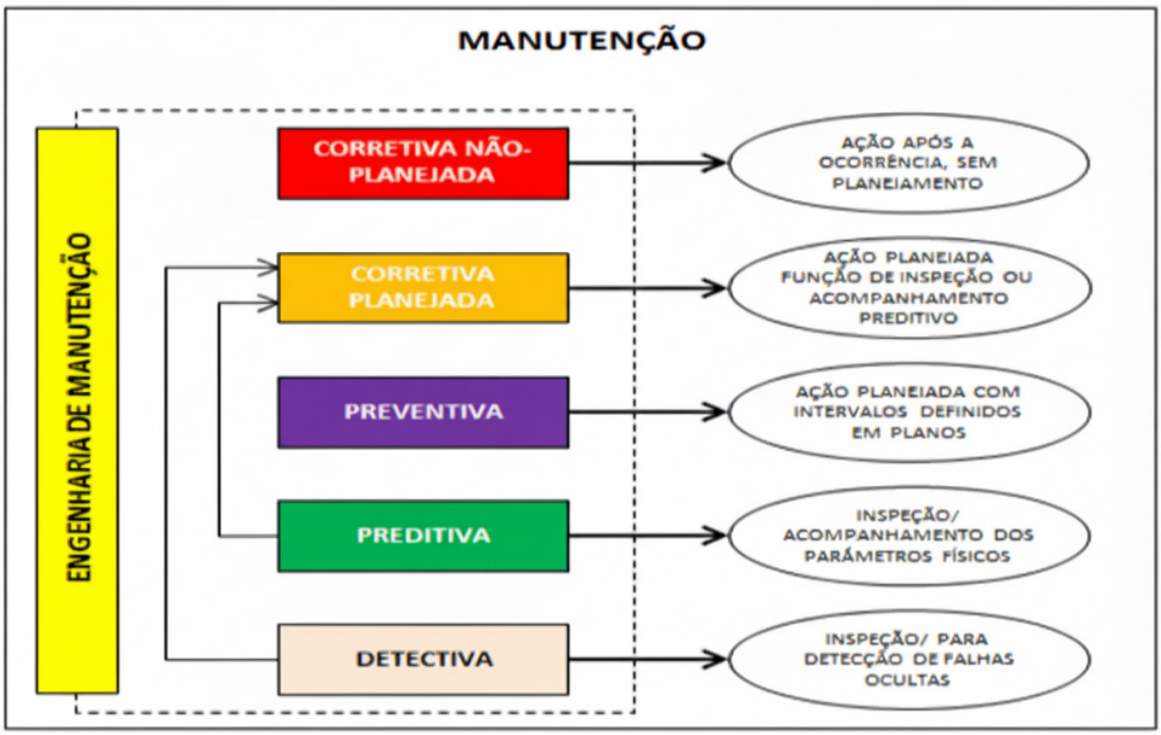
Segundo Ferreira (2021), existem ferramentas que incorporam a palavra "manutenção" em seus nomes, como a Manutenção Produtiva Total (TPM) e a Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM). Essas abordagens não constituem novos tipos de manutenção, mas sim métodos que auxiliam na aplicação dos principais tipos existentes, oferecendo estrutura e direcionamento para a gestão e execução das atividades de manutenção.

2.2.1 Tipos de manutenção no setor industrial

Os tipos de manutenção incluem a corretiva, não planejada, planejada, preventiva, preditiva, detectiva e a engenharia da manutenção. Cada um desses tipos pode ser enten-

dido como uma política de manutenção, desde que sua implementação seja resultado de decisões gerenciais fundamentadas em critérios técnico-econômicos e alinhadas à estratégia global da instalação (Venâncio, 2021).

Figura 1. Principais tipos de Manutenção



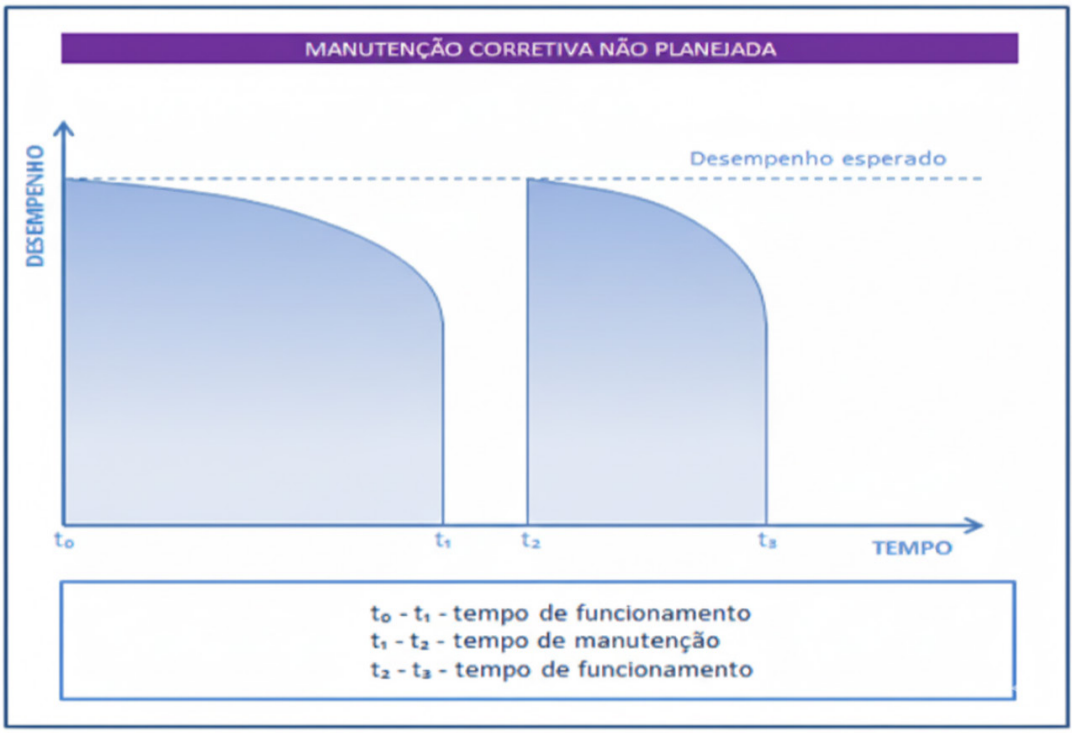
Fonte: Adaptado de Abreu (2023).

A manutenção corretiva é o tipo de intervenção aplicada quando um equipamento ou sistema apresenta falha ou redução significativa de desempenho. Sua aplicação ocorre após a identificação de um problema, com o objetivo de restaurar o funcionamento adequado e garantir a continuidade do processo produtivo (Abreu, 2023).

Esse tipo de manutenção pode ser classificado em duas modalidades: planejada e não planejada. A manutenção corretiva planejada acontece quando já existe uma preparação prévia para a intervenção, permitindo o uso de recursos adequados, programação de paradas e redução de custos (Abreu, 2023). Por outro lado, a manutenção corretiva não planejada, também chamada emergencial, ocorre de forma inesperada, logo após a falha, exigindo uma resposta imediata para restabelecer as condições de operação.

No caso da manutenção corretiva não planejada, os custos tendem a ser mais elevados, já que uma parada súbita pode comprometer a produção, afetar a qualidade dos produtos e até mesmo gerar riscos adicionais ao equipamento. Além disso, a falta de planejamento pode resultar em danos mais graves, exigindo reparos mais complexos e impactando negativamente a confiabilidade e a disponibilidade da operação (Oliveira; Lima, 2022).

Figura 2. Manutenção corretiva não planejada



Fonte: Adaptado Lucena (2024).

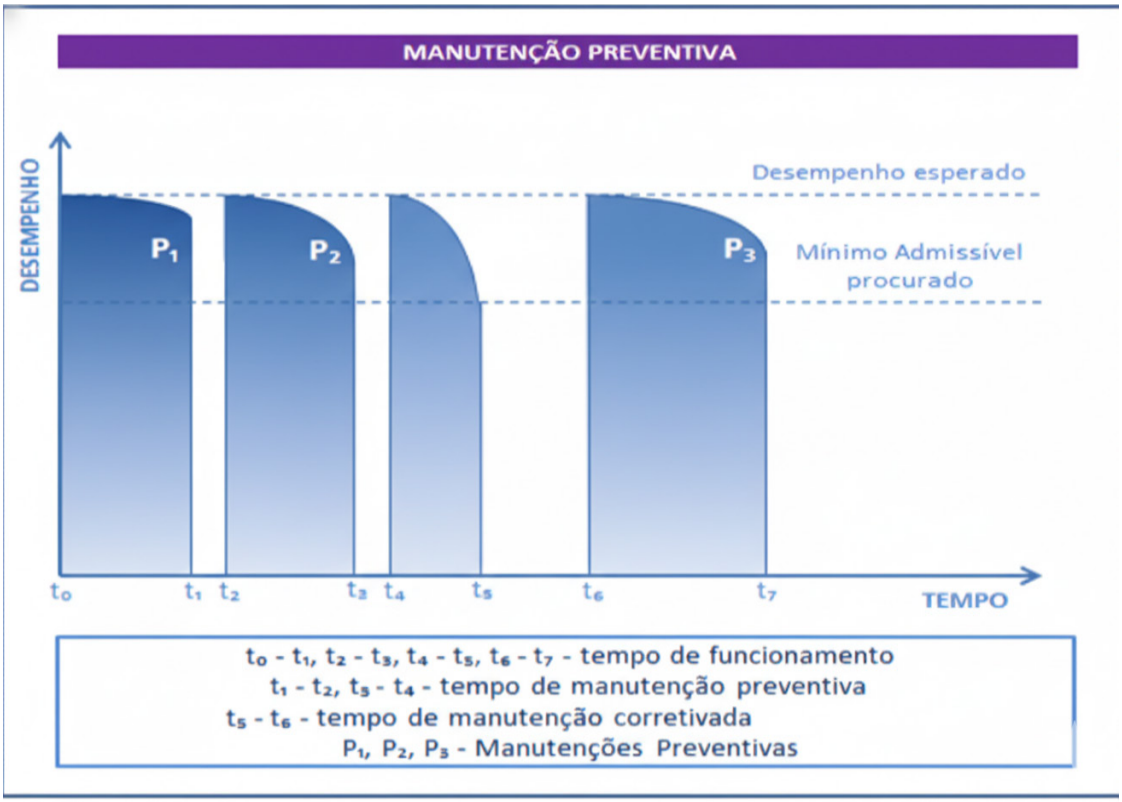
A manutenção corretiva planejada consiste em intervir no equipamento ou sistema de forma organizada, corrigindo falhas ou desempenho abaixo do esperado a partir de uma decisão gerencial previamente estabelecida. Diferente da corretiva não planejada, esse tipo de manutenção conta com programação antecipada, que pode estar baseada no acompanhamento de parâmetros operacionais (Lucena, 2024).

De acordo com Lucena (2024), entre suas principais vantagens estão o menor tempo de parada e a redução de custos, já que o planejamento garante a disponibilidade de peças sobressalentes, ferramentas adequadas e mão de obra capacitada.

A manutenção preventiva consiste na realização de intervenções em máquinas e equipamentos que ainda não apresentam falhas ou queda de rendimento, mantendo-os em condições ideais de operação. Essas ações são realizadas em intervalos de tempo pré-estabelecidos ou de acordo com critérios técnicos definidos, com o objetivo de reduzir a probabilidade de falhas e evitar paradas inesperadas no processo produtivo (Teixeira, 2025).

A figura 3 evidencia que, mesmo com a adoção da manutenção preventiva em intervalos planejados, ainda podem ocorrer falhas que demandam ações corretivas ocasionais. A definição das pautas de manutenção é feita com base em análises técnicas e informações fornecidas pelo fabricante, reduzindo a improvisação e aumentando a qualidade do serviço (Nantet, 2024).

Figura 3. Manutenção Preventiva



Fonte: Adaptado Lucena (2024).

Ainda segundo Nantet (2024), a manutenção preventiva é mais indicada em situações onde a reposição é simples, o custo da falha é elevado, há risco de comprometer a produção ou de afetar a segurança. Dessa forma, sua aplicação contribui para maior confiabilidade e eficiência operacional.

A manutenção preditiva, também conhecida como manutenção sob condição, caracteriza-se pelo acompanhamento contínuo do desempenho dos equipamentos a partir de parâmetros previamente definidos. Esse tipo de manutenção consiste na atuação baseada na modificação de variáveis de condição, seguindo uma sistemática que busca identificar tendências de falhas antes que estas se concretizem (Lucena, 2024).

Trata-se de um conjunto de procedimentos que garantem a qualidade desejada do serviço por meio da aplicação de técnicas de análise e monitoramento, reduzindo a necessidade de intervenções corretivas e minimizando as ações preventivas desnecessárias. Nesse contexto, a manutenção preditiva utiliza variáveis críticas que refletem diretamente o estado do equipamento, as quais podem ser obtidas por monitoramento sensitivo ou por instrumentação em campo (Coutinho, 2025).

Diversas técnicas especializadas são aplicadas no âmbito da manutenção preditiva, permitindo uma análise mais completa e assertiva das condições operacionais. Métodos como análise de vibrações mecânicas, termografia, ensaios por ultrassom e análise de óleos lubrificantes são instrumentos fundamentais nesse processo (Coutinho, 2025).

Segundo Ferreira e Achcar (2024), A utilização dessas ferramentas fornece dados essenciais para que as decisões de intervenção sejam tomadas no momento adequado, contribuindo assim para o aumento da confiabilidade e da eficiência dos equipamentos industriais.

De acordo Ferreira e Achcar (2024), a manutenção detectiva consiste em atuar em

sistemas de produção, comando e controle com o objetivo de identificar falhas que não são perceptíveis durante a operação normal ou pelas equipes de manutenção. Esse tipo de manutenção realiza verificações para garantir que sistemas de proteção e controle ainda estejam funcionando corretamente, prevenindo problemas de confiabilidade que poderiam causar interrupções inesperadas e comprometer o cumprimento de programas operacionais.

