



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
CURSO BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM TECNOLOGIA DA
INFORMAÇÃO

FERNANDA ROCHA FERNANDES

**REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE O USO DA INTELIGÊNCIA
ARTIFICIAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Pau dos Ferros

2026

FERNANDA ROCHA FERNANDES

**REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE O USO DA INTELIGÊNCIA
ARTIFICIAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharela interdisciplinar em Tecnologia da Informação.

Orientador: Náthalee Cavalcanti de Almeida Lima, Profa. Dra.

Pau dos Ferros

2026

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F363r Fernandes, Fernanda Rocha.
 Revisão sistematica da literatura sobre o uso
de inteligência artificial na construção civil /
Fernanda Rocha Fernandes. - 2026.
 37 f. : il.

 Orientador: Náthalee Cavalcanti de Almeida
Lima.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de --Selecione um
Curso ou Programa--, 2026.

 1. Inteligência artificial. 2. Construção
civil. 3. Engenharia civil. 4. Aprendizado de
máquina. I. Lima, Náthalee Cavalcanti de Almeida,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

 Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Fernanda Rocha Fernandes

**REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE O USO DA INTELIGÊNCIA
ARTIFICIAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharela interdisciplinar em Tecnologia da Informação.

Defendida em: 19/06/2026.

BANCA EXAMINADORA

Náthalee Cavalcanti de Almeida Lima , Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Adla Kellen Dionisio Sousa, Prof. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Gabriel Caldas Barros e Sá, Me.
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, especialmente à minha mãe, Maria de Jesus, ao meu pai, José Ivanildo, e à minha tia Isabel, por todo o apoio que me ofereceram ao longo da minha vida até este momento.

Agradeço a Armando Eduardo por toda a ajuda, apoio e carinho durante minha vida acadêmica, além de ter sido um pilar fundamental para que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço também aos meus amigos, por todo o carinho e incentivo durante esta fase. Em especial, à minha amiga Aêsha, que esteve ao meu lado nos últimos dez anos, sempre me apoiando e me motivando a continuar.

Agradeço à minha orientadora, Náthalee Cavalcanti, que acreditou no meu potencial e me abriu muitas portas, proporcionando diversas oportunidades dentro da universidade. Serei eternamente grata por tudo o que fez por mim.

Por fim, agradeço aos membros da banca por terem aceitado participar deste momento tão importante da minha trajetória acadêmica.

RESUMO

A construção civil representa cerca de 13% do PIB mundial e desempenha papel central no desenvolvimento econômico e social. Apesar de sua relevância, o setor enfrenta desafios persistentes como baixa produtividade, atrasos, aumento de custos, desperdício de materiais e impactos ambientais. A Inteligência artificial (IA) surge como uma ferramenta promissora para mitigar essas questões, oferecendo agentes inteligentes capazes de analisar dados complexos, prever riscos e otimizar processos. o objetivo deste estudo é, por meio de uma Revisão sistemática da literatura (RSL) baseada na metodologia de Kitchenham, investigar o uso da IA na construção civil entre 2020 e 2025. A revisão inclui estudos indexados nas bases Scopus, Web of Science e Compendex, seguindo critérios rigorosos de inclusão e exclusão e de qualidade. Os resultados revelam crescimento significativo das publicações na área, com destaque para China, Índia, Arábia Saudita e Estados Unidos na liderança da produção científica. Entre as técnicas mais aplicadas estão *Random Forest*, *Artificial neural network* (ANN), *K-nearest neighbor* (KNN) e *Support Vector Machine* (SVM), voltadas principalmente para previsão de propriedades de materiais, otimização de projetos e melhoria da eficiência energética. As principais limitações relatadas referem-se à disponibilidade, qualidade e representatividade dos dados, além de irregularidades que comprometem a precisão dos modelos. Esses achados reforçam o potencial da IA como ferramenta estratégica para enfrentar desafios históricos da construção civil.

Palavras-chave: inteligência artificial; construção civil; engenharia civil; aprendizado de máquina.

ABSTRACT

The construction industry accounts for approximately 13% of the global Gross Domestic Product (GDP) and plays a central role in economic and social development. Despite its importance, the sector continues to face persistent challenges such as low productivity, project delays, cost overruns, material waste, and environmental impacts. Artificial Intelligence (AI) has emerged as a promising tool to address these issues by providing intelligent systems capable of analyzing complex data, predicting risks, and optimizing processes. The objective of this study is to investigate the application of AI in the construction industry between 2020 and 2025 through a Systematic Literature Review (SLR) based on Kitchenham's methodology. The review includes studies indexed in the Scopus, Web of Science, and Compendex databases, following rigorous inclusion, exclusion, and quality assessment criteria. The results reveal a significant growth in scientific publications in this field, with China, India, Saudi Arabia, and the United States leading research output. Among the most widely applied techniques are Random Forest, Artificial Neural Networks (ANN), K-Nearest Neighbor (KNN), and Support Vector Machine (SVM), which are primarily used for predicting material properties, optimizing project design, and improving energy efficiency. The main limitations reported in the literature are related to data availability, quality, and representativeness, as well as inconsistencies that may compromise model accuracy. These findings highlight the potential of AI as a strategic tool for addressing long-standing challenges in the construction industry.

Keywords: artificial intelligence; civil construction; civil engineering; machine learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da revisão.....	18
Figura 2 – Gráfico funil.....	23
Figura 3 – Publicações por ano.....	24
Figura 4 – Artigos por país.....	25
Figura 5 – Artigos por base de dados.....	26
Figura 6 – Frequência dos principais termos encontrados nos artigos selecionados para a revisão.....	27
Figura 7 – Banco de Dados.....	28
Figura 8 – Aplicação na área.....	29
Figura 9 – Entrada de dados.....	30
Figura 10 – técnicas mais utilizadas.....	31
Figura 11 – limitações encontradas.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de inclusão e exclusão.....	19
Quadro 2 – Buscas nas bases de dados.....	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	12
2.1 Planejamento.....	12
2.1.1 Necessidade da Revisão.....	12
2.1.2 Protocolo da RSL.....	12
2.2 Condução da revisão.....	13
2.2.1 Identificação da pesquisa.....	13
2.2.2 Seleção dos estudos.....	13
2.2.3 Avaliação da qualidade do estudo.....	14
2.2.4 Extração de dados e Monitoramento de progresso.....	14
2.2.5 Síntese dos dados.....	15
2.3 Relatos dos Resultados.....	15
3 METODOLOGIA.....	17
3.1 Planejamento.....	17
3.1.1 Identificação da necessidade.....	17
3.1.2 Questões de pesquisa.....	18
3.1.3 Critérios de inclusão e exclusão.....	18
3.1.4 Critérios de qualidade.....	19
3.1.5 Desenvolvimento de um protocolo de revisão.....	19
3.2 Condução da revisão sistemática.....	20
3.2.1 Identificação de estudos primários.....	20
3.2.2 Seleção dos estudos.....	21
3.2.3 Qualidade dos estudos primários.....	21
3.2.4 Extração dos dados e Síntese dos estudos primários.....	22
4 RELATO.....	23
4.1 Informações Gerais.....	23
4.2 Como a IA pode ser aplicada na construção civil?.....	27
4.3 Quais características ou funcionalidades da IA são utilizadas no contexto estudado?.....	28
4.4 Quais técnicas de IA são mais frequentemente empregadas?.....	29
4.5 Quais limitações ou desafios têm sido apontados nos estudos?.....	31
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha um papel central na economia global, sendo responsável por movimentar aproximadamente 10 trilhões de dólares por ano, o que corresponde a cerca de 13% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial (McKinsey Global Institute, 2017). Além de gerar milhões de empregos, o setor contribui diretamente para o desenvolvimento de infraestrutura essencial, como habitações, sistemas de transporte e instalações industriais e comerciais. Apesar de sua relevância econômica e social, a construção civil ainda enfrenta desafios significativos, incluindo baixa produtividade, atrasos em cronogramas, aumento de custos, desperdício de materiais e impactos ambientais (World Economic Forum, 2016).

