INTEGRAÇÃO ENTRE BIM, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MACHINE LEARNING NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO DA LITERATURA

GUSTAVO ANTONIO DA SILVA[1], GABRIEL EDUARDO MAGALHÃES MANTOVANI[2] e MARCELO FRANCO PORTO[3]

[1]Engenheiro Eletricista, Civil e Segurança do Trabalho, UFMG, Belo Horizonte-MG, gustavoas@gustavoas.eng.br
[2]Engenheiro Civil, UFMG, Belo Horizonte-MG, gabriel.magalhaes@ufmg.br;
[3]DSc. Engenheiro Civil, UFMG, Belo Horizonte-MG, marceloporto@ufmg.br.

RESUMO: A integração entre Building Information Modeling (BIM), Inteligência Artificial (IA) e Machine Learning (ML) representa uma das principais transformações tecnológicas da Engenharia Civil e da infraestrutura de transportes nas últimas décadas. O BIM revolucionou o setor ao permitir a criação de modelos digitais inteligentes capazes de integrar informações geométricas, estruturais, temporais e financeiras de uma edificação ou infraestrutura ao longo de todo o seu ciclo de vida. Entretanto, o crescimento da complexidade dos projetos e do volume de dados gerados pelos modelos BIM impulsionou a necessidade de tecnologias mais avançadas para análise, automação e tomada de decisão. Nesse contexto, a Inteligência Artificial surge como uma ferramenta estratégica para ampliar a capacidade do BIM, permitindo automatizar processos, identificar padrões e otimizar atividades de planejamento, execução e manutenção de obras. Por meio de algoritmos inteligentes, a IA contribui para a redução de erros, aumento da produtividade e melhoria na gestão de riscos em projetos de construção civil e infraestrutura. O Machine Learning, considerado uma subárea da IA, desempenha papel fundamental nesse processo ao possibilitar que sistemas aprendam a partir de grandes volumes de dados provenientes dos modelos BIM e de sensores instalados nas obras. Técnicas de aprendizado de máquina têm sido aplicadas na previsão de custos, detecção automática de falhas, monitoramento de desempenho estrutural, planejamento de cronogramas e análise de segurança no canteiro de obras. Além disso, a integração dessas tecnologias favorece o desenvolvimento de construções inteligentes e sustentáveis, alinhadas aos princípios da Indústria 4.0 e das cidades inteligentes. Dessa forma, a combinação entre BIM, IA e Machine Learning vem promovendo significativa modernização no setor da construção, contribuindo para processos mais eficientes, sustentáveis e baseados em dados, além de abrir novas perspectivas para pesquisas e aplicações futuras na engenharia e gestão de infraestrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Transformação digital, automação de processos, modelagem da informação da construção na Indústria 4.0, construções inteligentes.

INTEGRATION OF BIM, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING IN CIVIL CONSTRUCTION: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: The integration of Building Information Modeling (BIM), Artificial Intelligence (AI), and Machine Learning (ML) represents one of the major technological transformations in civil engineering and transportation infrastructure over recent decades. BIM has revolutionized the sector by enabling the creation of intelligent digital models that integrate geometric, structural, temporal, and financial data throughout the entire lifecycle of a building or infrastructure asset. However, the rising complexity of projects and the sheer volume of data generated by BIM models have driven the need for advanced technologies in analysis, automation, and decision-making. In this context, AI emerges as a strategic tool to enhance BIM capabilities, enabling process automation, pattern recognition, and the optimization of planning, execution, and maintenance activities. Through intelligent algorithms, AI helps reduce errors, increase productivity, and improve risk management in civil construction and

infrastructure projects. Machine Learning, a subfield of AI, plays a fundamental role in this process by enabling systems to learn from vast amounts of data originating from BIM models and on-site sensors. Machine learning techniques have been applied to cost forecasting, automatic fault detection, structural health monitoring, schedule planning, and job site safety analysis. Furthermore, integrating these technologies supports the development of smart and sustainable buildings, aligned with the principles of Industry 4.0 and smart cities. Thus, combining BIM, AI, and Machine Learning drives significant modernization in the construction industry, fostering more efficient, sustainable, and data-driven processes, while opening new horizons for future research and applications in engineering and infrastructure management.