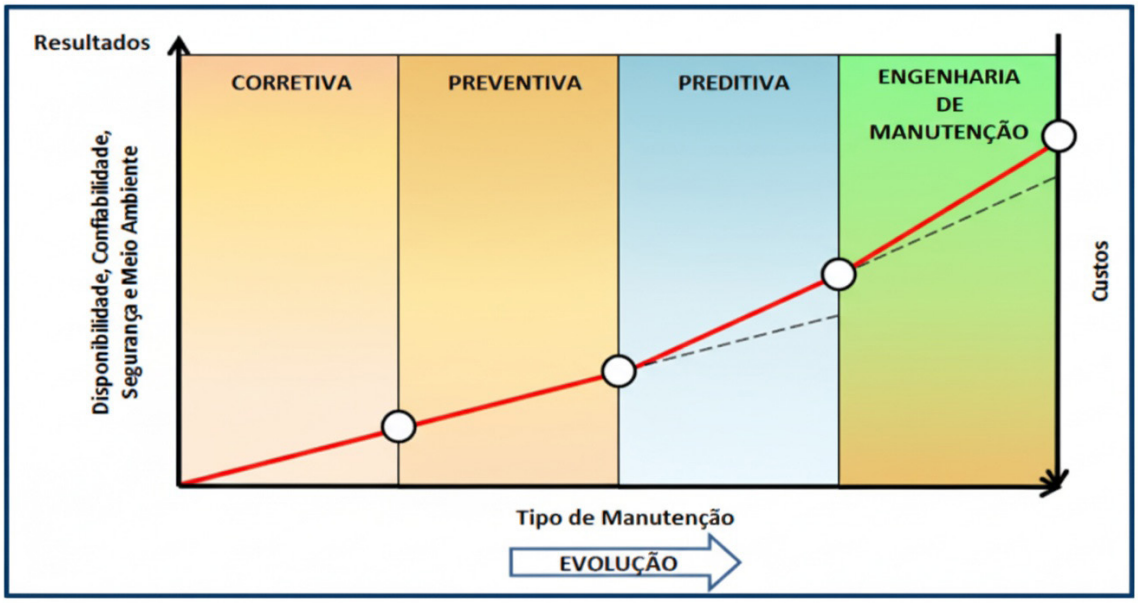
Esse método permite um maior controle sobre o estado dos equipamentos, pois especialistas realizam inspeções abrangentes sem a necessidade de interromper o funcionamento do sistema. Durante essas verificações, as falhas ocultas são identificadas e, sempre que possível, corrigidas, garantindo que o sistema continue operando de forma eficiente e segura (Coutinho, 2025).

2.2.2 Engenharia de Manutenção

A Engenharia de Manutenção representa uma transformação na forma de gerenciar e executar a manutenção, exigindo uma mudança cultural dentro das organizações. Seu foco vai além de consertar equipamentos, priorizando a otimização de processos e a melhoria contínua dos sistemas de produção (Viana, 2024).

Ainda de acordo com Viana (2024), esse conceito envolve a busca constante por referências de excelência, a adoção de práticas mais modernas e eficientes e a aplicação de técnicas avançadas que permitem antecipar problemas e reduzir falhas. A mudança cultural é essencial para que essas estratégias sejam incorporadas de forma consistente.

Figura 4. Integração de engenharias de Manutenção



Fonte: Adaptado Lira (2024).

A implementação de novas técnicas de manutenção resulta em ganhos significativos, como aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, maior segurança operacional, menor impacto ambiental e redução de custos. Esses benefícios demonstram a importância de alinhar a Engenharia de Manutenção às metas estratégicas da empresa (Lira, 2024).

2.2.3 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

De acordo com Ferreira (2021), a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é um programa estruturado que reúne diversas técnicas de engenharia com o objetivo de assegurar que os equipamentos continuem exercendo suas funções de forma eficiente. Esta metodologia é o coração da integração proposta neste trabalho, pois define a estratégia de manutenção mais adequada e econômica para cada ativo, com base em sua criticidade e modos de falha.

Trata-se de uma metodologia que busca definir a estratégia de manutenção mais adequada para cada situação, preservando o desempenho esperado dos sistemas produtivos. O propósito central é manter as funções, identificar falhas críticas e selecionar ações eficazes que previnam ou minimizem problemas operacionais (BOEIRA, 2022).

A aplicação da MCC se baseia em uma análise detalhada dos ativos, considerando suas funções, modos de falha, causas e consequências. Esse processo permite avaliar a relevância de cada falha e determinar medidas preventivas ou preditivas adequadas para cada caso (Ferreira, 2022).

Segundo Boeira (2022), quando não há uma tarefa proativa disponível, estabelece-se uma ação alternativa que assegure a continuidade do funcionamento sem comprometer a confiabilidade e a segurança do sistema.

De acordo com Ferreira (2021), a metodologia da MCC é desenvolvida por meio de objetivos claros, como preservar as funções do sistema, identificar modos de falha, priorizar as mais relevantes e selecionar manutenções eficazes. Para isso, segue um processo em etapas que envolve a seleção do sistema, definição de suas fronteiras, descrição funcional, análise de falhas, uso de ferramentas de decisão e escolha das tarefas mais adequadas.

As funções e padrões de desempenho são fundamentais dentro da Manutenção Centrada em Confiabilidade, pois definem o que se espera de cada ativo ao longo de sua vida útil. Cada equipamento possui funções primárias, que justificam sua aquisição, e secundárias, que complementam seu uso. Dessa forma, compreender essas funções é essencial para garantir que o ativo opere de acordo com os requisitos de desempenho estabelecidos (Costa, 2022).

As falhas funcionais representam a incapacidade de um equipamento em cumprir sua função de acordo com os padrões esperados. Quando isso ocorre, torna-se necessário que a manutenção atue de forma estratégica para gerenciar o problema (Santos *et al.,* 2022). Para isso, é importante identificar as circunstâncias que podem levar ao estado de falha, permitindo que sejam adotadas medidas preventivas ou corretivas adequadas.

A análise FMEA se destaca como uma ferramenta de confiabilidade voltada para o estudo dos modos de falha e seus efeitos. Trata-se de um processo que permite identificar riscos, propor ações para reduzir falhas potenciais e documentar melhorias para projetos e processos futuros. Com sua aplicação, é possível obter benefícios como a redução de custos, maior eficiência operacional e prevenção de defeitos de forma sistemática (Lira, 2024).

Santos et al. (2022), a Árvore Lógica de Decisão (LTA) é uma ferramenta utilizada na Manutenção Centrada em Confiabilidade com o objetivo de apoiar a análise qualitativa dos modos de falha de um sistema. Por meio de uma estrutura lógica de perguntas e respostas, a LTA permite identificar se determinada falha possui impacto na segurança, no meio ambiente, na operação ou nos custos, orientando assim a definição das ações de manutenção mais adequadas. Esse processo possibilita a priorização dos recursos, garantindo que sejam direcionados de forma eficiente aos modos de falha que exigem maior atenção.

Dessa forma, a utilização da LTA contribui para a padronização e sistematização do processo decisório dentro da gestão de manutenção. Ao enfatizar os efeitos de cada falha e suas consequências para o desempenho do sistema, a ferramenta auxilia na escolha entre estratégias como manutenção preventiva, preditiva ou corretiva (Boeira, 2022).

2.2.4 Síntese da Integração: Manutenção e Confiabilidade na Redução de Custos

A análise dos estudos revisados evidencia que a integração entre manutenção e confiabilidade apresenta impactos significativos na redução de custos operacionais em ambientes industriais. Oliveira e Lima (2022) destacam que a implementação de programas estruturados de manutenção preventiva e corretiva permite identificar falhas potenciais antes que ocorram interrupções críticas, diminuindo gastos com reparos emergenciais e prolongando a vida útil dos equipamentos. De maneira complementar, Lucena (2024) reforça a relevância da manutenção preventiva em subestações de média tensão, indicando que a abordagem sistemática reduz a incidência de falhas inesperadas e aumenta a segurança operacional.

No contexto da confiabilidade, Lira (2024) e Santos et al. (2022) demonstram que a caracterização e análise de estratégias de manutenção permitem priorizar ações sobre os ativos mais críticos, promovendo uma gestão mais eficiente de recursos.

Estudos de manutenção preditiva, como os realizados por Nantet (2024) e Teixeira (2025), apontam que técnicas como termografia e análise de vibrações fornecem dados precisos sobre o estado operacional dos equipamentos, possibilitando intervenções pontuais que evitam paradas não programadas. Esses resultados indicam que a aplicação da engenharia da confiabilidade não apenas melhora o desempenho dos sistemas, mas também otimiza os custos com manutenção ao focar em prevenção e prognóstico.

A gestão da manutenção de frotas e equipamentos industriais, conforme observado por Pinheiro e Silva (2025), evidencia que estratégias combinadas de manutenção preventiva, preditiva e corretiva asseguram confiabilidade e segurança, impactando diretamente a produtividade e a redução de desperdícios.

A discussão dos trabalhos analisados demonstra que a sinergia entre manutenção e confiabilidade cria um ciclo virtuoso, em que intervenções planejadas, monitoramento contínuo e análise de dados contribuem para a eficiência operacional. Portanto, as organizações que adotam essa abordagem integrada conseguem reduzir custos, aumentar a disponibilidade dos ativos e fortalecer a competitividade no setor industrial (Pinheiro; Silva, 2025).

3 CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou que a integração entre manutenção e confiabilidade contribui para a redução de custos no setor industrial principalmente por meio da minimização de paradas não programadas, da extensão da vida útil dos ativos e da otimização na alocação de recursos de manutenção. Os objetivos propostos foram alcançados, uma vez que se evidenciou que tais práticas contribuem não apenas para reduzir custos, mas também para aumentar a eficiência operacional e a disponibilidade dos equipamentos.

No decorrer do trabalho, verificou-se que a correta aplicação dos diferentes tipos de

manutenção, aliada a metodologias estruturadas e indicadores de confiabilidade, favorece a tomada de decisões mais assertivas. Essa integração possibilita minimizar falhas, prolongar a vida útil dos ativos e reduzir paradas não programadas, promovendo maior previsibilidade e segurança nos processos produtivos. Entretanto, identificou-se que a implementação dessas práticas enfrenta desafios, como a necessidade de investimentos em capacitação, tecnologias de monitoramento e mudança cultural dentro das empresas.

Por fim, conclui-se que a manutenção e a confiabilidade, quando trabalhadas em conjunto, fortalecem a gestão de custos e a competitividade do setor industrial. Como recomendação, sugere-se que estudos futuros quantifiquem os ganhos financeiros dessa integração em estudos de caso específicos, bem como explorem a implantação de sensores de IoT para a manutenção preditiva dentro do conceito de Indústria 4.0. Além disso, abre-se espaço para investigações que relacionem essas práticas a temas emergentes, como transformação digital e sustentabilidade ambiental, ampliando ainda mais as possibilidades de inovação na área de gestão da manutenção.

REFERÊNCIAS

ABREU, Rafael Andrade de. Eficácia Da Manutenção Preventiva. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, *[S. l.]*, v. 9, n. 3, p. 2112–2119, 2023. DOI: 10.51891/rease. v9i3.9085. Disponível em: https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/9085. Acesso em: 29 ago. 2025.

ABREU, Rafael Andrade de. Eficácia Da Manutenção Preventiva. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, *S.l.S.l.*, v. 9, n. 3, p. 2112–2119, 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i3.9085. Disponível em: https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/9085. Acesso em: 29 ago. 2025.

BOEIRA, Felipe de Souza. **Estudo e análise de falhas em pás carregadeiras baseadas na manutenção centrada em confiabilidade**. 2022.

BOEIRA, Felipe de Souza7. **Estudo e análise de falhas em pás carregadeiras baseadas na manutenção centrada em confiabilidade**. 2022.

COSTA, Thiago Fernandes Anício: **Estudo da manutenção centrada em confiabilidade na melhoria da confiabilidade dos ativos críticos**: o caso do departamento de manutenção de uma empresa siderúrgica. 2022. 69 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

COSTA, Thiago Fernandes Anício: **Estudo da manutenção centrada em confiabilidade na melhoria da confiabilidade dos ativos críticos**: o caso do departamento de manutenção de uma empresa siderúrgica. 2022. 69 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

COUTINHO, Loureni Monteiro. **Vibração aumentada de equipamentos por métodos de visão computacional para manutenção preditiva**. 2025.

FERREIRA, Paulo Henrique Assis. **Estudo das contribuições da Manutenção Centrada na Confiabilidade na implementação do Perfil de Perdas com auxílio do Business Intelligence**: o caso da manutenção de equipamentos móveis de uma empresa de mineração. 2021.

FERREIRA, Timóteo Simão; ACHCAR, Jorge Alberto. Estratégia de manutenção em usina de açúcar e álcool com duas linhas de moagem utilizando a engenharia de confiabilidade. **Revista Produção Online**, v. 24, n. 3, p. 5028-5028, 2024.

LIRA, Conceição Jane Guedes de. **Estudo da confiabilidade para caracterização de estratégias de manutenção de equipamentos de climatização industrial no ramo alimentício**. 2024. 116 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) --- Universidade de Brasília, Brasília, 2024.

LUCENA, Antonio Felliphe Chianca. **A importância da manutenção preventiva em subestações abrigadas de média tensão**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso.

NANTET, Gustavo Neves. **Manutenção preditiva**: termografia qualitativa empregada em equipamentos eletromecânicos. 2024.

OLIVEIRA, Camilla; LIMA, Diogo Pedreira. Manual de manutenção preventiva e corretiva em edificações. **Technology Sciences**, v. 4, n. 1, p. 12-19, 2022.

PINHEIRO, Lucas Lima; SILVA, Magnum Moreira da. Gestão da manutenção: Garantindo a confiabilidade e segurança da frota de caminhões em uma distribuidora de bebidas. **Research, Society and Development**, v. 14, n. 6, p. e10114649091-e10114649091, 2025.

SANTOS, Bruna Luiza Pinto et al. Aplicação da engenharia da confiabilidade na manutenção de sistemas reparáveis: uma revisão sistemática da literatura. **XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2022.

TEIXEIRA, Magno. Uma Análise de Vibrações como Ferramenta de Manutenção Preditiva em Equipamentos Industriais: Vibration Analysis as a Predictive Maintenance Tool in Industrial Equipment. **Revista Eletrônica da Estácio Recife**, v. 12, n. 1, p. 194-205, 2025.