Historicamente, o setor tem se apoiado em métodos tradicionais de planejamento e gestão que apresentam limitações diante da crescente complexidade dos projetos de engenharia. Conforme discutido por Koskela (2000), modelos convencionais frequentemente resultam em processos ineficientes, desperdícios e baixa previsibilidade dos resultados, evidenciando a necessidade de abordagens tecnológicas capazes de transformar a forma como os projetos são concebidos e executados.

Nesse cenário, a Inteligência Artificial (IA) surge como uma alternativa promissora, oferecendo ferramentas capazes de analisar grandes volumes de dados, automatizar processos e apoiar a tomada de decisão (Russell; Norving, 2010). Sistemas baseados em aprendizado de máquina e visão computacional vêm sendo aplicados em diferentes etapas do ciclo de vida das construções, incluindo previsão de propriedades de materiais, monitoramento de obras, gestão de riscos e planejamento de cronogramas (Pan; Zhang, 2021).

Nos últimos anos, observa-se um crescimento expressivo no número de pesquisas relacionadas à aplicação da IA na construção civil. Entretanto, os estudos encontram-se dispersos na literatura científica, abordando diferentes técnicas, aplicações e contextos, o que dificulta a identificação das abordagens mais utilizadas, seus benefícios reais e suas principais limitações (Pan; Zhang, 2021). Nesse contexto, torna-se necessária a realização de uma Revisão Sistemática

da Literatura (RSL) que permita organizar, analisar e sintetizar criticamente as evidências científicas disponíveis sobre o tema. Assim, essa pesquisa tem como objetivo a realização de uma revisão sistemática da literatura sobre a aplicação da IA na construção civil, buscando identificar as principais técnicas empregadas, áreas de aplicação, benefícios observados e lacunas de pesquisa existentes.

A RSL consiste em uma abordagem metodológica estruturada para identificar, avaliar e sintetizar evidências científicas disponíveis sobre determinado tema. Diferentemente de revisões tradicionais, a RSL utiliza procedimentos previamente definidos, permitindo maior transparência, rastreabilidade e redução de possíveis vieses na seleção e análise dos estudos (Tranfield; Denyer; Smart, 2003). De acordo com Moher et al. (2009), a adoção de protocolos sistemáticos contribui para garantir maior rigor no processo de revisão e confiabilidade nos resultados obtidos. Nesta pesquisa, optou-se pelo protocolo proposto por Kitchenham (2004), por ser uma metodologia amplamente aplicada em estudos da área de engenharia e tecnologia, apresentando etapas adequadas para a condução de revisões sistemáticas nesse contexto.

Foram utilizadas três bases de dados Scopus, Compendex e Web of Science devido à ampla quantidade de estudos nelas indexados, com o objetivo de tornar a revisão mais abrangente e representativa. Para a busca dos trabalhos, foi definida uma *string* de pesquisa, a fim de garantir a recuperação de estudos relacionados ao tema investigado.

Após essa etapa, foram aplicados critérios de inclusão e exclusão, com o propósito de selecionar apenas os estudos aderentes ao escopo da pesquisa, além dos critérios de qualidade relacionados ao rigor metodológico, à clareza na descrição das técnicas de IA empregadas e à apresentação dos resultados obtidos. Por fim, realizou-se a extração das informações relevantes dos artigos selecionados.

2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é um método amplamente utilizado para reunir e avaliar evidências científicas de forma estruturada e rigorosa. Conforme proposto por Kitchenham (2004), essa abordagem se diferencia das revisões tradicionais por adotar um protocolo explícito e reproduzível, reduzindo vieses e aumentando a confiabilidade dos resultados.

A RSL é especialmente relevante em áreas com grande volume de publicações, como a aplicação da IA na construção civil, pois permite organizar o conhecimento existente, identificar lacunas e orientar futuras investigações. Seu principal objetivo é fornecer uma visão abrangente e imparcial dos estudos publicados em determinada área. De acordo com Kitchenham (2004), a RSL é composta por três fases principais: planejamento, condução e relato dos resultados.

2.1 Planejamento

O planejamento da revisão é dividido em duas etapas: Identificação da necessidade e Desenvolvimento de um protocolo de revisão.

2.1.1 Necessidade da Revisão

A necessidade de uma RSL surge quando o pesquisador precisa sintetizar uma grande quantidade de estudos sobre uma área específica, com o objetivo de obter uma visão abrangente e minimizar possíveis vieses. Dessa forma, torna-se possível compreender o panorama geral das pesquisas existentes, identificando tendências, lacunas e inconsistências.

Antes de iniciar a revisão, é fundamental verificar se a realização de uma RSL é realmente necessária e relevante para a área em questão, assegurando que ela trará contribuições significativas para o conhecimento científico.

2.1.2 Protocolo da RSL

O protocolo de revisão sistemática proposto por Kitchenham (2004) consiste

em um planejamento detalhado que orienta o pesquisador durante toda a condução da Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Ele é elaborado antes do início da revisão e tem como principal objetivo definir, de forma estruturada e prévia, todos os procedimentos metodológicos que serão adotados ao longo do processo.

Nesse protocolo, são estabelecidos elementos fundamentais, como as questões de pesquisa que guiarão o estudo, as estratégias de busca utilizadas para localizar os trabalhos relevantes, as bases de dados que serão consultadas, bem como os critérios de inclusão e exclusão dos estudos. Além disso, o protocolo pode definir os métodos de extração e análise dos dados, garantindo consistência na interpretação dos resultados.

A definição prévia desses aspectos é essencial para evitar decisões arbitrárias durante a execução da revisão, o que contribui para a redução de vieses. Dessa forma, o protocolo assegura maior rigor metodológico, transparência e reprodutibilidade, permitindo que outros pesquisadores compreendam, avaliem e, se necessário, repliquem o estudo.

2.2 Condução da revisão

Conforme proposto por Kitchenham (2004), a condução da RSL envolve cinco etapas principais: Identificação da pesquisa, Seleção dos estudos, Avaliação da qualidade dos estudos, Extração de dados, além do Monitoramento do progresso e da Síntese dos dados. Essas etapas são fundamentais para garantir a sistematização, transparência e confiabilidade dos resultados obtidos.

2.2.1 Identificação da pesquisa

De acordo com Kitchenham (2004), o objetivo dessa etapa é identificar o maior número possível de estudos relevantes relacionados ao tema, minimizando vieses na seleção das evidências. Esse caráter rigoroso é o que diferencia a revisão sistemática de revisões tradicionais.

Nesse contexto, a identificação da pesquisa consiste na definição de estratégias de busca, incluindo a escolha de bases de dados eletrônicas e outras fontes relevantes, bem como a construção de strings de busca adequadas. Todas as

decisões e estratégias adotadas devem ser devidamente documentadas, garantindo transparência e permitindo a reprodutibilidade do estudo por outros pesquisadores.

2.2.2 Seleção dos estudos

A seleção dos estudos é orientada por critérios previamente definidos no protocolo da revisão, os quais estão diretamente relacionados às questões de pesquisa. Esses critérios têm como objetivo reduzir a probabilidade de viés, assegurando que apenas estudos relevantes sejam incluídos na análise.

Nessa etapa, é comum realizar uma triagem inicial com base no título e no resumo dos trabalhos, permitindo a exclusão de estudos que não atendam aos critérios estabelecidos. Posteriormente, os estudos selecionados passam por uma análise mais detalhada, garantindo maior rigor na composição do conjunto final de evidências.