KEYWORDS: Digital transformation, process automation, building information modeling in Industry 4.0, smart buildings.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve uma transformação na engenharia com o avanço tecnológico e o aumento da capacidade computacional, tais fatores impactam na produtividade, interação e inovação. Na engenharia está crescente a digitalização, o acesso às informações e a interação dos diversos segmentos da engenharia em um mesmo projeto com o compartilhamento das informações e interação entre as disciplinas, produzindo projetos mais sustentáveis e com a sua gestão das informações consolidadas (Zhang et. al, 2022). O Building Information Modelling (BIM), Machine Learning (ML) e a Inteligência Artificial (IA) se destacam como tecnologias promotoras dessa inovação e interação. Souza e Fabrício (2021) afirmam que o BIM tem alterado a organização das atividades na Construção Civil, justamente por caracterizar-se por modelos tridimensionais paramétricos, estruturados em objetos inteligentes que armazenam grande quantidade de informações e atributos associados. Esses dados servem como base para aplicações de Inteligência Artificial, possibilitando processos de automação, previsão e aprendizado de máquina no setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). A integração dessas ferramentas tem contribuído para a otimização de processos e melhoria da eficiência e sustentabilidade na construção.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizada uma busca bibliográfica sistemática na base de dados Scopus para identificar estudos relacionados à integração entre BIM, Inteligência Artificial e Machine Learning, considerando publicações entre 2021 e 2026. Foram utilizadas palavras-chave específicas sobre o tema, incluindo apenas artigos revisados por pares, anais de conferências, livros e relatórios de pesquisa publicados em inglês e voltados à área da Engenharia. Fontes não revisadas por pares e estudos duplicados foram excluídos. A coleta de dados ocorreu entre abril e maio de 2026, resultando em 167 documentos, dos quais 59 foram publicados em 2025.

A análise de coocorrência mostra que o cluster vermelho concentra os temas centrais relacionados à Inteligência Artificial, Machine Learning, Deep Learning e BIM, evidenciando o foco das pesquisas em automação, algoritmos inteligentes e projeto arquitetônico. O termo “BIM” aparece como principal elemento integrador da rede. O cluster verde está associado à gestão da construção e transformação digital, incluindo tópicos como project management, construction industry, IoT e decision making, indicando a aplicação das tecnologias digitais no gerenciamento e na integração de processos construtivos. O cluster azul reúne os temas ligados à sustentabilidade e eficiência energética, como sustainable building, life cycle e energy efficiency, mostrando a preocupação crescente com desempenho ambiental e redução de impactos ao longo do ciclo de vida das edificações. Por fim, o cluster amarelo destaca os conceitos de Digital Twin e manutenção preditiva, relacionados ao monitoramento inteligente e à operação em tempo real de ativos, reforçando a evolução do BIM para sistemas digitais dinâmicos e conectados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados da aplicação da metodologia, contemplando estudos que mostram a integração entre BIM, IA e ML. Os artigos analisados demonstram que a convergência entre Inteligência Artificial (IA), Modelagem da Informação da Construção (BIM), Gêmeos Digitais (GD) e aprendizado de máquina vem transformando profundamente a engenharia civil e a infraestrutura de transportes. Em diferentes contextos como edifícios inteligentes, infraestrutura ferroviária, túneis, patrimônio histórico, construção modular e eficiência energética, observa-se um movimento comum de digitalização dos processos de projeto, monitoramento, manutenção e tomada de decisão. Essas tecnologias permitem a integração de grandes volumes de dados provenientes de sensores, modelos BIM, sistemas ERP e plataformas IoT, possibilitando análises preditivas mais precisas, automação de processos e otimização operacional em tempo real.

Os estudos relacionados aos Gêmeos Digitais destacam sua relevância como uma evolução natural do BIM, ampliando a representação digital estática para ambientes dinâmicos e interativos. A revisão sistemática sobre edifícios inteligentes demonstrou que os GDs podem reduzir significativamente o consumo energético, melhorar o conforto térmico e aumentar a confiabilidade operacional dos sistemas prediais. Da mesma forma, a pesquisa voltada à infraestrutura ferroviária evidenciou o potencial dos GDs na manutenção preditiva e no gerenciamento de ativos críticos, embora tenha apontado limitações importantes relacionadas à ausência de "Gêmeos Digitais Verdadeiros", capazes de atuar de forma bidirecional e autônoma. Em ambos os casos, a interoperabilidade via BIM e IFC surge como elemento central para garantir integração, escalabilidade e compartilhamento eficiente de informações.

Outro aspecto comum entre os trabalhos é a utilização crescente de técnicas avançadas de aprendizado de máquina e aprendizado profundo para resolver problemas complexos da construção civil. No caso da modelagem BIM de edifícios históricos, algoritmos como Random Forest e arquiteturas PointNet demonstraram elevado potencial para automatizar a classificação de nuvens de pontos e acelerar processos de modelagem digital em patrimônios arquitetônicos complexos. De maneira semelhante, o estudo sobre túneis integrou aprendizado de máquina, otimização robusta e BIM para prever danos induzidos pela escavação em condições geotécnicas incertas, enquanto o trabalho sobre construção modular utilizou modelos baseados em árvores de decisão, gradient boosting e algoritmos evolutivos multiobjetivo para equilibrar cronograma, custos e emissões de carbono. Esses resultados evidenciam que a IA não apenas automatiza tarefas, mas também amplia a capacidade analítica e estratégica dos projetistas e gestores.