VENÂNCIO, Arthur Moreira. **Desenvolvimento e aplicação de ferramenta de gerenciamento voltada à manutenção preventiva**. 2022. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Curso de gestão e engenharia da manutenção**. Editora Insigne Acadêmica, 2024.

IMPLEMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO

IMPLEMENTATION OF QUALITY TOOLS IN MAINTENANCE MANAGEMENT

Paulo Roberto Cutrim França
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

23

Pascal
Editora

RESUMO

O ambiente empresarial brasileiro tem passado por transformações políticas, econômicas e sociais que aumentaram a competitividade, intensificada pela globalização e pelas novas tecnologias. Nesse cenário, a gestão da manutenção torna-se estratégica, e a implementação de ferramentas de qualidade é essencial para otimizar processos, reduzir desperdícios e aumentar a produtividade. O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a importância da melhoria da gestão da manutenção nas empresas, destacando seu papel na eficiência operacional e no engajamento das equipes. Para tanto, foram analisadas a aplicação de ferramentas de qualidade na gestão da manutenção, considerando a integração das atividades operacionais, a coordenação da cadeia de suprimentos e o envolvimento dos colaboradores, com base em estudos e referências recentes sobre gestão, produtividade e qualidade. Os resultados indicaram que a utilização de metodologias de qualidade contribui para reduzir custos, otimizar processos, aumentar a satisfação do cliente e fortalecer a competitividade das organizações. O redesenho de procedimentos e a participação ativa dos funcionários são fatores para o sucesso da gestão da manutenção. Conclui-se que a gestão da manutenção, aliada às ferramentas de qualidade, promove a melhoria contínua dos processos, reforça a cultura da qualidade e permite que as empresas se mantenham competitivas no mercado, atendendo às demandas contemporâneas de desempenho e excelência.

Palavras-chave: Competitividade. Eficiência Operacional. Gestão da Manutenção. Qualidade.

ABSTRACT

The Brazilian business environment has undergone political, economic, and social transformations that have increased competitiveness, intensified by globalization and new technologies. In this context, maintenance management becomes strategic, and the implementation of quality tools is essential to optimize processes, reduce waste, and increase productivity. The general objective of this research was to evaluate the importance of improving maintenance management in companies, highlighting its role in operational efficiency and team engagement. To this end, the application of quality tools in maintenance management was analyzed, considering the integration of operational activities, supply chain coordination, and employee involvement, based on recent studies and references on management, productivity, and quality. The results indicated that the use of quality methodologies contributes to reducing costs, optimizing processes, increasing customer satisfaction, and strengthening organizational competitiveness. The redesign of procedures and the active participation of employees are key factors for the success of maintenance management. It is concluded that maintenance management, combined with quality tools, promotes continuous process improvement, reinforces a quality-oriented culture, and enables companies to remain competitive in the market by meeting contemporary performance and excellence demands

Keywords: Competitiveness. Operational Efficiency. Maintenance Management. Quality.

1 INTRODUÇÃO

O ambiente empresarial brasileiro vem passando por uma série de transformações políticas, econômicas, e sociais que, conjugadas, tem produzido um forte aumento da competição. Além disso, o processo de globalização e as novas tecnologias tem obrigado as empresas brasileiras a buscarem alternativas que lhes permitam conquistar vantagens competitivas sustentadas.

Este estudo destaca a relevância e a necessidade da implementação das ferramentas de qualidade na gestão da manutenção, avaliando como elas podem obter melhores resultados para o desenvolvimento da organização. As ferramentas de gestão de qualidade proporcionam um aumento de produtividade, por meio da otimização de processos e definição das responsabilidades de todos os elementos. Isso porque a produção se torna mais assertiva, com menos divergências, retrabalhos e desperdícios.

As atividades operacionais que envolvem gestão da manutenção necessitam ser sincronizadas a fim de se criar uma estratégia integrada, principalmente para romper os paradigmas, para coordenar a cadeia de suprimentos inteira, para satisfazer aos objetivos fundamentais do negócio e agregar valor para o cliente. Segundo Dias et al. (2015) os efeitos da qualidade são percebidos pelos clientes internos e externos e contribuem para melhorar a rentabilidade das organizações.

Albertin e Pontes (2016) constataram que compreender os procedimentos operacionais e os tempos de processamento, bem como redesenhá-los e implementá-los, não é uma tarefa trivial, portanto, o enfrentamento das sete perdas requer um planejamento adequado e tudo isso aponta a necessidade do envolvimento dos funcionários. Diante disso, surge a seguinte problemática: como a gestão da manutenção pode ser estruturada para atender às exigências de um mercado cada vez mais ágil, tecnológico e competitivo, promovendo ao mesmo tempo eficiência operacional e o engajamento das equipes?

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar a importância da melhoria da gestão da manutenção das empresas. Logo, os objetivos específicos visaram: Difundir as ferramentas da qualidade de modo que consigam ser implementadas em diversas organizações; contribuir com estudos futuros que possibilitem aplicar as metodologias da qualidade na gestão de manutenção nas empresas.

A presente pesquisa se justifica, portanto, pela necessidade de compreender como a gestão da manutenção pode contribuir de maneira estratégica para a melhoria contínua dos processos, reforçando a cultura da qualidade dentro das organizações e promovendo a competitividade no mercado. Ao integrar conceitos de qualidade, tecnologia e gestão de pessoas, este estudo ofereceu uma análise relevante para empresas que buscam alinhar seus processos de manutenção com as demandas contemporâneas de desempenho e excelência.

A presente pesquisa foi desenvolvida com base na revisão de literatura, com o objetivo de analisar e compreender como os programas de treinamento influenciam o desempenho dos colaboradores nas organizações. Para os critérios de inclusão, foram considerados estudos publicados nos últimos 10 anos (entre 2015 e 2025), escritos em português ou inglês, e que abordassem temas relacionados à implementação das ferramentas de qualidade na gestão da manutenção. Foram selecionados artigos científicos publicadas em revistas científicas revisadas por pares. Descartaram-se materiais cujo foco não abordassem os critérios de inclusão.

A busca dos estudos foi realizada em bases de dados acadêmicas e repositórios eletrônicos, como: Google Acadêmico, Scielo e Periódicos CAPES, devido à ampla disponibi-

lidade de materiais científicos relacionados ao tema. Para a pesquisa, utilizaram-se as seguintes palavras-chave (descritores): “Competitividade”; “Eficiência Operacional”; “Gestão da Manutenção” e “Qualidade”. A combinação dos termos, por meio de operadores booleanos como AND e OR, permitiu refinar a busca e selecionar as publicações mais relevantes para o estudo.

2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

A gestão da manutenção é uma área estratégica dentro das organizações industriais e de serviços, que tem ganhado crescente relevância nos últimos anos devido ao aumento da competitividade, à complexidade dos sistemas produtivos e à necessidade de garantir a continuidade operacional. O campo de estudo e prática envolve um conjunto de atividades voltadas à conservação, inspeção e recuperação de equipamentos, instalações e sistemas, buscando reduzir falhas, minimizar custos e otimizar a eficiência produtiva (Moura, 2021).

Ao adotar uma abordagem sistemática, a gestão da manutenção contribui para a sustentabilidade operacional e financeira das empresas, assegurando que os ativos físicos funcionem de maneira confiável e segura ao longo de seu ciclo de vida. Historicamente, a manutenção era entendida de forma reativa, caracterizada pela correção de falhas somente após sua ocorrência. O modelo, conhecido como manutenção corretiva, apresenta desvantagens, como altos custos de reparo, perda de produtividade e riscos de acidentes (Paladini, 2019).

Com o avanço tecnológico e a maior complexidade dos processos industriais, tornou-se evidente a necessidade de estratégias mais proativas. Assim, surgiram conceitos como manutenção preventiva, preditiva e baseada em confiabilidade, que buscam antecipar problemas, prolongar a vida útil dos equipamentos e reduzir interrupções inesperadas. A evolução da manutenção reflete a mudança de paradigma na gestão organizacional, na qual a manutenção deixa de ser vista como uma função meramente operacional e passa a ser considerada um elemento estratégico para a competitividade e sustentabilidade das empresas (Silva et al., 2021).

De acordo com Werkema (2021), a gestão da manutenção não se limita à execução de tarefas técnicas, mas abrange também aspectos administrativos, como planejamento, programação, controle de indicadores de desempenho e análise de custos. A aplicação de metodologias como TPM (Total Productive Maintenance), RCM (Reliability-Centered Maintenance) e Lean Maintenance evidencia a integração da manutenção com os objetivos estratégicos da organização, promovendo eficiência operacional, melhoria contínua e redução de desperdícios.

Além disso, Xavier (2018) apontou que o avanço das tecnologias digitais e da indústria 4.0 trouxe ferramentas inovadoras, como sensores, Internet das Coisas (IoT), sistemas de monitoramento remoto e análise de dados em tempo real, que permitem uma manutenção preditiva mais precisa e assertiva, antecipando falhas antes que se tornem críticas. Outro aspecto relevante da gestão da manutenção é sua relação direta com a segurança do trabalho e a preservação ambiental.

Segundo Yaday et al. (2022), equipamentos mal conservados podem representar riscos para os colaboradores e para o meio ambiente, devido a falhas mecânicas, vazamentos ou emissões de resíduos. Nesse sentido, a manutenção eficiente contribui para a criação de ambientes de trabalho mais seguros, para a redução de impactos ambientais e para a

conformidade com normas e regulamentações técnicas. Assim, investir em gestão da manutenção é investir em responsabilidade social e em sustentabilidade corporativa.

De acordo com Xavier (2018), a gestão da manutenção configura-se como um componente essencial da estratégia organizacional moderna, capaz de impactar diretamente a produtividade, a competitividade e a sustentabilidade das empresas. Com a utilização de práticas estruturadas, planejamento adequado e tecnologias avançadas, é possível reduzir custos, aumentar a confiabilidade dos ativos e promover a segurança operacional. A compreensão da importância da manutenção, aliada à aplicação de métodos modernos, permite que as organizações não apenas mantenham seus equipamentos funcionando de forma eficiente, mas fortaleçam sua capacidade de inovação e adaptação às demandas do mercado, consolidando-se em um cenário cada vez mais competitivo e dinâmico.

Segundo Werkema (2021), as ferramentas da qualidade são instrumentos utilizados para identificar, analisar e solucionar problemas nos processos produtivos e administrativos, com o objetivo de melhorar a eficiência, reduzir desperdícios e aumentar a satisfação do cliente. Elas surgiram como parte do movimento de Controle de Qualidade Total (TQC) e da filosofia de Melhoria Contínua, tendo grande influência de especialistas como Kaoru Ishikawa, que destacou a necessidade de métodos estruturados para resolver problemas de qualidade nas empresas.

Segundo Silva et al. (2021), estão entre as ferramentas da qualidade mais utilizadas para implementar melhorias da eficiência na gestão da manutenção a nível empresarial: Diagrama de Ishikawa, ou espinha de peixe, que permite identificar as causas raiz de problemas organizando-as em categorias, como métodos, máquinas, materiais, mão de obra e meio ambiente; Folhas de verificação, que auxiliam na coleta e organização de dados de forma sistemática, tornando mais fácil identificar padrões e falhas recorrentes; Histogramas, que representam a distribuição de dados mostrando a frequência de ocorrência de determinado problema ou característica e ajudando na análise estatística; Gráficos de Pareto, baseados no princípio 80/20, que destacam os problemas mais críticos que afetam o processo e permitem priorizar ações corretivas; Diagramas de dispersão, que analisam a relação entre duas variáveis ajudando a identificar correlações ou tendências que possam impactar a qualidade; e Cartas de controle, que monitoram a estabilidade de processos ao longo do tempo sinalizando variações que fogem do padrão aceitável.

Segundo Silva, (2022), a importância dessas ferramentas está diretamente ligada à capacidade de uma organização de tomar decisões baseadas em dados, reduzir erros e retrabalho, e promover a melhoria contínua dos processos.

As ferramentas da qualidade auxiliam na padronização das práticas, fortalecem a cultura da qualidade e aumentam a competitividade da empresa no mercado, pois garantem produtos e serviços mais confiáveis e eficientes. Além disso, a aplicação dessas ferramentas permite uma comunicação mais clara entre equipes, facilitando a identificação de problemas antes que se tornem críticos e promovendo proatividade em vez de reatividade (Carroll, 2016).

Assim, elas não apenas resolvem problemas, mas contribuem para a criação de processos mais robustos e sustentáveis e são essenciais para qualquer organização que busque excelência operacional, satisfação do cliente e inovação contínua, sendo sua utilização sistemática e estratégica fundamental para transformar dados em ações concretas e resultados mensuráveis (Oliveira, 2020).

A melhoria da gestão da manutenção, alicerçada em ferramentas de qualidade, constitui um elemento essencial para que as empresas brasileiras consigam enfrentar os desafios impostos por um mercado cada vez mais competitivo, globalizado e dinâmico. O

estudo evidenciou que a qualidade, quando aplicada de forma estratégica à manutenção, não apenas reduz custos e desperdícios, mas agrega valor ao produto e fortalece a satisfação do cliente, fator determinante para a sustentabilidade das organizações no longo prazo (Silva et al, 2021).

Além disso, constatou-se que a integração entre processos, tecnologias e gestão de pessoas é indispensável para garantir a eficiência operacional e o engajamento das equipes, aspectos que possibilitam a criação de uma cultura organizacional voltada à excelência. Segundo Silva e Casagrande (2022), a difusão das ferramentas da qualidade, portanto, revela-se como caminho viável para otimizar rotinas, melhorar a produtividade e assegurar que os objetivos empresariais estejam alinhados às necessidades do mercado e às expectativas dos clientes.

Atualmente, o conceito de Seis Sigma é amplamente utilizado para caracterizar processos de alta qualidade, com taxas de defeitos extremamente baixas, de apenas 3,4 unidades por milhão, conforme apontado por Antony (2022). Essa precisão reflete a maturidade da metodologia, que não apenas busca reduzir falhas em processos existentes, mas também direciona projetos de inovação por meio do método DMADV (definir, medir, analisar, projetar e verificar), destinado à criação de novos produtos ou processos. Ao ampliar o escopo da aplicação do Seis Sigma, o DMADV complementa o tradicional DMAIC, evidenciando a evolução da abordagem em direção à inovação estruturada. Esse desenvolvimento demonstra que a qualidade não é apenas um indicador final, mas um processo integrado ao design e à implementação de sistemas produtivos.