2.2.3 Avaliação da qualidade do estudo

A avaliação da qualidade dos estudos primários constitui uma das etapas distintivas de uma RSL em comparação com revisões tradicionais ou narrativas (Kitchenham, 2004). Segundo a autora, qualidade refere-se ao grau em que um estudo minimiza vieses em seu delineamento, condução e análise, assegurando que os resultados sejam válidos e confiáveis.

Kitchenham (2004) estabelece que a avaliação da qualidade em uma RSL deve cumprir três objetivos principais: (a) fornecer critérios explícitos para inclusão/exclusão de estudos; (b) permitir a ponderação dos resultados com base na robustez metodológica de cada estudo; e (c) orientar a análise de sensibilidade e a interpretação dos achados. A autora recomenda o uso de *checklists* estruturados, nos quais cada estudo é pontuado segundo critérios como clareza na questão de pesquisa, adequação do delineamento, descrição da amostra e rigor na análise dos dados.

Complementarmente, Kitchenham, Budgen e Brereton (2015) destacam que, em áreas como a Ciência da Computação e Engenharia de Software, é comum que estudos primários apresentem qualidade variável, sendo frequentes fragilidades

como ausência de grupos de controle, amostras pequenas ou falta de replicabilidade. Por essa razão, a avaliação da qualidade não deve ser usada para excluir automaticamente estudos de baixa pontuação, mas sim para ponderar sua contribuição na síntese final e para discutir as limitações do corpo de evidência como um todo.

2.2.4 Extração de dados e Monitoramento de progresso

A etapa de extração de dados, conforme as diretrizes de Kitchenham (2004), tem como objetivo primordial o delineamento de formulários que permitam registrar de forma acurada as informações obtidas nos estudos primários, visando reduzir a possibilidade de viés do pesquisador.

É fundamental que esses formulários de extração sejam definidos e testados (pilotados) ainda durante a fase de elaboração do protocolo de pesquisa, garantindo que todos os dados necessários para responder às perguntas da revisão e avaliar a qualidade dos estudos sejam contemplados. Além dos dados específicos para a síntese, os instrumentos devem registrar informações padronizadas, incluindo detalhes da publicação, autores e data da extração.

No que tange aos procedimentos, Kitchenham (2004) recomenda que a extração seja realizada de forma independente por dois ou mais pesquisadores, com a resolução de divergências ocorrendo por consenso ou através de um árbitro externo. Para pesquisadores que trabalham individualmente, como estudantes de doutorado, sugere-se que uma amostra aleatória das extrações seja revisada por supervisores ou pares para assegurar a consistência do processo.

Adicionalmente, deve-se ter cautela para evitar a inclusão redundante de dados provenientes de publicações múltiplas de um mesmo estudo, priorizando-se, nesses casos, a versão mais recente.

Por fim, diante de dados ausentes ou ambíguos, orienta-se o contato direto com os autores originais, e qualquer manipulação de dados ou suposições realizadas durante a extração deve ser documentada e validada, preferencialmente por meio de análises de sensibilidade.

2.2.5 Síntese dos dados

A síntese de dados consiste no processo de coletar informações e resumir os resultados dos estudos primários incluídos. Essa síntese pode ser apresentada de forma descritiva, utilizando tabelas estruturadas que organizam informações sobre intervenção, população, contexto e desfechos, permitindo identificar se os resultados são consistentes (homogêneos) ou inconsistentes (heterogêneos) entre si.

Quando os dados permitem uma integração estatística, utiliza-se a síntese quantitativa (meta-análise), que requer a apresentação dos resultados de maneira comparável, utilizando medidas de efeito específicas para dados binários ou contínuos. A visualização comum para esses resultados é o gráfico de floresta (*forest plot*), que exibe as médias e variâncias de cada estudo.

Para garantir a confiabilidade das conclusões, as diretrizes enfatizam a importância da análise de sensibilidade, que verifica a robustez dos resultados em subgrupos específicos, e a avaliação do viés de publicação, geralmente realizada por meio de gráficos de funil (*funnel plots*), que auxiliam na identificação de tendências na publicação de resultados positivos em detrimento de negativos.

2.3 Relatos dos Resultados

A fase de relato da revisão segundo Kitchenham (2004) tem como finalidade a comunicação eficaz dos resultados, ocorrendo geralmente em dois formatos: documentos detalhados, como relatórios técnicos ou capítulos de teses, e versões mais concisas para periódicos ou conferências, que devem referenciar os documentos mais extensos para garantir a transparência. A estrutura do relato deve ser rigorosa, iniciando-se pela contextualização do problema e a definição clara das questões de pesquisa.

No que concerne à apresentação dos resultados, o relato deve listar os estudos incluídos e excluídos (com suas respectivas justificativas), acompanhados de sínteses descritivas e quantitativas, como metanálises e análises de sensibilidade quando aplicável.

A discussão dos achados deve abordar a força e a validade das evidências, identificando pontos fortes, fraquezas e a aplicabilidade prática dos resultados para

a área.

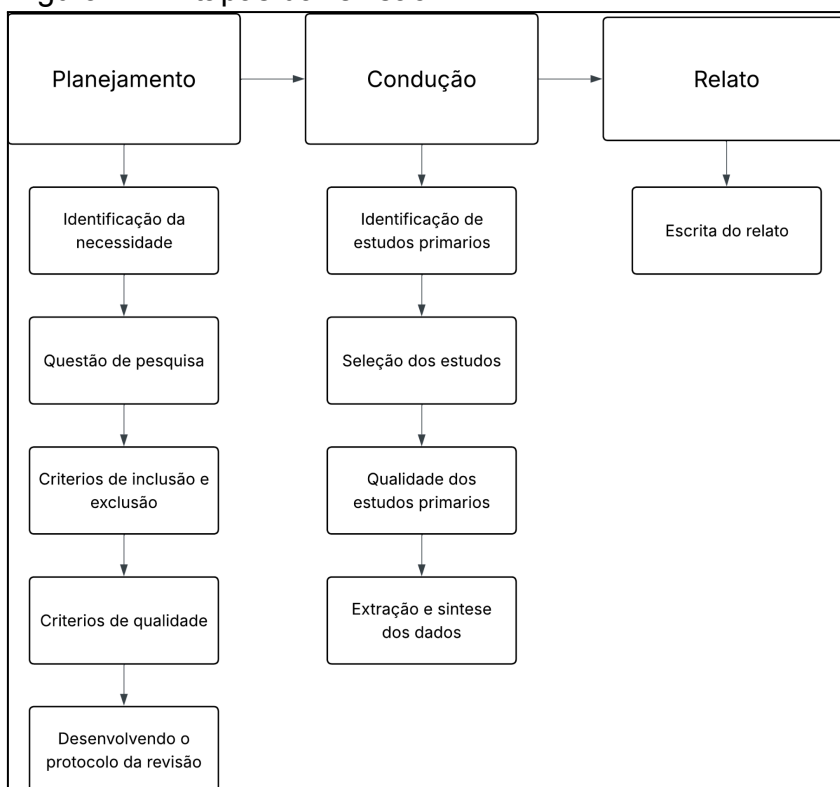
Finalmente, as conclusões da RSL devem sintetizar as recomendações e apontar lacunas para pesquisas futuras, sendo essencial a declaração de possíveis conflitos de interesse e a submissão do relatório à revisão por pares ou painéis de especialistas para assegurar a sua qualidade e rigor científico.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma RSL, seguindo as diretrizes propostas por Kitchenham (2004). O processo foi conduzido de forma estruturada seguindo três principais etapas: planejamento, condução e relato. Como apresentado na figura 1.

Adicionalmente, foi utilizada a ferramenta ChatGPT (OpenAI), DeepSeek e NotebookLM (Google) como apoio complementar ao processo de revisão, auxiliando na revisão gramatical, esclarecimento de conceitos metodológicos e verificação da consistência das decisões adotadas. Entretanto, todas as etapas da seleção dos estudos, extração dos dados, análise dos resultados e tomada de decisão foram conduzidas pela autora.