A sustentabilidade aparece como eixo transversal em praticamente todos os estudos revisados. O artigo sobre o SolarisBIM.AI demonstrou como a integração entre BIM, Dynamo e redes neurais pode apoiar a previsão da produção fotovoltaica e contribuir para decisões energéticas mais eficientes ainda na fase inicial de projeto. Paralelamente, o estudo sobre Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) integrada à IA, BIM e modelos de linguagem mostrou que ferramentas inteligentes podem auxiliar arquitetos na redução da pegada de carbono das edificações. Além disso, o trabalho sobre construção modular reforçou a importância da descarbonização ao incorporar métricas de emissões de CO_2e em modelos de otimização multiobjetivo. Entretanto, apesar do avanço tecnológico, diversos estudos apontam a carência de indicadores ambientais quantitativos robustos e de validações longitudinais que comprovem os impactos sustentáveis em longo prazo.

De forma geral, os artigos convergem para a consolidação de um novo paradigma digital na engenharia civil, baseado em sistemas inteligentes, conectados, explicáveis e orientados por dados. A integração entre IA, BIM, GDs, IoT e aprendizado de máquina está permitindo o desenvolvimento de ambientes sociotécnicos mais eficientes, resilientes e sustentáveis, capazes de apoiar decisões em tempo real e reduzir riscos operacionais e ambientais. Contudo, os estudos também evidenciam desafios relevantes, como interoperabilidade limitada, governança ética, confiabilidade dos modelos, ausência

de padronizações e necessidade de maior transparência algorítmica. Assim, futuras pesquisas devem priorizar o desenvolvimento de sistemas mais autônomos, explicáveis e interoperáveis, capazes de integrar desempenho técnico, sustentabilidade ambiental e segurança operacional em todas as etapas do ciclo de vida das construções e infraestruturas.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a integração entre BIM, IA e ML representa uma das mais importantes transformações tecnológicas da engenharia civil e da infraestrutura contemporânea. Os estudos analisados demonstram que essas tecnologias vêm ampliando significativamente a capacidade de monitoramento, previsão, automação e otimização de processos em diferentes áreas, incluindo edifícios inteligentes, infraestrutura ferroviária, túneis, construção modular, patrimônio histórico e eficiência energética. A utilização de modelos preditivos, algoritmos de aprendizado profundo e sistemas digitais integrados possibilita tomadas de decisão mais rápidas, precisas e sustentáveis ao longo de todo o ciclo de vida das construções.

REFERÊNCIAS

Almahameed, B. A., Obeidat, A. M., Bisharah, M., Shraa, T., & Alkhadrawi, S. (2026). Multi-objective risk optimization for sustainable modular infrastructure using machine learning and metaheuristics. *Asian Journal of Civil Engineering*, *27*(4), 1533–1544. https://doi.org/10.1007/s42107-025-01574-7.

Alves, J. L., Almeida Filho, A. T. de, Bradaschia, F., & Palha, R. P. (2026). SolarisBIM.AI: Smart Sustainable Building Planning with BIM-Based Solar-Production Estimation Using Machine-Learning Radiation Forecasts. *Journal of Construction Engineering and Management*, *152*(6). https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-17897

Basunbul, A., Anwar, R., el Shafei, R., Baamer, A., Elkhateeb, S., & Abouhassan, M. (2026). Digital Twins for Thermal Comfort and Energy Efficiency in Buildings: A Systematic Review. *Buildings*, *16*(9), 1715. https://doi.org/10.3390/buildings16091715.

Lin, P., Zhang, L., & Tiong, R. L. K. (2023). Multi-objective robust optimization for enhanced safety in large-diameter tunnel construction with interactive and explainable AI. *Reliability Engineering & System Safety*, *234*, 109172. https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109172.

Moyano, J., Musicco, A., Nieto-Julián, J. E., & Domínguez-Morales, J. P. (2024). Geometric characterization and segmentation of historic buildings using classification algorithms and convolutional networks in HBIM. *Automation in Construction*, *167*, 105728. https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2024.105728.

Mutlu, U., & Kaewunruen, S. (2026). Digitalised Predictive Maintenance in Railways: A Systematic Review of AI, BIM, and Digital Twins. *Infrastructures*, *11*(3), 87. https://doi.org/10.3390/infrastructures11030087.

Płoszaj-Mazurek, M., & Ryńska, E. (2024). Artificial Intelligence and Digital Tools for Assisting Low-Carbon Architectural Design: Merging the Use of Machine Learning, Large Language Models, and Building Information Modeling for Life Cycle Assessment Tool Development. *Energies*, *17*(12), 2997. https://doi.org/10.3390/en17122997.

Souza, M. P. de.; Fabricio, M. M. Modelagem de objetos BIM para o projeto de edifícios de saúde. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 3., 2021, Uberlândia. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1-11. Disponível em:https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/593.

Zhang, F., Chan, A. P. C., Darko, A., Chen, Z., & Li, D. (2022). Integrated applications of building information modeling and artificial intelligence techniques in the AEC/FM industry. *Automation in Construction*, *139*, 104289. https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2022.104289