A flexibilidade do DMAIC é evidenciada por Bugor e Lucca Filho (2021), que analisaram publicações acadêmicas sobre a metodologia e identificaram sua aplicação em múltiplos segmentos industriais, incluindo produção de leite em pó, indústrias de conservas, alimentos congelados e bebidas não alcoólicas.

Bugor e Lucca Filho (2021), destacam que o DMAIC pode ser implementado de forma independente ou em combinação com outras ferramentas de gestão da qualidade, permitindo diagnósticos adaptados à realidade de cada setor. Essa constatação é relevante, pois mostra que a metodologia é versátil e não se limita a contextos específicos, podendo ser aplicada tanto em situações de complexidade operacional elevada quanto em processos relativamente simples. A flexibilidade de implementação reforça a capacidade do DMAIC de apoiar decisões estratégicas, otimizando recursos e melhorando a eficiência operacional.

Carroll (2016) complementou essa perspectiva ao abordar ferramentas de análise de causas de problemas, destacando os diagramas de causa e efeito, também conhecidos como espinha de peixe ou Ishikawa. A utilização desses diagramas permite à equipe de projeto coletar informações de forma estruturada, identificar todas as possíveis causas de um problema e apresentá-las visualmente, facilitando a compreensão coletiva. O autor acrescentou que a definição da estratégia depende do grau de entendimento do processo, da disponibilidade de informações e dos recursos humanos e financeiros disponíveis, mostrando que a eficácia das metodologias de melhoria não é universal, mas contextualizada.

Nesse sentido, PMI (2014) e Silva e Casagrande (2022) reforçam a importância da sistematização por meio dos 6 M 's: material, método, medida, meio ambiente, máquina e mão de obra, organizando as causas e orientando ações corretivas para eliminar variações. Essa abordagem evidencia a necessidade de análise estruturada e planejamento detalhado para que as intervenções gerem resultados consistentes e mensuráveis.

No setor alimentício, Chauhan et al. (2021) destacam que perdas e desperdícios estão

diretamente relacionadas à gestão inadequada de produtos perecíveis, ao comportamento dos stakeholders, a acordos comerciais desfavoráveis e à continuidade da cadeia de suprimentos.

Yaday et al. (2022) complementam essa análise, apresentando exemplos práticos de falhas logísticas, comprometimento intencional da qualidade da matéria-prima por fornecedores e ausência de rastreabilidade, reforçando a necessidade de controles rigorosos e de gestão integrada da cadeia de suprimentos. Essas evidências demonstram que a melhoria da eficiência operacional e da qualidade depende não apenas de processos internos, mas também de uma gestão coordenada de fornecedores e parceiros comerciais, destacando a importância de sistemas de rastreabilidade e monitoramento em tempo real.

A aplicação do DMAIC e do Seis Sigma ainda enfrenta desafios regionais, como observado por Costa (2019), que apontou que a maior parte das pesquisas sobre essas metodologias no setor alimentício provém da Europa e da Ásia, e que algumas equipes de gestão resistem à adoção devido às particularidades do setor. Esse cenário evidencia uma oportunidade para estudos locais e adaptações metodológicas, de modo a integrar as práticas de melhoria contínua às realidades específicas de diferentes contextos produtivos.

Moura (2021) reforçou a necessidade de processos produtivos eficientes ao analisar os relatórios financeiros das principais empresas do setor, constatando que a margem líquida das líderes não ultrapassou 5% no período analisado. O estudo evidencia que a competitividade elevada exige redução de perdas, otimização de recursos e garantia de disponibilidade dos produtos para entrega, consolidando a relevância da gestão de processos como fator determinante de sucesso financeiro.

Ferramentas de apoio à qualidade, como fluxogramas, também são destacadas por Juran e DeFeo (2015), que enfatizou a utilidade para mapear processos, identificar oportunidades de melhoria e servir como referência para a implementação de mudanças estruturadas. Os autores relacionaram ainda a qualidade ao diferencial competitivo das empresas, reforçando que organizações que entregam produtos e serviços superiores tendem a se destacar, enquanto a eficiência operacional torna-se essencial em setores de alta competitividade e margens reduzidas.

Paladini (2019) ampliou essa discussão ao demonstrar que ferramentas da qualidade permitem detalhar as causas de variabilidade e apoiar metodologias modernas, como Lean, Seis Sigma e Lean Six Sigma. O autor também destaca regras para a aplicação do brainstorming, enfatizando a importância de registrar e organizar todas as ideias, evitar críticas durante a coleta de sugestões e incentivar melhorias colaborativas. Xavier (2018) complementou a análise ao ressaltar que o brainstorming pode ser estruturado ou livre, permitindo explorar a criatividade coletiva e superar barreiras cognitivas, gerando inovação. Lobo (2020) corroborou ao enfatizar que o trabalho em grupo potencializa a geração de ideias em relação à atuação individual.

O rigor estatístico do Seis Sigma é definido por Montgomery e Runger (2021), que explicam que processos de alta qualidade possuem média de seis desvios-padrão dos limites de especificação. Evidências práticas da aplicação do DMAIC são apresentadas por Oliveira (2020) e Silva et al. (2021), que registraram reduções significativas de retrabalho e aumentos de eficiência operacional em indústrias de biscoitos e chocolates, comprovando os impactos positivos mensuráveis da metodologia. Werkema (2021) destaca ainda a relevância do gráfico de Pareto, que auxilia na priorização de problemas e identificação das causas mais críticas, direcionando esforços para áreas de maior impacto e otimizando recursos.

Por fim, Palange e Dhatrak (2021) reforçam que eliminar etapas que não agregam valor aumenta a produtividade, a lucratividade e a eficiência no uso de recursos. A abor-

dagem baseada em dados para reduzir variabilidade dos produtos, característica do Seis Sigma, evidencia a importância de decisões fundamentadas em informações concretas, permitindo que melhorias sejam sustentáveis e replicáveis.

Tabela 1. Resultados e discussões. Fonte: Autores citados na tabela. (2025).

Autor(es)	Resultados observados
Antony (2022)	Contudo, atualmente o termo é utilizado para processos com taxa de defeitos de apenas 3,4 unidades por milhão. Além disso, foi desenvolvido o método DMADV (Definir, Medir, Analisar, Projetar e Verificar), voltado a projetos que buscam criar produtos ou processos.
Bugor e Lucca Filho (2021)	Ao analisarem publicações acadêmicas sobre o uso do DMAIC, identificaram que sua aplicação é bastante ampla, contemplando múltiplos segmentos, como produção de leite em pó, indústria de conservas, alimentos congelados, bebidas não alcoólicas, entre outros. Para os autores, os estudos revisados demonstram que a metodologia pode ser empregue tanto de forma independente quanto combinada a outras ferramentas, evidenciando sua flexibilidade e permitindo a formulação de diagnósticos adequados para a resolução de problemas em contextos industriais distintos e de diferentes níveis de complexidade. Sobre a aplicação do DMAIC revelou que sua utilização é ampla, abrangendo diferentes setores, como fábricas de leite em pó, indústrias de conservas, alimentos congelados, bebidas não alcoólicas, entre outros. Os autores destacaram que, nos estudos revisados, o DMAIC pode ser implementado independente ou combinado a outras ferramentas, evidenciando sua flexibilidade e permitindo a construção de diagnósticos adaptados à realidade e à complexidade de cada indústria
Carroll (2016)	Ao enfrentar um problema, uma maneira eficaz de coletar informações da equipe, ampliar a análise para considerar todas as possíveis causas, verificar se a questão foi identificada e apresentar visualmente essas causas é por meio dos diagramas de causa e efeito, também chamados de diagramas de espinha de peixe ou diagramas de Ishikawa. Além disso, acrescentou que a definição da estratégia nesta etapa depende do grau de entendimento do processo, das características e disponibilidade das informações, bem como dos recursos humanos e financeiros disponíveis para implementar as ações.
Chauhan et al. (2021)	Conduziram uma revisão da literatura sobre estratégias para lidar com perdas e desperdícios de alimentos ao longo das cadeias produtivas, destacando como principais fatores a gestão inadequada de produtos perecíveis, o comportamento dos stakeholders, acordos comerciais e interrupções na cadeia de suprimentos. Realizaram ainda, uma revisão da literatura acerca das diferentes perspectivas relacionadas às perdas e ao desperdício de alimentos nas cadeias produtivas. Entre os fatores apontados estão a gestão inadequada de produtos perecíveis, o comportamento dos envolvidos no processo, acordos comerciais desfavoráveis e falhas na continuidade da cadeia.
Costa (2019)	Ressalta que a maior parte das pesquisas sobre DMAIC e Seis Sigma no setor alimentício teve origem principalmente na Europa e na Ásia, sendo que ainda há resistência por parte de algumas equipes de gestão devido às particularidades do setor. Isso evidencia uma oportunidade significativa para estudos adicionais sobre a aplicação dessas metodologias, visando à melhoria contínua dos processos e resultados.

Juran e DeFeo (2015)	De acordo com a ferramenta essencial para que uma equipe de projeto compreenda e avalie um processo é o fluxograma, também denominado mapa de processos. Com ele finalizado, a equipe passa a ter um ponto de referência para identificar oportunidades de melhoria. De acordo com empresas que se comprometem a fornecer produtos e serviços de alta qualidade tendem a se destacar frente à concorrência. Em setores com elevada competitividade e margens reduzidas, a eficiência operacional torna-se essencial para a sobrevivência da organização a longo prazo.
Lobo (2020)	A utilização do brainstorming baseia-se na ideia de que um grupo consegue gerar um volume maior de ideias do que indivíduos atuando isoladamente.
Montgomery e Runger (2021)	O conceito de Seis Sigma se refere a um processo cuja média se encontra, no mínimo, a seis desvios-padrão do limite de especificação mais restritivo. Além Disso, o conceito de Seis Sigma descreve um processo cuja média se encontra, no mínimo, a seis desvios-padrão dos limites de especificação mais próximos.
Moura (2021)	Examinou o panorama do setor a partir das informações financeiras apresentadas nos relatórios trimestrais das quatro principais companhias de alimentos, referentes ao período de 2017 até o primeiro semestre de 2021. Constatou-se que a margem líquida dessas empresas líderes não superou 5% ao longo da análise. O estudo reforça a ideia de que, para alcançar bons resultados nesse cenário, é indispensável manter processos produtivos eficientes, reduzir ao máximo as perdas e assegurar a disponibilidade dos produtos para entrega.
Oliveira (2020)	Implementou o DMAIC em uma fábrica de biscoitos recheados que apresentava elevado índice de reprocesso, alcançando uma diminuição de 60% no retrabalho, superando as metas estabelecidas.
Paladini, (2019)	De forma geral, todas as ferramentas da qualidade têm como propósito detalhar as fontes de variabilidade, transformando causas amplas em causas específicas, além de servir como suporte à adoção de estratégias modernas de produção, como a Produção Enxuta, o Seis Sigma e o modelo integrado Lean Six Sigma. Destacou que a técnica de grupo tem como finalidade produzir ideias para solucionar um problema específico apresentado por um facilitador em um curto espaço de tempo. Todas as contribuições possuem igual importância, independentemente de sua validade, alcance ou viabilidade. O autor define algumas regras fundamentais para a aplicação da técnica: Evitar qualquer tipo de crítica às ideias apresentadas; Registrar e organizar todas as sugestões; Não iniciar debates ou discussões durante a coleta de ideias; Tornar visíveis para todos os participantes as ideias propostas; Incentivar a melhoria das ideias existentes, evitando a sensação de propriedade exclusiva; Realizar a atividade em um ambiente adequado para o desenvolvimento da reunião.
Palange e Dhatrak (2021)	Destacaram que, ao identificar etapas que não agregam valor em uma linha de produção e aplicar esforços para reduzi-las ou eliminá-las, é possível aumentar tanto a produtividade quanto a lucratividade, gerando também economia nos recursos utilizados. Nesse contexto, a melhoria da qualidade em processos de manufatura pode ser obtida por meio de diferentes abordagens, como controle estatístico de processos, inspeção, política de zero defeitos, gestão total da qualidade, Seis Sigma, Kaizen, etc. De acordo com os autores, trata-se de uma abordagem voltada à melhoria da qualidade que, com base em dados concretos, busca reduzir a variabilidade dos produtos.

PMI, 2014; Silva e Casagrande, (2022)	Destacou que os 6 M 's são: material, método, medida, meio ambiente, máquina e mão de obra utilizados para organizar as causas. A ferramenta permite relacionar efeitos indesejáveis a causas específicas, que podem ser abordadas pelas equipes de projeto por meio de ações corretivas para eliminar as variações identificadas
Silva et al. (2021)	Ao implementar o DMAIC em uma indústria de chocolates, verificaram que ocorreram mais interrupções devido ao desalinhamento manual dos bombons. Após a execução das ações propostas pela equipe do projeto, a eficiência operacional apresentou um crescimento de 23 pontos percentuais.
Werkema (2021)	O gráfico de Pareto permite visualizar de forma clara quais problemas devem receber prioridade durante a execução de projetos. Além disso, a ferramenta auxilia na identificação das causas mais relevantes de determinado problema.
Xavier (2018)	Acrescenta que a técnica pode ser aplicada de duas maneiras: de forma estruturada, quando os participantes seguem uma sequência previamente definida, ou de modo não estruturado, permitindo que as ideias surjam livremente à medida que ocorrem. Além disso, o autor destaca que ao reunir pensamentos variados e em grande quantidade, é possível explorar ao máximo a capacidade cognitiva dos participantes e superar barreiras que limitam o raciocínio criativo, promovendo uma importante fonte de inovação.
Yaday et al. (2022)	Acrescentou exemplos práticos, incluindo falhas logísticas decorrentes de armazenamento e manuseio incorretos, alterações na qualidade da matéria-prima pelos fornecedores visando vantagem financeira e ausência de rastreabilidade.

A análise integrada dos estudos mostra que a aplicação de metodologias como DMAIC, Seis Sigma e ferramentas da qualidade é essencial para a redução de defeitos, otimização de processos, minimização de perdas, aumento da eficiência operacional e promoção da inovação.