Figura 1 – Etapas da revisão



Fonte: Autoria própria (2026).

3.1 Planejamento

O planejamento da revisão foi dividido em duas etapas: identificação da necessidade e o desenvolvimento de um protocolo de revisão.

3.1.1 Identificação da necessidade

Conforme Kitchenham (2004), essa etapa é essencial para assegurar que a revisão proposta seja significativa e não redundante. Durante a busca preliminar, observou-se que há poucos estudos de revisão sistemática abordando IA na construção civil mesmo com uma abrangência de artigos na área, o que evidencia a necessidade de consolidar o conhecimento existente e identificar oportunidades para novas pesquisas.

3.1.2 Questões de pesquisa

Inicialmente, foram definidas as seguintes questões de pesquisa que orientaram toda a revisão sistemática, servindo como guia para a identificação, seleção e análise dos estudos relevantes.

As principais questões formuladas foram:

Q1: Como a IA pode ser aplicada na construção civil?

Q2: Quais características ou funcionalidades da IA são utilizadas no contexto estudado?

Q3: Quais técnicas de IA são mais frequentemente empregadas?

Q4: Quais limitações ou desafios têm sido apontados nos estudos?

A definição dessas perguntas foi fundamental para estruturar o protocolo de revisão, orientar as estratégias de busca nas bases de dados e estabelecer os critérios de inclusão e exclusão dos estudos. Dessa forma, garante-se que a revisão seja conduzida de maneira sistemática, transparente e consistente, permitindo que os resultados obtidos reflitam de forma confiável o estado da arte sobre o tema.

3.1.3 Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão e exclusão foram formulados para assegurar a relevância e a qualidade dos estudos analisados. Foram incluídos artigos publicados entre 2020 e 2025, escritos em inglês e disponíveis em revistas científicas. Por outro lado, foram excluídas revisões narrativas ou sistemáticas sem dados originais, trabalhos voltados a outros setores que não a construção civil e artigos sem acesso

ao texto completo como mostra o quadro 1. Essa etapa teve papel fundamental para garantir a consistência e a pertinência dos resultados obtidos.

Quadro 1 – Critérios de inclusão e exclusão

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
Ano de publicação: 2020 - 2025	Publicações não relacionadas ao tema
Artigos em inglês	Artigos inacessíveis
Artigos completos	Artigos de outras áreas da engenharia civil
Artigos de pesquisa de revistas relacionados à aplicação da inteligência artificial na construção civil	revisões narrativas ou sistemáticas sem dados originais

Fonte: Autoria própria (2026).

3.1.4 Critérios de qualidade

A avaliação da qualidade dos estudos selecionados foi realizada por meio de um conjunto de questões elaboradas com base nos objetivos desta RSL. Os critérios buscaram verificar a clareza dos objetivos da pesquisa, a descrição da metodologia adotada, a definição dos dados de entrada utilizados pelos modelos de IA, a disponibilidade da base de dados, a identificação das técnicas de IA empregadas, a apresentação das métricas de validação e a discussão das limitações do estudo. Com base nesses aspectos, foram definidos os seguintes critérios de avaliação da qualidade dos estudos:

1. Os objetivos ou motivações são apresentados de forma clara?
2. As metodologias foram apresentadas de forma clara?
3. As entradas de dados (atributos) utilizados na IA foram bem definidos?
4. A base de dados foi disponibilizada no trabalho?
5. Está claro quais as técnicas de IA foi/foram utilizada(s) no estudo?
6. Fica claro quais as métricas utilizadas para validar a técnica de IA?
7. Há discussão dos resultados no estudo?
8. As limitações do estudo são expostas?
9. A proposta/ferramenta foi validada em um cenário real?

3.1.5 Desenvolvimento de um protocolo de revisão

Após a definição das questões de pesquisa, foi elaborado o protocolo que guiou todo o processo de revisão sistemática. Esse protocolo contemplou as estratégias de busca, os critérios de seleção de estudos, o processo de extração e síntese dos dados, além do planejamento geral das etapas da revisão.

A estratégia de busca foi construída a partir das palavras-chave relacionadas à IA e à construção civil. A string utilizada foi:

(machine AND learning OR artificial AND intelligence) AND (civil AND engineering OR civil AND construction).

Essa expressão foi aplicada em bases de dados. Para garantir a abrangência e a relevância da revisão sistemática, foram selecionadas três bases de dados amplamente reconhecidas na literatura científica: Compendex, Web of Science e Scopus. A escolha dessas bases se deve à sua cobertura em áreas relacionadas à engenharia, ciência e tecnologia, garantindo que os estudos analisados fossem provenientes de fontes qualificadas e indexadas em periódicos de alto impacto.

O processo de seleção dos estudos ocorreu em três fases: inicialmente, foi feita a busca automatizada nas bases selecionadas; em seguida, realizou-se a análise dos títulos e resumos para verificar a aderência ao tema; por fim, procedeu-se à leitura completa dos artigos potencialmente relevantes, confirmando o atendimento aos critérios de inclusão.

A etapa de extração e síntese de dados consistiu na criação de um formulário padronizado, no qual foram registradas informações como autor, título do estudo, ano de publicação, palavras-chave, periódico, país, síntese do artigo, técnica de IA utilizada, limitações e aplicações na construção civil. Os dados coletados foram organizados em uma tabela para facilitar a comparação e a análise entre os estudos selecionados.

Por fim, o planejamento da revisão foi definido com base em um cronograma que orientou cada etapa do processo, desde a busca e triagem dos estudos até a análise e síntese dos resultados, garantindo uma execução sistemática, transparente e reprodutível, conforme as recomendações metodológicas de Kitchenham (2004).

3.2 Condução da revisão sistemática

A condução da revisão sistemática seguiu etapas estruturadas que garantiram a rastreabilidade e a qualidade do processo de seleção dos estudos. Essas etapas incluem a identificação de estudos primários, qualidade dos estudos primários e extração de dados e síntese dos estudos primários.

3.2.1 Identificação de estudos primários

Inicialmente, realizou-se a etapa de identificação, que consistiu na aplicação das palavras-chave e na execução das buscas nas bases Scopus, Web of Science e Compendex. Durante essa etapa, foram aplicados os filtros de período de publicação, idioma inglês e tipo de documento. Foram identificados 1516 artigos, conforme apresentado no quadro 2.

Quadro 2 – Buscas nas bases de dados

Base de Dados	Busca apenas com <i>string</i>	Incluindo critérios
Scopus	255	66
Web of Science	2.363	759
Compendex	4.656	691
Total	7.274	1516

Fonte: Autoria própria (2026).

3.2.2 Seleção dos estudos

Após a obtenção desses resultados consolidados, realizou-se a remoção de duplicatas, o que reduziu o conjunto de 1516 para 1047 artigos únicos. Em seguida, procedeu-se à avaliação da aderência ao tema, etapa em que foram excluídos os trabalhos indisponíveis em texto completo e aqueles que não se enquadram no

escopo da pesquisa, isto é, estudos que não abordavam a aplicação de IA na área da construção civil. Ao final dessa filtragem, restaram 230 artigos considerados relevantes para análise.

3.2.3 Qualidade dos estudos primários

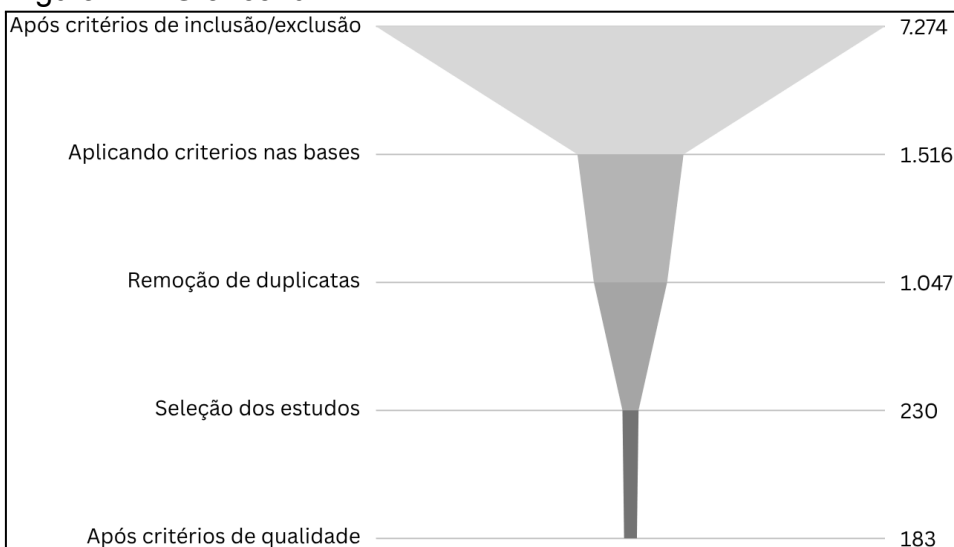
Para avaliar a qualidade metodológica dos estudos pré-selecionados, adotou-se uma lista composta por nove critérios.

Para cada critério, foi atribuída uma pontuação de 1 (um) quando o estudo atendia ao requisito, 0 (zero) quando o requisito não era atendido ou não estava claramente descrito e 0,5 quando o estudo atendia de forma parcial o requisito. Dessa forma, a pontuação máxima possível para cada artigo foi de 9 pontos.

Com o objetivo de garantir um nível mínimo de qualidade metodológica, foram incluídos na revisão apenas os estudos que obtiveram pontuação igual ou superior a 7 pontos. Trabalhos com pontuação inferior a esse valor foram excluídos por não apresentarem informações suficientes quanto à descrição da metodologia, dos dados utilizados, das técnicas de IA empregadas ou da validação dos resultados.

Dos 230 estudos submetidos à avaliação de qualidade, 183 atingiram a pontuação mínima estabelecida e foram considerados aptos para compor a análise final desta revisão sistemática. Os 47 estudos restantes foram excluídos por não atenderem aos critérios mínimos de qualidade metodológica definidos para a pesquisa. A Figura 2 ilustra o afunilamento dos estudos ao longo dessa etapa, demonstrando a redução progressiva do conjunto inicial até a obtenção dos estudos que subsidiaram a fase de extração e síntese dos dados.

Figura 2 – Gráfico funil



Fonte: Autoria própria (2026).

3.2.4 Extração dos dados e Síntese dos estudos primários

A partir desse conjunto, foi realizada a extração e o monitoramento dos dados, registrando informações como síntese dos artigos, técnicas utilizadas, entrada de dados, limitações, banco de dados e aplicação na construção civil; também foram incluídos o nome do autor, ano de publicação, título do artigo em uma planilha padronizada, de modo a garantir a consistência e a rastreabilidade das informações. Por fim, foi conduzida a síntese dos dados, permitindo identificar tendências, lacunas e contribuições significativas relacionadas à aplicação de tecnologias e abordagens no contexto da construção civil.

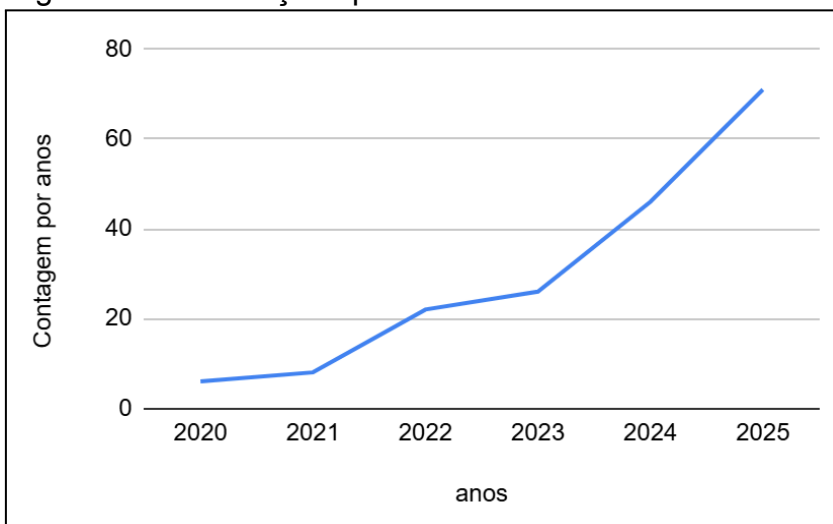
4 RELATO

Nesta seção, são apresentados os resultados da revisão, destacando informações gerais dos estudos selecionados, como ano de publicação, países de origem, bases de dados utilizadas, palavras-chave e demais características relevantes. Além disso, são apresentadas as respostas às questões de pesquisa definidas neste estudo.

4.1 Informações Gerais

A análise da distribuição temporal das publicações revela um crescimento significativo no número de estudos sobre o tema entre 2020 e 2025. Observa-se um aumento contínuo ao longo dos anos, partindo de um número reduzido de publicações em 2020, seguido por um crescimento constante em 2021 e 2024, até atingir seu pico em 2025, com mais de 60 publicações como mostra o Figura 3.

Figura 3 – Publicações por ano



Fonte: Autoria própria (2026).

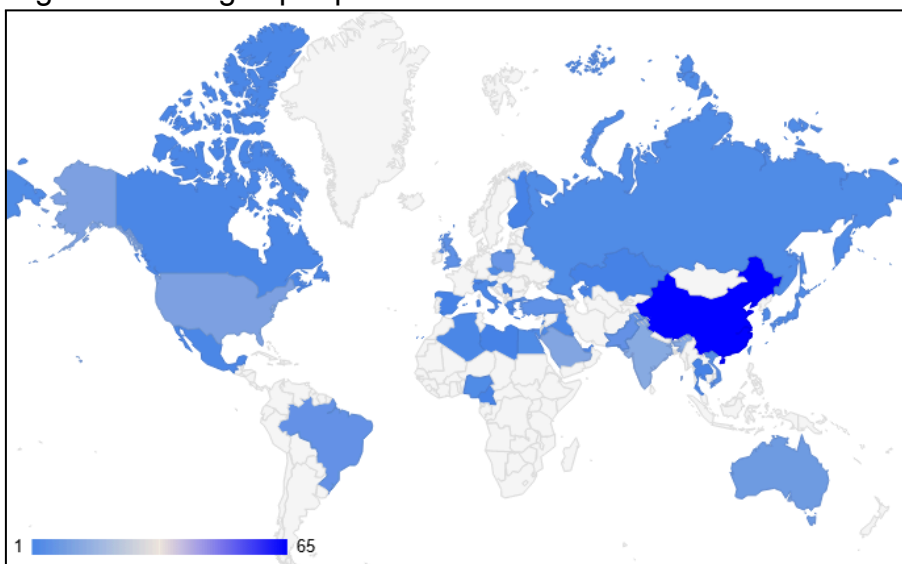
Esse padrão sugere um aumento do interesse da comunidade científica no tema ao longo do tempo, possivelmente impulsionado por avanços tecnológicos, maior disponibilidade de dados e um crescimento da aplicação do tema em diferentes setores. Além disso, esse crescimento pode estar associado ao processo de transformação digital do setor da construção, que demanda soluções mais eficientes para análise, previsão e tomada de decisão (Pan; Zhang, 2021; Xu et al.,

2021).

Esse aumento contínuo reforça a relevância da presente revisão sistemática, pois evidencia que o tema tem recebido atenção crescente na literatura acadêmica e pode continuar em ascensão nos próximos anos.