3 CONCLUSÃO

Os resultados reforçam que a implementação bem-sucedida depende da compreensão detalhada dos processos, do engajamento da equipe, da utilização de ferramentas estruturadas e da adoção de uma abordagem baseada em dados. Além disso, fatores externos, como gestão da cadeia de suprimentos, controle de fornecedores e rastreabilidade, também exercem influência direta sobre a qualidade e o desempenho operacional, destacando a necessidade de uma gestão integrada e estratégica.

REFERÊNCIAS

ALBERTIN, A. L.; PONTES, J. F. de S. Gestão de processos de negócios: BPM – Business Process Management. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

BUGOR, F.; LUCCA FILHO, J. Utilização da Metodologia DMAIC para Promover Melhorias na Qualidade em Indústrias Alimentícias: uma revisão de literatura., p. 724- 733, 2021.

CARROLL, C. T. Six Sigma for Powerful Improvement. Boca Raton: Productivity Press, 2016.

CHAUHAN, C. D. A.; AKRAM, M. U.; SALO, J. Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach. Journal of Cleaner Production, 295, 2021.

COSTA, L. B. M. Lean & Six Sigma initiatives in the food industry, São Carlos, 2019.

DIAS, J. O. et al. Ferramentas da qualidade na melhoria do processo produtivo: um estudo no processo de pa-

nificação em uma rede de supermercados da cidade de campos dos goytacazes-rj, Xxxv Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 2015.

JURAN, J. M.; DEFEO., J. A. Fundamentos da Qualidade para Líderes. Porto Alegre: Bookman, 2015.

LOBO, R. N. Gestão da Qualidade. São Paulo: Saraiva, 2020.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. 7ª. ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2021.

MOURA, N. B. Análise fundamentalista do setor frigorífico das empresas listadas na B3, Dez 2021.

OLIVEIRA, L. R. S. Aplicação do DMIAC: um estudo de caso em uma indústria do setor alimentício do interior de Pernambuco. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção), Universidade Federal de Pernambuco, Caruacu, Caruacu, 2020.

PALADINI, E. P. Gestão da Qualidade - Teoria e Prática. 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

PALANGE, A.; DHATRAK, P. Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. Materials Today: Proceedings, 46, 2021. 729-736.

SILVA, I. M. CASAGRANDE, D. J. A utilização das ferramentas da qualidade Diagrama de Ishikawa e FMEA - Análise de modos e efeitos de falhas nas empresas. Interface Tecnológica, vol. 19, n. 2, 2022. 961-973.

SILVA, L. P. et al. Process efficiency improvement through DMAIC method: action research in a chocolate factory. Journal of Lean Systems, vol. 6, n. n° 3, 2021. 110-131.

WERKEMA, C. Ferramentas Estatísticas Básicas do Lean Seis Sigma Integradas ao PDCA e DMAIC. 1. ed. Rio de Janeiro: GEN | Grupo Editorial Nacional. Publicado pelo selo Editora Atlas., 2021.

XAVIER, C. M. S. Gerenciamento de projetos: como definir e controlar o escopo do projeto. São Paulo: Saraiva, 2018.

YADAY, V. S. et al. A systematic literature review of the agro-food supply chain: Challenges, network design, and performance measurement perspectives. Sustainable Production and Consumption, 29, Janeiro 2022. 685-704.

SOLDAGEM MIG/MAG: ESTUDO DAS TECNOLOGIAS MANUAL E AUTOMATIZADA NA INDÚSTRIA

MIG/MAG WELDING: A STUDY OF MANUAL AND AUTOMATED TECHNOLOGIES IN THE INDUSTRY

Woshington Ramos Ferreira
Ronaldo de Jesus Barros

24

Pascal
Editora

RESUMO

Este trabalho tem como foco a análise comparativa entre os processos de soldagem MIG/MAG manual e automatizado, destacando suas aplicações, vantagens, limitações e relevância para o setor industrial contemporâneo. O problema de pesquisa foi formulado a partir da questão: quais são as principais diferenças entre os processos de soldagem MIG/MAG manual e automatizado e como essas diferenças impactam suas aplicações industriais? O objetivo geral consistiu em estudar esses dois tipos de soldagem, descrevendo seus fundamentos e compreendendo os aspectos que os diferenciam em termos de eficiência, produtividade e flexibilidade. A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica qualitativa e descritiva, com base em produções técnicas e científicas publicadas nos últimos dez anos em bases reconhecidas, de modo a assegurar atualidade e rigor na seleção dos conteúdos. Os resultados apontam que a soldagem manual se destaca pela flexibilidade, menor custo inicial e capacidade de adaptação a diferentes condições, sendo amplamente empregada em reparos, manutenção e locais de difícil acesso. Já a soldagem automatizada evidencia maior padronização, qualidade e produtividade, embora demande maiores investimentos e planejamento detalhado. Conclui-se que a integração dos dois métodos pode representar a solução mais eficiente, equilibrando flexibilidade, desempenho e segurança no ambiente industrial.

Palavras-chave: Soldagem MIG/MAG. Processos de soldagem. Automação industrial. Eficiência produtiva

ABSTRACT

This study focuses on a comparative analysis between manual and automated MIG/MAG welding processes, highlighting their applications, advantages, limitations, and relevance to the contemporary industrial sector. The research problem was formulated based on the question: What are the main differences between manual and automated MIG/MAG welding processes, and how do these differences impact their industrial applications? The general objective was to examine these two types of welding, describing their fundamentals and understanding the aspects that differentiate them in terms of efficiency, productivity, and flexibility. The research was developed through a qualitative and descriptive literature review, based on technical and scientific publications from the last ten years in recognized databases, ensuring both relevance and rigor in content selection. The results show that manual welding stands out for its flexibility, lower initial cost, and adaptability to diverse conditions, being widely used in repairs, maintenance activities, and hard-to-reach locations. Automated welding, in contrast, offers greater standardization, quality, and productivity, although it requires higher investment and detailed planning. It is concluded that the integration of both methods can represent the most efficient solution, balancing flexibility, performance, and safety in industrial environments.

Keywords: MIG/MAG welding; Welding processes; Industrial automation; Productive efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A soldagem é um processo essencial em diversas áreas da indústria, sendo utilizada na fabricação e manutenção de estruturas metálicas. Entre os diversos métodos disponíveis, destaca-se a soldagem MIG/MAG (*Metal Inert Gas/Metal Active Gas)*, que se caracteriza pelo uso de um arco elétrico protegido por gás, permitindo a união eficiente de metais.

Este processo pode ser realizado de forma manual ou automatizada, e ambas as abordagens apresentam características próprias que impactam diretamente na produtividade, na qualidade e nos custos industriais. Com o avanço da tecnologia e a busca por maior eficiência nos processos produtivos, torna-se relevante estudar as diferenças entre essas modalidades de soldagem.

A justificativa para este estudo reside na crescente demanda da indústria por métodos de soldagem mais eficientes e adaptáveis aos diferentes contextos produtivos. Enquanto a soldagem manual continua sendo amplamente utilizada por sua flexibilidade e menor custo de implantação, a soldagem automatizada surge como alternativa para aumentar a padronização e reduzir falhas operacionais. Compreender as aplicações e limitações de cada abordagem é essencial para auxiliar na escolha do processo mais adequado a cada realidade industrial.

Diante desse cenário, o problema de pesquisa que orienta este estudo pode ser formulado de maneira objetiva da seguinte forma: quais são as principais diferenças entre os processos de soldagem MIG/MAG manual e automatizado e como essas diferenças impactam suas aplicações industriais?

O objetivo geral deste trabalho é estudar os dois tipos de soldagem MIG/MAG – manual e automatizada – utilizados na indústria. Para alcançar esse objetivo, foram definidos dois objetivos específicos: descrever os tipos de processo de soldagem MIG/MAG e compreender as principais diferenças entre os processos manual e automatizado.

A pesquisa foi realizada por meio de uma revisão bibliográfica qualitativa e descritiva, reunindo e analisando materiais acadêmicos e técnicos sobre soldagem MIG/MAG manual e automatizada publicados nos últimos dez anos. Foram incluídas obras em português e inglês que apresentassem conteúdo técnico consistente, enquanto resumos simples, trabalhos opinativos e materiais sem rigor científico foram excluídos. As buscas ocorreram em bases reconhecidas, como Google Acadêmico, SciELO e Portal CAPES, selecionadas por sua credibilidade. Utilizaram-se descritores específicos relacionados aos processos de soldagem, combinados com operadores booleanos para ampliar a precisão dos resultados e garantir a relevância das informações coletadas.

Este artigo consiste em uma pesquisa de caráter exploratório, fundamentada em revisão de literatura técnica e científica já existente. A proposta é sistematizar os conhecimentos disponíveis sobre o tema, destacando os aspectos mais relevantes de cada abordagem e contribuindo para uma análise crítica quanto à escolha e aplicação dos processos de soldagem.

Ao final, espera-se que os resultados desta investigação possam colaborar para o aprimoramento das práticas industriais e para a adoção de tecnologias mais adequadas a cada contexto produtivo. Assim, a análise comparativa entre os processos manual e automatizado de soldagem MIG/MAG permitirá evidenciar suas vantagens, limitações e condições ideais de uso, apoiando decisões mais conscientes e eficientes no setor industrial.

2 SOLDAGEM: PRINCÍPIOS, APLICAÇÕES E RELEVÂNCIA INDUSTRIAL

A soldagem é um processo fundamental na união de materiais, especialmente metais e polímeros. Segundo Pereira (2021), seu princípio básico consiste em aproximar as superfícies das peças a serem unidas até que seus átomos ou moléculas interajam por meio de ligações químicas, metálicas ou por forças intermoleculares, como as de Van der Waals. Essas ligações proporcionam uma conexão sólida e durável entre os materiais envolvidos.

De acordo com Pereira (2021), ao contrário de métodos como parafusagem, rebitagem ou colagem, a soldagem promove uma verdadeira fusão ou pressão entre os materiais, resultando em uma mistura localizada das superfícies. Esse processo pode ocorrer tanto pela ação do calor (soldagem por fusão) quanto pela aplicação de força (soldagem por pressão), dependendo da técnica empregada. Em ambos os casos, o objetivo é criar uma junta com propriedades mecânicas adequadas às exigências do projeto.

A aplicação da soldagem é ampla na indústria, sendo essencial na fabricação de estruturas metálicas, equipamentos e na recuperação de peças desgastadas. Como destaca Pereira (2021), além de unir materiais novos, a soldagem também permite o revestimento de superfícies, restaurando componentes e prolongando sua vida útil. Por isso, trata-se de um processo estratégico na manutenção e produção de sistemas mecânicos e estruturais.

2.1 Processo Soldagem Mig /Mag

O processo de soldagem por arco elétrico com gás de proteção, conhecido como GMAW, engloba as técnicas MIG (*Metal Inert Gás*) e MAG (*Metal Active Gás*). Nesse processo, um arco elétrico funde continuamente um arame consumível que é alimentado à poça de fusão, garantindo a união das peças com alta produtividade, conforme figura 1 (Souza, 2017).

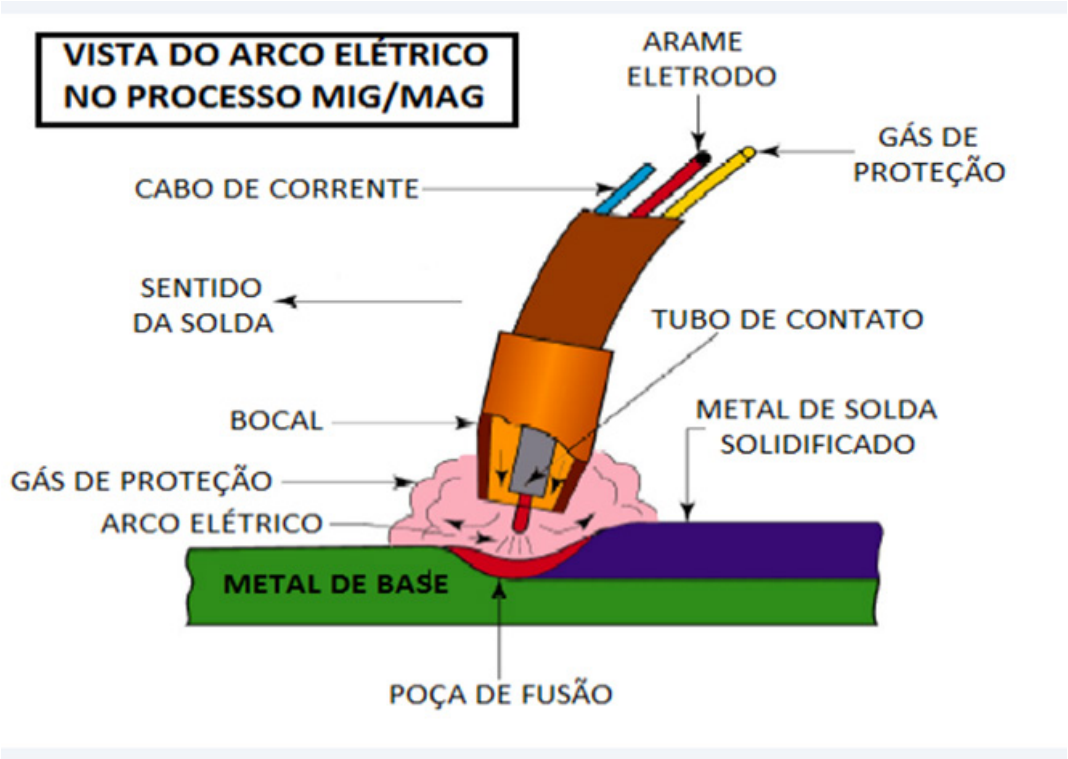


Figura 1. Representação da soldagem MIG/MAG

Fonte: Adaptado Santana (2023).