A respeito da análise geográfica das publicações que estão dispostas na Figura 4, revela que a maioria dos estudos foram conduzidos em países como China, Índia, Arábia Saudita e Estados Unidos com destaque para a China, que apresentou 65 publicações nessa área. Isso pode ser explicado pelo avanço tecnológico, investimentos em pesquisa e relevância do tema nessas regiões.

Figura 4 – Artigos por país



Fonte: Autoria própria (2026).

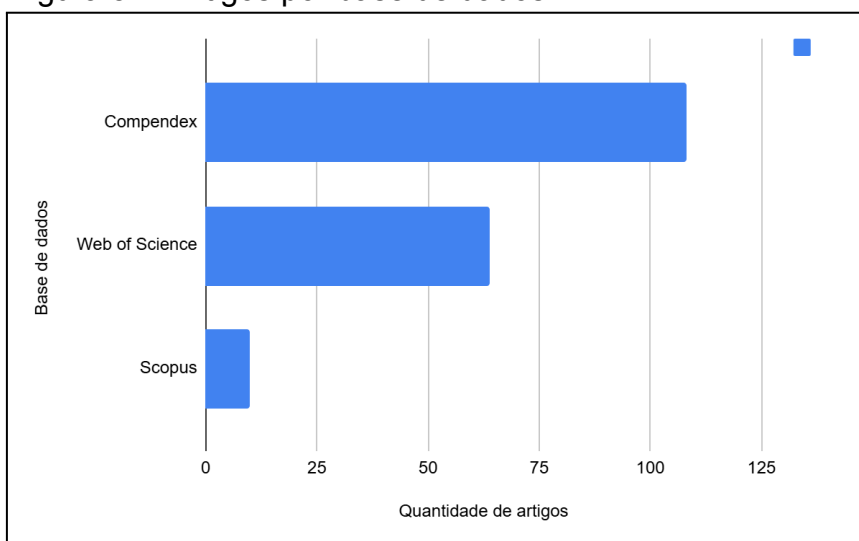
Especificamente, a China tem se destacado globalmente em Pesquisa e Desenvolvimento (P & D). De acordo com o Relatório de Ciência da UNESCO, a China foi responsável por quase dois terços do crescimento global nos gastos com ciência entre 2014 e 2018, ao lado dos Estados Unidos. Além disso, o país aumentou significativamente sua participação nos investimentos globais em pesquisa, contribuindo com cerca de 19,6% do investimento mundial, o que reflete seu compromisso contínuo com a inovação tecnológica e científica. (Unesco, 2021)

Em contrapartida, nota-se uma contribuição significativamente menor de países de determinadas regiões, revelando uma lacuna preocupante na produção científica e tecnológica internacional. Essa disparidade pode ser atribuída a fatores estruturais profundos, como o reduzido investimento governamental em pesquisa, infraestrutura científica limitada, e prioridades acadêmicas e industriais divergentes.

O Relatório de Ciência da UNESCO (2021) destaca que, embora o potencial da ciência aberta seja reconhecido globalmente, as prioridades regionais variam significativamente. Países em regiões como África, América Latina, Ásia e os Estados Árabes enfrentam desafios estruturais profundos, incluindo a necessidade de investimentos em infraestrutura, conectividade e capacidade institucional para ciência e inovação. Essas disparidades limitam a geração local de conhecimento e a atração de investimentos, perpetuando um ciclo de menor competitividade e inovação que dificulta a inserção desses países no cenário tecnológico mundial. Essa desigualdade contribui para a perpetuação de um ciclo de baixa inovação e menor competitividade global, dificultando o desenvolvimento sustentável e a inserção desses países no cenário tecnológico mundial (Unesco, 2021).

A análise dos resultados revelou como pode ser observado na Figura 5 que a maior parte das publicações foi encontrada nas bases Compendex e Web of Science, ambas contendo mais de 50 estudos relevantes. O Compendex é amplamente utilizado para pesquisas em engenharia e tecnologia, o que justifica a alta concentração de estudos nessa base. O Web of Science, por sua vez, possui uma cobertura interdisciplinar, incluindo periódicos de alto impacto na área de construção e IA. Já o Scopus, embora também seja uma base relevante e de ampla cobertura, apresentou um número menor de publicações sobre o tema específico analisado.

Figura 5 – Artigos por base de dados



Fonte: Autoria própria (2026).

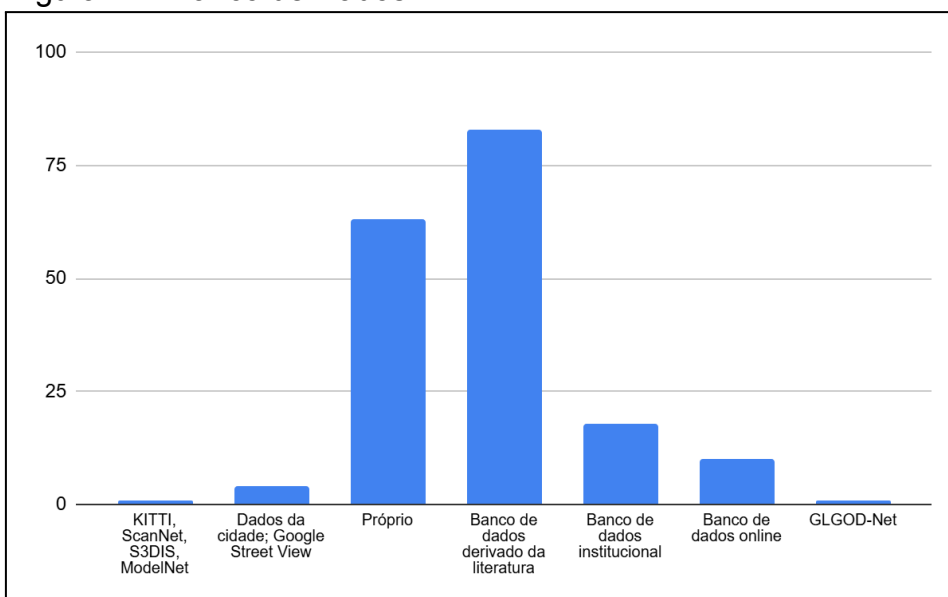
De modo geral, os dados reforçam que a IA tem sido explorada em diferentes

gerenciamento de custos em projetos de engenharia.

De forma geral, os resultados indicam que a IA vem sendo amplamente empregada para solucionar problemas complexos da engenharia civil, especialmente nas áreas de previsão de propriedades de materiais, otimização de processos, análise de desempenho e suporte à tomada de decisões em projetos e obras (Pan; Zhang, 2021; Xu et al., 2021).

O gráfico apresentado na Figura 7 apresenta os bancos de dados utilizados nos artigos analisados na revisão sistemática sobre o uso da IA na engenharia civil. Observa-se que a maioria dos estudos baseia-se em bancos de dados derivados da literatura, o que indica uma forte tendência de reutilização de conjuntos de dados previamente publicados. Além disso, uma quantidade significativa de pesquisas utiliza bancos de dados institucionais e dados próprios, sugerindo que muitas investigações dependem de fontes internas ou experimentais para validar modelos de IA. Outras fontes, como bases de dados online e conjuntos específicos como KITTI, ScanNet e Google Street View, são menos frequentes, mas ainda representam abordagens relevantes para aplicações mais especializadas. Esses resultados reforçam a importância da curadoria e acessibilidade dos dados na pesquisa sobre IA na engenharia civil, uma vez que a qualidade e a origem das informações impactam diretamente na robustez e aplicabilidade dos modelos desenvolvidos.

Figura 7 – Banco de Dados

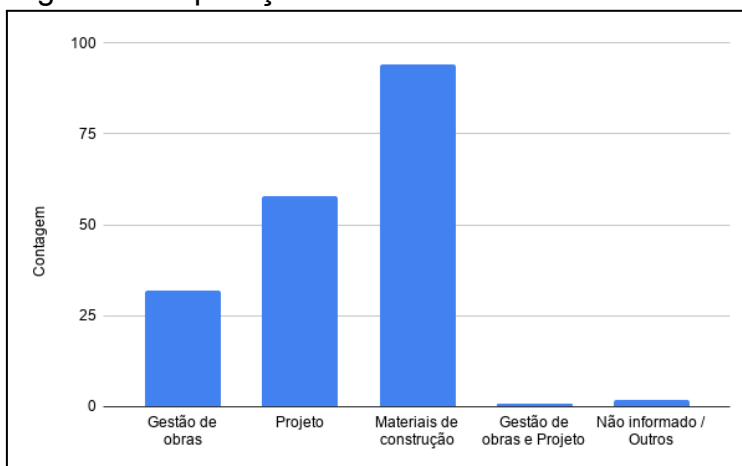


Fonte: Autoria própria (2026).

4.2 Como a IA pode ser aplicada na construção civil?

Os dados da Figura 8 revelam que a principal aplicação da IA na engenharia civil está relacionada aos materiais de construção, com ênfase na previsão de propriedades, otimização de composições e análise de desempenho, representando a maior parte dos artigos analisados. Em segundo lugar, destaca-se a aplicação da IA na fase de projeto, evidenciando seu uso no apoio à modelagem, simulações e tomada de decisões mais precisas na concepção das estruturas. A gestão de obras, embora apresente menor número de publicações, demonstra potencial significativo para aplicação da IA. Adeniran-Bakare et al. (2025) propõem uma abordagem baseada em *machine learning* e Internet das Coisas (IoT) para manutenção preditiva de rodovias, permitindo o monitoramento contínuo das condições da infraestrutura e o planejamento mais eficiente das intervenções. De forma semelhante, Guzmán-Torres et al. (2025) utilizaram *Digital Twins* e *Deep Learning* para detecção automatizada de danos em estruturas e apoio ao monitoramento de sua condição, contribuindo para processos de inspeção mais precisos e manutenção preditiva, possibilitando inspeções mais precisas e manutenção preditiva das estruturas. Apesar dos resultados promissores observados nesses estudos, a quantidade reduzida de publicações encontradas nessa categoria sugere que a aplicação da IA na gestão operacional, monitoramento em tempo real e manutenção de infraestruturas ainda é menos explorada quando comparada às áreas de materiais de construção e projeto, configurando uma importante lacuna de pesquisa.

Figura 8 – Aplicação na área



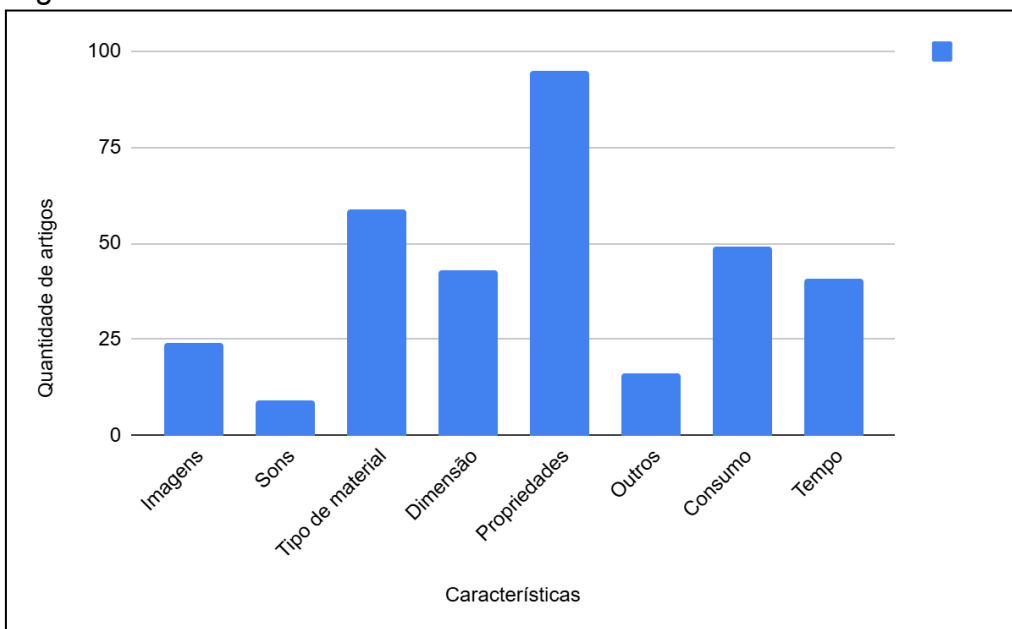
Fonte: Autoria própria (2026).

4.3 Quais características ou funcionalidades da IA são utilizadas no contexto estudado?

A identificação das características utilizadas como entradas de dados nos modelos de IA aplicados à engenharia civil revela uma predominância de propriedades físicas dos materiais, como propriedades específicas (ex.: resistência, densidade) e tipo de material. Esses fatores são essenciais para prever o desempenho estrutural e otimizar projetos. Além disso, dimensão também se destaca, evidenciando o uso da IA para cálculos espaciais e estruturais.

Por outro lado, características como sons e consumo apresentam menor frequência, sugerindo que a aplicação da IA ainda é mais voltada para aspectos físicos e estruturais do que para análises acústicas ou eficiência energética. O uso de imagens e tempo também aparece em menor escala, possivelmente indicando que, apesar dos avanços na visão computacional e na previsão temporal, essas abordagens ainda são secundárias frente à análise direta de propriedades dos materiais.

Figura 9 – Entrada de dados



Fonte: Autoria própria (2026).

4.4 Quais técnicas de IA são mais frequentemente empregadas?

Entre as técnicas mais recorrentes identificadas na revisão, o *Random Forest*

aplicabilidade dessa técnica na engenharia civil. Além da previsão de consumo energético, as ANN também demonstram grande potencial na engenharia civil para modelagem de fenômenos altamente não lineares. Segundo Dao et al., As redes neurais convolucionais artificiais (C-ANN) são particularmente eficazes para prever propriedades do concreto, permitindo estimativas precisas da resistência à compressão e densidade do material, como demonstrado também no estudo de Zhou et al. (2022), que combinou elementos finitos (FEM) e CNN unidimensionais (1D-CNN) para detecção de danos estruturais com alta precisão. Esses resultados indicam que as C-ANN podem reduzir a necessidade de experimentação física, otimizando processos e reduzindo custos na construção civil conforme demonstrado por Moon, Lee e Kim (2014), Dao et al. (2020) e Zhou et al. (2022).

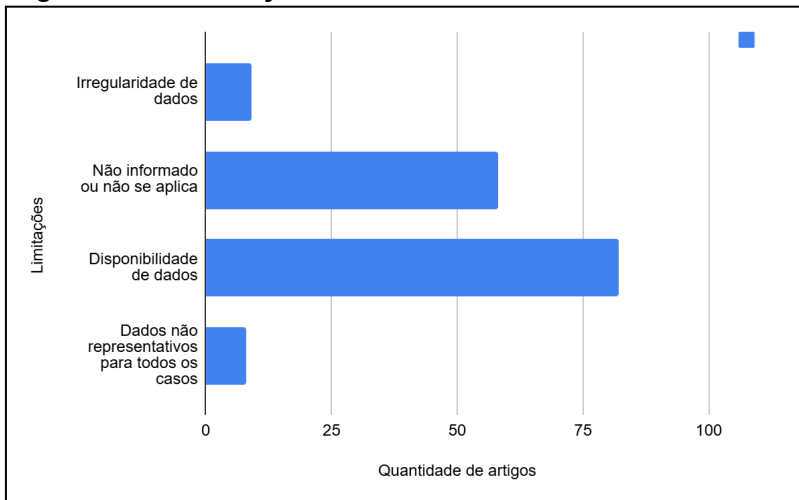
Outras técnicas com destaque incluem *k- nearest neighbor* (KNN) e *Support Vector Machine* (SVM), que são métodos populares de aprendizado supervisionado, frequentemente utilizados para classificação e regressão. Métodos de ensemble, como XGBoost, Bagging e Adaboost, também aparecem com frequência, reforçando a tendência do uso de modelos combinados para melhorar a precisão das previsões.