Na soldagem MIG/MAG, o gás de proteção pode ser classificado como inerte ou ativo. Os gases inertes, como o argônio e o hélio, não reagem com o metal fundido, proporcionando um ambiente estável. Já os gases ativos, como o CO_2 ou misturas contendo oxigênio, conferem maior penetração e estabilidade ao arco, influenciando as propriedades finais da solda (Fensterseifer; Haupt, 2024)

A correta seleção do gás de proteção, do arame consumível e dos parâmetros do processo é essencial para alcançar soldas de qualidade e maior eficiência. Além disso, o ajuste adequado desses elementos reduz desperdícios e aumenta a vida útil dos equipamentos. Segundo Lima (2017), o entendimento do comportamento dos gases e do arco elétrico é fundamental para otimizar a soldagem MIG/MAG em aplicações industriais.

De acordo Marques (2023), os especialistas, o processo de soldagem utilizam corrente contínua (CC), geralmente com o arame no pólo positivo, configuração essa conhecida como polaridade reversa. A polaridade direta é raramente utilizada, pois resulta em uma transferência ineficiente do metal fundido do arame para a peça a ser soldada.

Segundo Andrade (2016), as correntes de soldagem comumente variam de 50 A até mais de 600 A, com tensões entre 15 V e 32 V. Para garantir um arco elétrico estável e autocorrigido, é fundamental o uso de uma fonte de tensão constante associada a um alimentador de arame com velocidade constante.

Segundo Júnior et al. (2016), melhorias contínuas no processo MIG/MAG tornaram essa técnica aplicável à soldagem de praticamente todos os metais comercialmente importantes, como os aços, alumínio, aços inoxidáveis, cobre e diversos outros. Materiais com espessuras superiores a 0,76 mm podem ser soldados em praticamente todas as posições, o que amplia a versatilidade e a eficiência do processo em diferentes aplicações industriais.

Segundo Moura et al. (2025), o processo de soldagem MIG/MAG possui diversas vantagens que o tornam amplamente utilizado na indústria. Uma das principais é sua versatilidade, pois pode ser aplicado a todos os metais comerciais e suas ligas, diferentemente de outros processos que possuem limitações quanto ao tipo de material. A

Outra vantagem importante é a possibilidade de realizar a soldagem em todas as posições, algo que nem todos os processos oferecem. Isso amplia o leque de aplicações e facilita trabalhos em diferentes tipos de juntas e configurações. A continuidade da alimentação do eletrodo também possibilita a execução de longos cordões sem necessidade de interrupções, reduzindo o tempo de trabalho e a necessidade de limpeza posterior, já que o processo gera pouca escória (Santana, 2023).

Apesar dos benefícios, o processo MIG/MAG apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. O tamanho da tocha de soldagem dificulta o acesso a locais estreitos ou de difícil manuseio, o que pode limitar seu uso em algumas situações (Moura, 2025).

Outro ponto que limita o processo é a geração de altos níveis de radiação e calor, o que pode causar desconforto e exigir maior resistência física por parte do operador. A manutenção dos equipamentos também demanda atenção especial, pois componentes como reguladores, tochas, bocais e conduítes precisam ser regularmente verificados e ajustados para garantir a qualidade da solda (Júnior *et al.,* 2016).

Apesar de algumas dificuldades, o processo MIG/MAG é bastante indicado para produções em larga escala, especialmente por sua possibilidade de automação. A combinação de alta produtividade, versatilidade e acabamento de qualidade torna esse método ideal para indústrias que buscam eficiência e padronização nos seus processos de soldagem (Marques, 2023).

2.2 Soldagem Robotizada

Segundo Marques (2023), o processo de soldagem MIG/MAG robotizado mantém o mesmo princípio fundamental do processo manual, não havendo diferenças significativas em sua operação básica. Entretanto, a utilização de robôs na soldagem apresenta vantagens importantes que impactam diretamente na produtividade e qualidade do serviço.

De acordo com o autor, uma das principais vantagens da soldagem robotizada está na sua maior rentabilidade para a produção em série. Isso ocorre porque o robô pode ser programado para executar repetidamente a mesma tarefa, armazenando os programas de soldagem e garantindo a repetição de um padrão consistente no processo, o que não é tão facilmente alcançado na operação manual (Dellay, 2021).

Além disso, destaca a flexibilidade dos sistemas robotizados, que possuem múltiplos eixos de movimentação — geralmente entre seis e sete, especialmente quando acoplados a mesas de trabalho. Essa flexibilidade permite que o robô realize movimentos complexos e adaptáveis, aproximando-se da capacidade motora do operador humano e ampliando o alcance de aplicações possíveis.

Por fim, conforme o autor, a programação armazenada no robô assegura que a sequência de movimentos seja sempre a mais eficiente, pois é possível otimizar o percurso que o robô realizará durante a soldagem. Isso reduz o tempo total da operação e minimiza a ocorrência de erros comuns na soldagem manual, melhorando a qualidade do produto final e a segurança do processo.

A figura 2 apresenta uma estação de solda robotizada composta por seus principais componentes, que incluem o robô de solda, o controlador e a fonte de solda, a estação de limpeza, os posicionadores, o sistema de segurança com barreiras fotoelétricas, a área de giro da peça, a plataforma de referenciamento, a barrica de arame e as barreiras fotoelétricas, todos essenciais para garantir a eficiência, precisão e segurança do processo automatizado de soldagem.

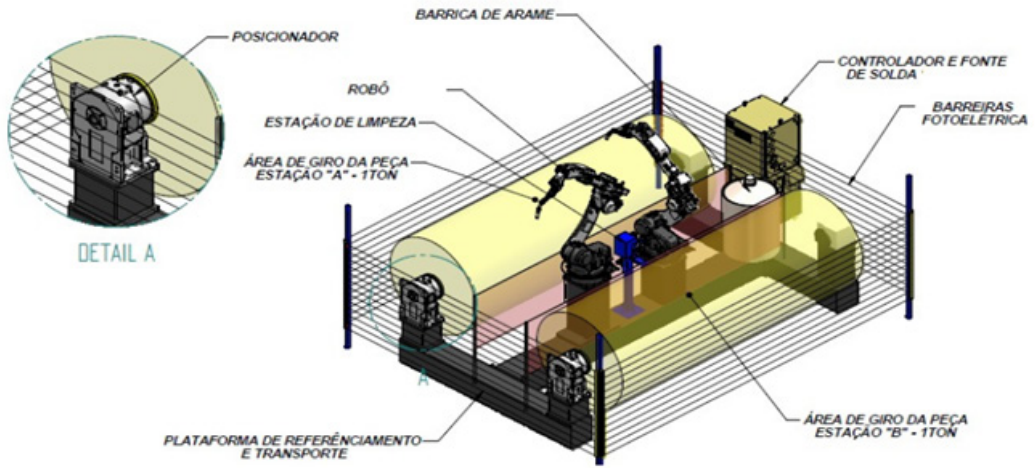


Figura 2. Disposição de uma célula robótica.

Fonte: Adaptado Santana (2023).

Na soldagem manual, algumas variações no processo não impactam tanto quanto na soldagem robotizada, especialmente no que diz respeito à precisão dos posicionamentos das chapas. Isso ocorre porque, nesse tipo de soldagem, o operador pode ajustar e compensar as diferenças diretamente, ao contrário do sistema robotizado que depende de um programa previamente configurado para executar movimentos precisos (Moura, 2025).

Entre as principais vantagens da soldagem manual está o acesso a áreas que os robôs não conseguem alcançar, tornando-a indispensável em situações com restrições físicas. Além disso, o operador humano possui maior liberdade de movimentação, já que os robôs estão limitados aos seus eixos mecânicos (Andrade, 2016).

Marques (2022), essa mobilidade facilita a adaptação do processo a diferentes condições, algo que pode ser um desafio para sistemas robotizados, que demandam maior repetibilidade e controle rigoroso dos parâmetros para garantir a qualidade do cordão de solda.

Outro aspecto positivo da soldagem manual é a capacidade de absorver variações como aberturas relativas entre as chapas que serão unidas. Enquanto os robôs exigem um ajuste prévio minucioso para manter a precisão, o soldador pode corrigir esses detalhes em tempo real, aumentando a tolerância do processo e diminuindo a necessidade de retrabalho. Isso torna a soldagem manual uma alternativa mais flexível em ambientes onde as condições não são ideais ou o volume de produção não justifica a automação completa (Moura, 2025).

As fontes de energia usadas na soldagem manual tendem a ser mais simples e, consequentemente, menos dispendiosas do que as utilizadas em sistemas robotizados. Contudo, o avanço tecnológico tem possibilitado a disponibilização de fontes modernas e sofisticadas também para o processo manual, muitas vezes com desempenho equivalente aos equipamentos das células robóticas (Santana, 2023).

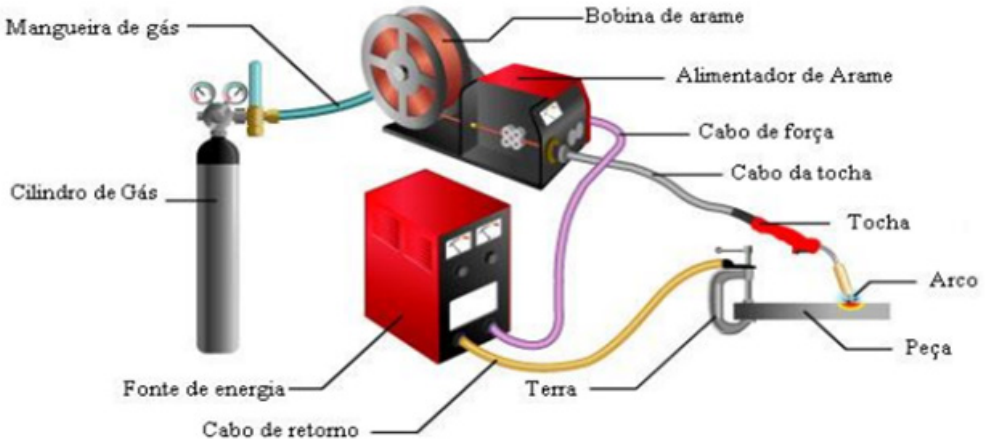


Figura 3. Soldagem arco elétrico

Fonte: Adaptado Santana (2023).

A soldagem ao arco elétrico manual (SMAW) é amplamente utilizada devido à sua flexibilidade e facilidade de operação em diferentes ambientes, especialmente em locais de difícil acesso. Contudo, essa técnica depende fortemente da habilidade do soldador, o que pode resultar em variações na qualidade da solda (Luciano *et al.,* 2021).

Além da padronização da qualidade, a soldagem automática oferece ganhos significativos em produtividade. Com equipamentos automatizados, é possível realizar soldagens contínuas e mais rápidas, reduzindo o tempo de fabricação e aumentando a capacidade produtiva das indústrias (Moura *et al.,* 2025).

No entanto, a implementação da soldagem automática requer um investimento inicial elevado em equipamentos, treinamento e manutenção, além de um planejamento detalhado do processo para adequação dos parâmetros de soldagem. Já a soldagem manual pode ser mais acessível e econômica para pequenos reparos ou produções de baixa escala, o que mantém sua relevância em muitos segmentos industriais (Moura *et al.,* 2025).

A integração entre os dois métodos pode ser vista em muitos ambientes produtivos, onde a soldagem manual complementa a automática. Em casos de juntas complexas ou trabalhos que exigem ajustes finos, a habilidade do soldador ainda é indispensável. Assim, a combinação dessas técnicas permite aproveitar o melhor de cada método, garantindo eficiência, qualidade e flexibilidade no processo de soldagem (Andrade, 2016).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar as relações existentes entre a soldagem ao arco elétrico manual e a soldagem automática, destacando suas vantagens, limitações e possíveis integrações no ambiente industrial. A partir da revisão teórica e da análise das características de cada método, foi possível cumprir o objetivo proposto, evidenciando que a automação busca afastar o soldador do contato direto com a solda, garantindo maior segurança, qualidade e produtividade.

A resposta ao problema de pesquisa indica que, embora a soldagem automática apresente benefícios significativos em termos de padronização e velocidade, a soldagem manual ainda mantém papel estratégico em situações que exigem flexibilidade, adaptação e habilidade técnica, especialmente em reparos, manutenção e soldagens em locais de difícil acesso. Dessa forma, a coexistência e integração dos dois métodos representam a solução mais eficiente para muitos setores.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se a ausência de experimentos práticos e comparações quantitativas entre produtividade e custo de cada processo em diferentes cenários industriais. Além disso, a análise não abrangeu de forma aprofundada as implicações econômicas e ambientais da adoção de sistemas automáticos, o que poderia ampliar a compreensão do impacto dessas tecnologias.

Como recomendação, propõe-se que trabalhos futuros realizem estudos de caso em ambientes industriais específicos, com medições precisas de produtividade, custos operacionais e qualidade das soldas. Também seria relevante investigar o impacto da automação sobre a capacitação e o perfil profissional dos soldadores, avaliando estratégias de treinamento que permitam uma transição eficiente para sistemas híbridos de soldagem.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, T. C. **Desenvolvimento e Análise de Técnicas de Soldagem de Reparos com Deposição em Dupla Camada de Aços Inoxidáveis AWS ER309L e AWS ER347 Aplicados sobre Aços Estruturais 2,25Cr--1Mo E 2,25Cr-1Mo-0,25V**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

DELLAY, Bruna Dal Castel. **Análise da viabilidade de um projeto de aquisição de uma célula de soldagem robotizada**. 2021.

FENSTERSEIFER, Ricardo Augusto; HAUPT, William. Análise da influência de metal de adição e gás de proteção em juntas soldadas de aço galvanizado. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 29, n. 2, p. e20240061, 2024.

JÚNIOR, Edésio Edmur Duarte Louzada et al. **Avaliação metalúrgica da soldagem de revestimento com aço inoxidável austenítico sobre aço ASTM A-36**. 2016.

LIMA, C. S. Otimização do Processo MIG/MAG em Indústrias Metalúrgicas. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 12, n. 3, p. 45-53, 2017.

LUCIANO, Erik Leonel et al. a Aplicação Dos Conceitos De Tempos, Movimentos E Métodos No Abastecimento De Uma Célula De Soldagem Robotizada De Uma Indústria Metal Mecânica. **South American Development Society Journal**, v. 7, n. 20, p. 140-140, 2021.

MARQUES, Felipe Wendrio da Silva. **Estudo do processo de soldagem MIG/MAG para aplicações de revestimentos em aços usando a liga AWS ERNiCrMo-3 na posição horizontal.** 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

MOURA, Edith et al. Influência da Composição do Fluxo no Desempenho de Suporte de Raiz por Fluxo em Soldagem MIG/MAG. **Soldagem & Inspeção**, v. 30, p. e3002, 2025.

PEREIRA, Vinícius Silva. A**nálise do processo de soldagem MIG/MAG manualmente e automatizada**. 2021.

SANTANA, Thiago Henrique Bezerra de. **Avaliação da soldagem TIG com arame e TIG orbital autógena na união tubo-espelho de titânio para trocador de calor**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

ENTUPIMENTO DE CHUTE E FORMAÇÃO DE ACÚMULO EM CORREIA TRANSPORTADORA

CRANKING AND BUILDUP IN CONVEYOR BELT.

Frederico Henrique dos Santos Luzia
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

25

Pascal
Editora

RESUMO

O transporte contínuo por correias transportadoras consolidou-se como um dos principais sistemas para movimentação de materiais a granel, sobretudo na mineração e na siderurgia, devido à sua alta eficiência e integração com processos industriais. Contudo, o entupimento de chutes e a formação do fenômeno conhecido como "camelo" representam desafios significativos à operação segura e contínua desses equipamentos, ocasionando perdas produtivas, sobrecarga e riscos de falhas mecânicas. Este estudo teve como objetivo investigar as causas, impactos e possíveis soluções relacionadas a esses fenômenos. A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão integrativa da literatura, de natureza qualitativa, baseada em artigos publicados entre 2015 e 2025 nas bases SciELO e Google Acadêmico. A análise evidenciou que os principais fatores associados ao entupimento de chutes incluem a inadequada geometria dos equipamentos, a variação das características dos materiais e a ausência de monitoramento automatizado. Verificou-se ainda que estratégias como a automação industrial, o uso de sensores inteligentes e planos de manutenção preventiva contribuem para reduzir falhas e otimizar a confiabilidade operacional. Conclui-se que a integração entre engenharia, automação e manutenção preventiva é essencial para a melhoria da eficiência e da segurança em sistemas transportadores industriais.

Palavras-chave: Correias transportadoras; Entupimento de chutes; Formação do camelo; Mineração; Automação industrial.

ABSTRACT

Continuous conveyor belt transport has become one of the main systems for handling bulk materials, especially in mining and steelmaking, due to its high efficiency and integration with industrial processes. However, chute clogging and the formation of the phenomenon known as "camel" represent significant challenges to the safe and continuous operation of this equipment, causing production losses, overload, and risks of mechanical failures. This study aimed to investigate the causes, impacts, and possible solutions related to these phenomena. The research was developed through an integrative literature review, of a qualitative nature, based on articles published between 2015 and 2025 in the SciELO and Google Scholar databases. The analysis showed that the main factors associated with chute clogging include inadequate equipment geometry, variation in material characteristics, and the absence of automated monitoring. It was also found that strategies such as industrial automation, the use of intelligent sensors, and preventive maintenance plans contribute to reducing failures and optimizing operational reliability. It is concluded that the integration between engineering, automation, and preventive maintenance is essential for improving efficiency and safety in industrial conveyor systems.

Keywords: Conveyor belts; Chute clogging; Camel formation; Mining; Industrial automation.

1 INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX, o transporte contínuo por correias transportadoras consolidou-se como uma das principais soluções industriais para a movimentação de grandes volumes de materiais a granel, especialmente nos setores de mineração, siderurgia e portuário. A crescente demanda por eficiência operacional, aliada à necessidade de redução de custos logísticos, impulsionou a adoção desse sistema em escala global. As correias transportadoras destacaram-se por sua capacidade de integrar diferentes etapas produtivas, proporcionando fluidez ao processo de transporte e contribuindo significativamente para o aumento da produtividade industrial.

No contexto brasileiro, o avanço da mineração e da indústria pesada nas últimas décadas intensificou o uso das correias transportadoras, tornando-as elementos estratégicos na cadeia produtiva. Entretanto, o funcionamento contínuo desses sistemas exigiu aprimoramentos técnicos e operacionais, uma vez que fatores como granulometria, abrasividade e umidade dos materiais influenciaram diretamente no desempenho das correias. Um dos principais desafios observados foi o entupimento de chutes, que provoca o acúmulo irregular de material e a consequente formação do fenômeno conhecido como "camelo", comprometendo a estabilidade operacional e a segurança do sistema.

A escolha desse tema justificou-se pela sua relevância técnica e econômica. O entupimento de chutes e a formação do camelo representam problemas recorrentes em plantas industriais, gerando paradas não programadas, desperdício de recursos, custos elevados de manutenção e riscos à integridade dos equipamentos e dos operadores. Além disso, compreender a dinâmica do escoamento de sólidos e propor soluções inovadoras tornou-se essencial para otimizar o desempenho das correias transportadoras, especialmente em setores de grande impacto econômico como a mineração brasileira. Investigar esses fenômenos contribuiu, portanto, para o aprimoramento das práticas de projeto, manutenção e automação industrial.

Diante desse cenário, surgiu a seguinte problemática de pesquisa: quais são as principais causas e consequências do entupimento de chutes e da formação do camelo em correias transportadoras, e de que forma estratégias modernas de monitoramento e manutenção poderiam mitigar esses problemas?

O objetivo geral desta pesquisa foi investigar o fenômeno do entupimento de chutes e a formação do camelo em sistemas de transporte contínuo por correias transportadoras, analisando suas causas, impactos e possíveis soluções aplicáveis ao contexto industrial brasileiro. Como objetivos específicos, buscou-se compreender os fundamentos do escoamento de sólidos e dos bloqueios em chutes, avaliar a origem e o comportamento dinâmico da formação do camelo, identificar critérios de projeto e práticas de manutenção capazes de minimizar ocorrências, e analisar o papel da automação e do monitoramento contínuo na prevenção dessas falhas operacionais.

Assim, o estudo contribuiu para integrar fundamentos teóricos e práticos sobre o escoamento granular e o comportamento de sistemas transportadores, oferecendo recomendações técnicas voltadas à eficiência, à confiabilidade e à segurança operacional das correias transportadoras em ambientes industriais complexos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Foi desenvolvida uma revisão da literatura de forma integrativa, com caráter qualitativo e abordagem teórica, tendo como foco o estudo de publicações científicas que abordaram o entupimento de chutes, a formação do camelo e os impactos desses fenômenos no desempenho de correias transportadoras utilizadas em processos industriais, especialmente no setor de mineração. A revisão integrativa permitiu reunir, analisar e sintetizar resultados de pesquisas anteriores, contribuindo para um panorama atualizado sobre o tema e possibilitando a identificação de causas, consequências e estratégias de mitigação.

Foram adotados critérios de inclusão que contemplaram artigos científicos publicados entre os anos de 2015 e 2025, redigidos no idioma português, que apresentavam relação direta com o tema proposto, especialmente aqueles voltados a transporte contínuo, escoamento de sólidos, dinâmica de chutes e manutenção de correias transportadoras. Como critérios de exclusão, desconsideraram-se trabalhos fora do recorte temporal definido, pesquisas que não abordavam diretamente o fenômeno do entupimento ou da formação do camelo e documentos indisponíveis na íntegra.

A coleta de dados foi realizada em bases de dados online, destacando-se a *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e o Google Acadêmico como principais fontes de consulta. As palavras-chave utilizadas para a busca dos materiais foram: Correias transportadoras; Entupimento de chutes; Escoamento de sólidos; Mineração; Formação do camelo.

A análise dos artigos selecionados foi conduzida de forma descritiva e interpretativa, buscando identificar convergências entre autores, principais causas dos bloqueios nos chutes, metodologias de prevenção e inovações tecnológicas aplicadas ao monitoramento e automação dos sistemas de transporte contínuo. Essa abordagem possibilitou compreender a evolução dos estudos sobre o tema e propor recomendações aplicáveis ao contexto industrial brasileiro.

2.2 Resultados e Discussão

O escoamento de sólidos a granel em chutes de transferência resulta da interação entre três elementos principais: as propriedades do material, a geometria do equipamento e as condições operacionais. Essa relação é determinante para definir a propensão a bloqueios e a estabilidade do carregamento sobre a correia transportadora. Trata-se de um fenômeno dinâmico, no qual pequenas alterações em qualquer variável podem provocar mudanças significativas no regime de fluxo (Calil Junior; Cheung, 2007).

Em termos de regime, dois comportamentos distintos podem ser observados. O fluxo em massa é considerado preferível, pois promove movimento uniforme do material, reduz zonas estagnadas e assegura maior previsibilidade no carregamento. Já o fluxo em funil concentra a descarga em regiões específicas, o que favorece a segregação granulométrica e aumenta a probabilidade de formação de arcos e *ratholes*, especialmente quando a energia disponível não supera a coesão interna do leito. Nesses casos, parâmetros como o ângulo de repouso e o ângulo de *surcharge* tornam-se indicadores práticos importantes para prever o comportamento do material em diferentes condições (Calil Junior; Cheung, 2007).

A escoabilidade dos minérios depende de variáveis intrínsecas às partículas. A granulometria e o teor de finos, por exemplo, exercem influência direta ao aumentar a área es-

pecífica de contato e a capilaridade, o que intensifica a coesão aparente. Da mesma forma, a forma e a rugosidade das partículas modulam tanto o atrito interno quanto o atrito com as paredes do chute, alterando o padrão de deslizamento e a estabilidade do escoamento. Essas características, quando combinadas com a densidade aparente, definem não apenas a pressão de confinamento no interior do chute, mas também a energia de impacto na correia transportadora (Silva *et al.*, 2023).

A umidade e a temperatura ambiente acrescentam outra camada de complexidade ao processo. A presença de umidade pode formar pontes líquidas entre partículas, elevando a adesão e deslocando o ângulo de repouso. Já variações térmicas influenciam diretamente o comportamento superficial dos minérios, estreitando a janela operacional para que o fluxo ocorra de forma estável. Isso significa que condições ambientais desfavoráveis podem transformar um chute em estado de escoamento regular em um ponto crítico sujeito a bloqueios e instabilidades (Silva *et al.*, 2023).

As instabilidades observadas durante a operação assumem diferentes formas. A segregação granulométrica cria camadas heterogêneas, que escoam em velocidades distintas. O fenômeno de *arching* ocorre quando partículas se organizam em uma estrutura estável que interrompe o fluxo na garganta do chute. Já os *ratholes*, ou canais preferenciais, reduzem o aproveitamento volumétrico e podem colapsar de forma repentina, liberando descargas intermitentes. Essas situações aumentam a imprevisibilidade e dificultam o controle operacional (Calil Junior; Cheung, 2007).

A escolha de revestimentos adequados é, portanto, uma estratégia essencial. Materiais como UHMW, borracha ou cerâmica podem alterar o coeficiente de atrito e o padrão de deslizamento, contribuindo para reduzir a nucleação de depósitos persistentes. Entretanto, essa eficiência depende da correta especificação do revestimento em função do tipo de material transportado e da energia de impacto predominante no chute (Silva; Gripp, 2006).

A dinâmica interna do chute é fortemente condicionada pela trajetória de descarga do material. A altura de queda, o ângulo e a velocidade de impacto determinam zonas de energia e regiões mortas suscetíveis ao acúmulo. Alterações bruscas de seção, transições mal dimensionadas ou raios de curvatura insuficientes criam gradientes de velocidade que intensificam o risco de bloqueios. Além disso, desgastes localizados e desalinhamentos introduzem perturbações adicionais, modificando o campo de tensões granulares e favorecendo obstruções transitórias que se propagam para o carregamento subsequente da correia (Calil Junior; Cheung, 2007).

Modelos e quantificações tornam-se ferramentas essenciais para prevenção. A definição operacional de coesão e a medição do ângulo de repouso orientam o dimensionamento de inclinações mínimas e de *clearances* na garganta dos chutes. Esses critérios de escoabilidade, consolidados na literatura nacional, permitem antecipar riscos de arco em passagens estreitas e apoiar intervenções geométricas ou operacionais. Quando aplicados corretamente, reduzem a necessidade de ações manuais e limitam a exposição de trabalhadores a ambientes confinados durante atividades de manutenção corretiva (Silva *et al.*, 2023; Silva; Gripp, 2006).

O fenômeno operacionalmente conhecido como camelo corresponde ao aumento temporário do perfil transversal do material acima do envelope nominal na zona de carga. Essa condição é observada em situações nas quais o escoamento deixa de ser estável e passa a apresentar irregularidades, especialmente após a remoção de entupimentos ou em alimentações intermitentes. Nessas circunstâncias, pulsos de vazão propagam-se como escoamento em golfadas, elevando a altura do leito e pressionando a vedação do

skirtboard, o que acarreta maior desgaste e risco de falhas de contenção. A gênese do camelo, portanto, está diretamente associada à dinâmica da transferência e ao comportamento do transportador, variando conforme a trajetória de descarga e a velocidade de impacto do material (Assumpção *et al.*, 2015; Gelais, 2016; Wanzeler *et al.*, 2023).

A cadeia de causa e efeito desse fenômeno tem início em um entupimento parcial no chute. Esse bloqueio modifica o padrão de descarga e gera picos de vazão, que culminam em acúmulos localizados sobre a correia. O excesso de material compromete a vedação do *skirt*, provocando extravasamentos e ampliando o esforço mecânico nos componentes de contenção. Partidas e paradas frequentes, trocas bruscas de *setpoint* dos alimentadores e variações no teor de umidade intensificam ainda mais a instabilidade. O resultado são ciclos repetidos de enchimento e esvaziamento que alteram a regularidade do perfil de carga e criam condições favoráveis ao surgimento do camelo (Gelais, 2016; Ferreira *et al.*, 2020; Assumpção *et al.*, 2015; Wanzeler *et al.*, 2023).

Essas perturbações não afetam apenas a correia em termos de carregamento, mas também repercutem sobre sua estabilidade estrutural. O acúmulo irregular pode induzir desalinhamentos progressivos, sobrecarga de roletes e aumento do atrito entre material e vedações, resultando em perdas adicionais de energia e elevação dos custos de manutenção. O transporte em regime instável ainda favorece derrames e forma áreas críticas de desgaste, reduzindo a vida útil dos componentes e comprometendo a confiabilidade operacional. Por isso, o camelo não deve ser visto apenas como um efeito passageiro, mas como indicador de desequilíbrio sistêmico que exige atenção do ponto de vista de projeto, operação e manutenção (Ferreira *et al.*, 2020; Assumpção *et al.*, 2015).