A diversidade das técnicas evidencia que não há uma abordagem única predominante, mas sim um conjunto de métodos sendo explorados para diferentes aplicações dentro da engenharia civil. Isso sugere a necessidade de avaliar caso a caso a técnica mais adequada, dependendo do tipo e da complexidade dos dados disponíveis.

4.5 Quais limitações ou desafios têm sido apontados nos estudos?

Entre as limitações explicitamente mencionadas, destaca-se a disponibilidade de dados como mostra a figura 11, que aparece com frequência relevante. Isso sugere que muitos estudos enfrentam desafios relacionados ao acesso a conjuntos de dados suficientes e de qualidade, o que é essencial para o treinamento de modelos de IA eficazes.

Figura 11 – limitações encontradas



Fonte: Autoria própria (2026).

De acordo com a figura 11, outro ponto identificado nas publicações analisadas foi classificado como "Não informado ou não se aplica", indicando que uma parte significativa dos estudos não relatou de forma clara as restrições enfrentadas ou não teve limitações diretamente relacionadas ao uso da IA.

A irregularidade de dados também foi mencionada, apontando problemas como dados incompletos, inconsistentes ou com ruídos, que podem comprometer a qualidade dos modelos desenvolvidos. Outra limitação observada foi a presença de dados não representativos para todos os casos, indicando que, em alguns estudos, os dados utilizados não abrangiam uma diversidade suficiente de cenários, o que pode limitar a generalização dos resultados.

Em síntese, os dados reforçam que a qualidade e a disponibilidade dos dados são fatores críticos para a aplicação bem-sucedida da IA na engenharia civil. A ausência de relatos em muitos artigos também aponta para a necessidade de uma maior transparência e detalhamento metodológico nas pesquisas futuras.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta RSL teve como objetivo investigar como a IA tem sido aplicada na construção civil, identificando suas principais técnicas, características utilizadas, aplicações e limitações entre os anos de 2020 e 2025. A partir da metodologia proposta por Kitchenham (2004), foram analisados 183 estudos primários selecionados nas bases Scopus, Web of Science e Compendex.

Os resultados evidenciam que a IA vem sendo aplicada predominantemente na análise e otimização de materiais de construção, com destaque para a previsão de propriedades como resistência à compressão e desempenho estrutural. Além disso, observou-se crescimento relevante da aplicação da IA nas fases de projeto e gestão de obras, especialmente no suporte à tomada de decisão e na previsão de riscos.

Entre as técnicas mais empregadas, destacam-se *Random Forest*, ANN, KNN, SVM, indicando a predominância de métodos supervisionados voltados à previsão e modelagem. A diversidade de técnicas identificadas demonstra que não há uma abordagem única consolidada, mas sim múltiplas estratégias adaptadas ao tipo de dado e problema analisado.

No que se refere às limitações, verificou-se que a disponibilidade, qualidade e representatividade dos dados constituem os principais desafios para a aplicação eficaz da IA na engenharia civil. A ausência de detalhamento metodológico em parte dos estudos também aponta para a necessidade de maior transparência científica.

Além disso, os dados analisados nesta RSL revelaram uma lacuna significativa no que tange à aplicação da IA na gestão de obras, monitoramento em tempo real e manutenção preditiva de infraestruturas. Embora estudos recentes, como os de Adeniran-Bakare et al. (2025) e Guzmán-Torres et al. (2025), demonstrem avanços promissores nessa direção por meio do uso de IoT e *Digital Twins*, o reduzido número de publicações nessa categoria, quando comparado às áreas de materiais e projeto, indica que esse ainda é um campo incipiente e com grande potencial para exploração futura.

Como contribuição, esta RSL sobre o uso da IA na construção civil, oferece um panorama atualizado das tendências, lacunas e oportunidades de pesquisa. Os resultados reforçam o potencial transformador da IA para aumentar a eficiência, reduzir custos, melhorar a sustentabilidade e otimizar processos no setor.

Entretanto, esta pesquisa apresenta limitações, como a restrição a artigos em inglês, o recorte temporal definido e a utilização de apenas três bases de dados. Para estudos futuros, recomenda-se ampliar o período de análise, incluir outras bases e aprofundar a investigação sobre aplicações emergentes da IA, com ênfase na integração com BIM, Internet das Coisas (IoT) e sistemas de construção inteligente, especialmente no que se refere à manutenção preditiva e ao monitoramento estrutural em tempo real, áreas ainda pouco exploradas, conforme identificado na presente revisão.

REFERÊNCIAS

ADENIRAN-BAKARE, Silifat Mobisayo et al. Civil engineering smart cities: road maintenance with a data-driven approach of machine learning and IOT. **Discover Internet of Things**, v. 5, n. 1, art. 98, 2025. DOI: 10.1007/s43926-025-00198-2.

BUI, Dac-Khuong et al. An artificial neural network (ANN) expert system enhanced with the electromagnetism-based firefly algorithm (EFA) for predicting the energy consumption in buildings. **Energy**, v. 190, p. 116370, 2020. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116370.

DAO, Dong Van et al. Investigation and optimization of the C-ANN structure in predicting the compressive strength of foamed concrete. **Materials**, v. 13, n. 5, p. 1072, 2020. DOI: 10.3390/ma13051072.

GUZMÁN-TORRES, J. A. et al. A digital twin approach based method in civil engineering for classification of salt damage in building evaluation. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 233, p. 433–447, 2025.

KITCHENHAM, Barbara. **Procedures for performing systematic reviews**. Keele: Keele University, 2004. Keele University Technical Report TR/SE-040.

KOSKELA, Lauri. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 2000.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Reinventing construction: a route to higher productivity**. New York: McKinsey Global Institute, 2017.

MOON, Jin Woo; LEE, Ji-Hyun; KIM, Sooyoung. ANN-based thermal control logic for double skin envelopes in winter. **Energies**, v. 7, n. 11, p. 7245-7264, 2014. DOI: 10.3390/en7117245.

MOHER, David et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, e1000097, 2009.

PAN, Y.; ZHANG, L. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: a critical review and future trends. **Automation in Construction**, v. 122, 2021.

ROSHAN, Alireza; ABDELRAHMAN, Magdy. Improving aggregate abrasion resistance prediction via Micro-Deval test using ensemble machine learning techniques. **Engineering Journal**, Bangkok, v. 28, n. 3, p. 15-24, 2024. DOI: 10.4186/ej.2024.28.3.15.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial intelligence: a modern approach**. 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.

Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Science Report: the race against time for smarter development**. Paris: UNESCO Publishing, 2021. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377433>. Acesso em: 12 ago. 2025.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Shaping the future of construction: a breakthrough in mindset and technology**. Geneva: World Economic Forum, 2016.

XU, Y.; ZHOU, Y.; SEKUŁA, P.; DING, L. Machine learning in construction: From shallow to deep learning. **Developments in the Built Environment**, v. 6, p. 100045, 2021.

ZHOU, Yujue; ZHENG, Yonglai; LIU, Yongcheng; PAN, Tanbo; ZHOU, Yubao. A hybrid methodology for structural damage detection uniting FEM and 1D-CNNs: Demonstration on typical high-pile wharf. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 168, art. 108738, p. 1–23, 2022. DOI: 10.1016/j.ymssp.2021.108738.