A regulagem inadequada do *skirtboard* e o desalinhamento ou deflexão dos roletes alteram o canal de escoamento, criando zonas de enchimento irregular. Outros elementos, como o *sag* excessivo da correia e a presença de *carryback*, modificam a topografia do leito e favorecem o surgimento de ondas de material que migram ao longo do sistema (Ferreira *et al.*, 2020; Assumpção *et al.*, 2015; Wanzeler *et al.*, 2023; Gelais, 2016).

A persistência do camelo compromete a eficiência e a disponibilidade do sistema transportador. Por isso, sua caracterização deve ser objetiva, utilizando indicadores capazes de traduzir sua magnitude e recorrência. Entre os parâmetros utilizados destacam-se a medição da altura ou da área excedente do perfil na zona de carga, a frequência e a duração dos eventos, o volume de derrame, os efeitos sobre desalinhamentos e o desgaste prematuro de roletes e vedações. O monitoramento inclui ainda o consumo específico de energia, uma vez que o aumento da resistência ao movimento da correia reflete diretamente em maior demanda de potência (Ferreira *et al.*, 2020; Gelais, 2016).

O projeto de chutes deve priorizar a transferência estável e previsível do material para a correia transportadora. Essa etapa influencia de forma direta a confiabilidade do sistema, pois falhas nesse processo geram gargalos, descargas pulsantes e oscilações que comprometem o desempenho. Além disso, instabilidades aumentam o desgaste de componentes, elevam custos de manutenção e reduzem a segurança operacional (Santos; Malagoni, 2014; Gelais, 2016).

Quando adequadamente projetados, os chutes asseguram fluxo contínuo e diminuem a necessidade de intervenções emergenciais, aumentando a disponibilidade global. A geometria é um dos aspectos mais críticos nesse processo. Modelos como *hood and spoon* ou *rock box* são escolhidos com base na energia de impacto e na abrasividade do minério, permitindo controlar a dissipação de energia e orientar o escoamento com previsibilidade. Para isso, tornam-se essenciais ângulos mínimos corretos, raios de curvatura compatíveis e transições suaves, que reduzem zonas de estrangulamento e favorecem a estabilidade

do fluxo (Santos; Malagoni, 2014; Gelais, 2016).

A manutenção deve ser prevista desde a concepção do chute. Portas de inspeção bem-posicionadas e sistemas de limpeza integrados reduzem o tempo de parada e aumentam a segurança. Essas medidas facilitam o acesso às áreas críticas e diminuem a necessidade de trabalhos manuais em locais confinados, ampliando a confiabilidade da operação e evitando riscos adicionais (Santos; Malagoni, 2014; Gelais, 2016).

A escolha dos materiais de revestimento também condiciona a durabilidade e o desempenho do chute. *Liners* de UHMW, borracha ou cerâmica são selecionados conforme coeficiente de atrito e resistência ao impacto, reduzindo a formação de depósitos persistentes e minimizando erosões localizadas. Sistemas de supressão de poeira completam esse conjunto, preservando a integridade dos componentes, a saúde ocupacional e a visibilidade no ambiente de trabalho (Santos; Malagoni, 2014; Gelais, 2016).

As variações de granulometria, umidade e *setpoints* de operação tornam indispensável o uso de auxílios de fluxo. Vibradores, martelos pneumáticos e canhões de ar são recursos aplicados para romper arcos e *ratholes* que interrompem a descarga. Além disso, práticas operacionais desempenham papel relevante. Lógicas de partida com rampas de aceleração graduais, sincronismo entre alimentador e correia e rotinas de *housekeeping* periódico reduzem acúmulos residuais e limitam oscilações, mitigando a formação do camelo em operação contínua (Gelais, 2016; Santos; Malagoni, 2014).

Tecnologias avançadas ampliam ainda mais a confiabilidade dos transportadores. O processamento digital de imagens já vem sendo aplicado para detectar falhas de contenção e anomalias em rolos, oferecendo diagnósticos rápidos e precisos. Essas soluções diminuem o tempo de parada para manutenção, melhoram a qualidade das informações coletadas e fortalecem a disponibilidade do sistema (De Carvalho Júnior, 2018; Garcia *et al.*, 2019).

A avaliação de desempenho deve integrar métodos analíticos, simulações computacionais e indicadores obtidos em campo. Entre os principais indicadores estão a taxa de entupimento, a altura e a frequência do camelo, o volume de derrame, o tempo de limpeza e a disponibilidade do sistema. Esses parâmetros permitem avaliar com objetividade os resultados obtidos e guiar decisões operacionais e de projeto (Gelais, 2016; Santos; Malagoni, 2014).

A confiabilidade de sistemas transportadores contínuos, em especial de correias transportadoras utilizadas na mineração, depende de estratégias capazes de integrar manutenção planejada, automação de inspeções e monitoramento sistemático das condições operacionais. Nesse contexto, a adoção de planos preventivos bem estruturados e o uso de tecnologias digitais emergem como elementos fundamentais para reduzir falhas recorrentes, prevenir interrupções não programadas e, consequentemente, mitigar os efeitos do entupimento de chutes e da formação do chamado camelo. (Silva, 2022).

A manutenção preventiva organizada em cronogramas regulares representa uma das abordagens mais eficazes para antecipar falhas e reduzir a variabilidade do processo. Estudos recentes demonstram que planos preventivos de longo prazo, como o de 52 semanas, oferecem base sólida para identificar pontos críticos, definir periodicidade de inspeções e alinhar recursos às demandas de operação. Essa metodologia permite estabelecer rotinas claras de verificação de componentes, prevenindo desgastes excessivos e interrupções inesperadas. (Silva, 2022).

Complementarmente, a aplicação de tecnologias de monitoramento baseadas em processamento de imagens tem ganhado destaque como recurso inovador para identifi-

car falhas ainda em estágios iniciais. O desalinhamento da correia, quando não identificado precocemente, gera tensões adicionais, desgaste prematuro e aumento da probabilidade de derrames e obstruções nos chutes. Essa abordagem não apenas amplia a confiabilidade, mas também reforça a segurança ao minimizar a exposição de trabalhadores a áreas de risco durante verificações rotineiras. Além disso, sistemas automatizados de análise de imagens fornecem dados contínuos, permitindo a criação de históricos que auxiliam na predição de falhas e na tomada de decisão mais assertiva (Pralon, 2024).

Outro eixo relevante no aumento da confiabilidade operacional é a incorporação de práticas de melhoria contínua voltadas à gestão da manutenção. O uso da filosofia Kaizen em processos de troca de correias transportadoras, por exemplo, mostrou ganhos significativos na redução de tempos de parada e na eficiência das equipes de manutenção. A aplicação prática em mineradoras brasileiras demonstrou que, além de reduzir custos, o Kaizen contribui para elevar a produtividade e a segurança, ao transformar rotinas de substituição de componentes críticos em processos mais controlados e previsíveis. Dessa forma, a filosofia de melhoria contínua complementa o planejamento preventivo e o monitoramento digital, compondo um ciclo integrado de confiabilidade (Assis, 2023).

A automação das inspeções representa também um passo estratégico no avanço da confiabilidade dos sistemas de transporte de correia. Com o uso de dispositivos eletrônicos e sistemas de monitoramento remoto, é possível realizar inspeções em tempo real, registrando informações sobre desgaste, temperatura, vibração e alinhamento de componentes. A integração entre sensores, softwares de análise e protocolos de manutenção possibilita não apenas identificar problemas, mas também programar intervenções com base em dados objetivos e verificáveis, o que contribui diretamente para a estabilidade operacional e para a mitigação de eventos como entupimentos e camelos (Oliveira, 2019).

Em síntese, a articulação entre manutenção preventiva, automação de inspeções e práticas de melhoria contínua fortalece a confiabilidade dos sistemas transportadores. Ao integrar práticas tradicionais e tecnologias emergentes, a mineração brasileira pode avançar na consolidação de rotinas de alta confiabilidade, assegurando maior disponibilidade, redução de custos e mitigação dos efeitos adversos associados ao entupimento de chutes e à formação do camelo (Silva, 2022; Pralon, 2024; Assis, 2023; Oliveira, 2019).

3 CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu compreender que o transporte contínuo por correias transportadoras representou um dos sistemas mais eficientes e estratégicos para a movimentação de materiais a granel em setores industriais, especialmente na mineração brasileira. No entanto, verificou-se que o entupimento de chutes e a consequente formação do camelo configuraram-se como desafios recorrentes, impactando diretamente a produtividade, a confiabilidade operacional e a segurança dos trabalhadores.

A partir da revisão integrativa da literatura, constatou-se que as principais causas desses fenômenos estiveram associadas à caracterização inadequada dos materiais transportados, à geometria incorreta dos chutes de descarga e à ausência de monitoramento contínuo dos parâmetros operacionais. Tais fatores contribuíram para oscilações na vazão, acúmulo de material na correia e sobrecarga temporária do sistema. Além disso, a análise dos estudos evidenciou que intervenções corretivas, em vez de preventivas, resultaram em custos mais elevados e em maior tempo de parada das correias transportadoras.

Os resultados da pesquisa indicaram que a aplicação de estratégias modernas de ma-

nutenção e automação industrial, como o uso de sensores inteligentes, processamento digital de imagens e sistemas de monitoramento remoto, apresentou grande potencial para mitigar falhas e prevenir bloqueios. Práticas como o planejamento de manutenção preventiva, a inspeção automatizada de componentes e a análise dinâmica do escoamento de sólidos mostraram-se eficazes para aumentar a disponibilidade e a vida útil dos equipamentos.

Concluiu-se, portanto, que compreender o comportamento do escoamento granular e os mecanismos que levam ao entupimento de chutes é essencial para aprimorar o desempenho global dos transportadores de correia. A integração entre engenharia de projeto, manutenção e automação demonstrou ser o caminho mais promissor para reduzir custos operacionais, aumentar a confiabilidade dos sistemas e garantir maior sustentabilidade às operações industriais.

REFERÊNCIAS

AMBROSIO, Joao Pedro. **Técnicas de inspeção em correias transportadoras por manutenção de integridade estrutural: o caso de uma indústria de mineração**. 2022. 74 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Petro, 2022.

ASSIS, João Victor Fernandes. **Estudo da aplicação da ferramenta kaizen no processo da troca da correia transportadora de uma mineradora**. 2023. 54 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Petro, 2023.

ASSUMPÇÃO, Marcos E. *et al*. Aplicação do método dos elementos discretos na avaliação de chutes de escoamento de minérios de ferro itabiríticos. **Holos**, v. 7, p. 34-42, 2015.

CALIL JUNIOR, Carlito; CHEUNG, Andrés Batista. Silos: pressões, fluxo, recomendações para o projeto e exemplos de cálculo. [S.l.]: [s.n.], 2007.

CARMO, Daniel Campos Gonçalves do. **Desafios na construção de transportadores de correias para uma mineração de grande porte no norte do Brasil, durante a pandemia de Covid-19**. 2023. 70 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Petro, 2023.

CARVALHO JÚNIOR, José Regivaldo de. Processamento digital de imagens para a identificação automática de falhas em rolos dos transportadores de correias. 2018. 109 f. Dissertação (Mestrado em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração) – Universidade Federal de Ouro Preto, Instituto Tecnológico Vale, Escola de Minas, Ouro preto, 2018.

FERREIRA, Thelri Aguiar. **Estratégia de manutenção para chutes de transferência de uma usina de classificação de bauxita**. 2020. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2020.

GARCIA, Gabriel Carvalho *et al*. Modelagem e controle de um dispositivo robótico para inspeção de rolos de transportadores de correias. *In*: Congresso Brasileiro de Automática (CBA). [S.l.: s.n.], 2019.

GELAIS, Marcelo Alves. **Cálculo dinâmico de transportadores de correia: uma análise comparativa ao cálculo estático corroborada por medições de campo**. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

MESQUITA, Hugo *et al*. Aplicação do método dos elementos discretos para modelagem e simulação do escoamento de minério de manganês. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 10, n. 2, p. 41–50, 2018.

OLIVEIRA, Regina Tatiana de. **Automação em inspeções de correias transportadoras aplicadas à mineração**. 2019. 47 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Petro, 2019.

PRALON, Kamila Maria Vieira. **Medição do desalinhamento em correias transportadoras utilizando processamento de imagem**. 2024. 51 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal do Espírito Santo, Serra, 2024.

SANTOS, D. A.; MALAGONI, R. A. **Projeto de correias transportadoras: um estudo computacional de com-**

paração dos métodos CEMA e Prático. Holos, v. 3, p. 358–369, 2014.

SILVA, Gabriel Masete da. **Análise dos métodos Prático e CEMA para correias transportadoras e escolha do seu conjunto de acionamento sob a luz da eficiência energética**. 2020. 56 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

SILVA, Gabrihel Braga Ferreira. **Proposta do plano preventivo de 52 semanas de manutenção mecânica para correia transportadora**. 2022. 53 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Petro, 2022.

SILVA, José Margarida da; GRIPP, Maria de Fátima Andrade. Fluxo de material fragmentado em passagem de minério nas minas subterrâneas: a prática corrente. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 59, p. 307-310, 2006.

SILVA, Joseph Oliveira. **Fluxo e pressões de minério de ferro em tremonhas piramidais industriais**. 2023. 165 f. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

WANZELER, Hermeson Conceição. Estudo de similaridade em um chute de pelotas. 2023. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2023.

Estudos em Engenharia e Inovação – Volume 12 reúne pesquisas acadêmicas que abordam desafios e avanços contemporâneos nas diferentes áreas da engenharia. A obra apresenta estudos sobre gestão de projetos, tecnologias aplicadas à construção civil, sustentabilidade, energias renováveis, manutenção industrial e inovação tecnológica. Os capítulos refletem investigações desenvolvidas no ambiente universitário, evidenciando a integração entre teoria e prática. O livro contribui para a difusão do conhecimento técnico-científico e para o fortalecimento da formação de novos profissionais da engenharia.

ISBN nº 978-65-6068-224-5

9 786560 682245

Pascal
Editora