

# Revisão da literatura da integração BIM-IA na construção civil

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.3>

Rodrigo da Silva<sup>1</sup>, Michele Carvalho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Universidade de Brasília, Brasília, ID ORCID 1*

## Resumo

O Building Information Modelling (BIM) se tornou nos últimos anos um conjunto de processos com destaque no campo da construção civil, com diversas aplicações em todo o ciclo de vida das construções. Paralelamente, a inteligência artificial (IA) vem sendo aplicada em diversos campos do conhecimento, como a medicina, finanças e a engenharia. Nesse contexto, com o aumento de dados provenientes de construções e um maior número de modelos computacionais BIM sendo gerados a nível mundial, algumas pesquisas começaram a ser desenvolvidas integrando o BIM e a IA para a solução de diversos problemas da engenharia e da arquitetura. Nesse contexto, essa pesquisa fez um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), identificando como essas tecnologias vêm sendo aplicadas e quais soluções elas vêm apresentando para a construção civil. De forma geral, foi possível verificar um aumento da quantidade de pesquisas com a temática BIM-IA, sendo o principal uso no campo de sustentabilidade das construções e otimizações de projetos em geral, muitas vezes relacionados aos aspectos de redução de custos. Quanto aos algoritmos de IA mais utilizados, destacam-se as redes neurais artificiais e os algoritmos genéticos.

## 1. Introdução

O Building Information Modelling (BIM) pode ser entendido como uma simulação inteligente da arquitetura e engenharia, de forma que um modelo tridimensional de uma construção é produzido digitalmente com diversas informações do empreendimento, podendo ser utilizado durante todo o seu ciclo de vida, ou seja, do desenvolvimento do projeto até sua eventual demolição [1]. O BIM surgiu como um novo paradigma na construção civil, com utilidade para todos os stakeholders de um projeto.

O BIM vem sendo aplicado em diversas fases de um empreendimento, como o planejamento da construção, controle de custos, análises energéticas, gestão das instalações [2], segurança do trabalho [3] e lean construction [4]. Muitas dessas aplicações do BIM vem sendo comumente associadas às chamadas dimensões do BIM, sendo que as dimensões 3D (modelagem paramétrica), 4D (planejamento da construção), 5D (orçamento), 6D (análise energética) e 7D (gestão das instalações) já estão consolidadas nas pesquisas científicas e no vocabulário comumente utilizado para projetos BIM [5]. Apesar dessas dimensões representarem as maiores aplicações do BIM, tem-se que o mesmo também vem sendo adotado para o controle de patologias em edificações [6] e com o uso de nuvem de pontos para modelagem digital [7], entre diversos outros usos.

A Inteligência Artificial (IA), por sua vez, pode ser definida como uma simulação computacional da capacidade humana de raciocinar e resolver problemas [8]. Existem diversas técnicas de IA atualmente, com aplicações na medicina, finanças, negócios e também na construção civil. Existem diversos algoritmos de IA, cada um com sua aplicabilidade, entre elas classificações, regressões e otimizações. Alguns dos algoritmos mais comuns utilizados atualmente são as redes neurais artificiais, as SVM, as Florestas Aleatórias e os algoritmos genéticos.

A ideia de se utilizar o BIM e a IA em conjunto já fora proposta por [1], principalmente com o aumento do uso do BIM, de forma que haveria uma grande quantidade de modelos computacionais com informações, que poderiam então ser utilizadas por algoritmos de machine learning e deep learning [1].

Nesse contexto, é possível notar que vem crescendo a quantidade de pesquisas que utilizam o BIM juntamente com a IA. Nesse contexto, nota-se que essas pesquisas estão sendo aplicadas em diversos campos da construção civil, e diversas técnicas de IA vem sendo utilizadas com o BIM, seja inserindo dados provenientes do algoritmo nos modelos, seja extraindo os dados do modelo para análises computacionais.

Do exposto, pode-se perceber que o BIM já está sendo constantemente aplicado com a IA para a solução de diversos problemas da engenharia. Entretanto, ainda não há um mapeamento de quais são os problemas da construção civil em que essas técnicas são mais aplicadas e quais os algoritmos de IA são mais aplicáveis em um contexto de Modelagem de Informação da Construção. Nesse contexto, uma análise

dos artigos produzidos nessa temática dos últimos anos se mostra de fundamental importância para se compreender o Estado-da-arte da aplicabilidade do BIM-IA.

## 2. Objetivos

O objetivo desse artigo é realizar um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), identificando os artigos científicos que foram produzidos desde 2015 em que o BIM e a IA foram utilizados conjuntamente para criar novas soluções no campo da arquitetura, engenharia e construção civil. Quando da realização desse MSL, pretende-se avaliar se a quantidade de artigos que trabalham essa temática vem aumentando ou decrescendo no período, de forma que se possa entender se, de fato, essas metodologias e técnicas vem sendo mais exploradas com o passar do tempo ou se somente podem ser aplicadas em contextos e pesquisas específicas.

Esse artigo também visa classificar os artigos por tipo de técnica de IA utilizada e por campo da construção civil. Dessa forma, pretende-se verificar quais técnicas de inteligência artificial são mais utilizadas em quais campos da engenharia civil e se há predominância de alguma técnica de IA utilizada com o BIM em algum campo específico. Além disso, pretende-se identificar quais são as lacunas do conhecimento, seja algum algoritmo de IA ainda pouco utilizado com o BIM ou algum campo da construção civil que ainda não está se beneficiando plenamente da integração entre essas tecnologias.

## 3. Metodologia

A base Scopus será utilizada para se encontrar os artigos científicos relevantes para essa pesquisa, uma vez que essa base permite que as pesquisas sejam filtradas por ano de publicação e temática.

As buscas serão efetuadas utilizando-se o termo “Building Information Model\*” em conjunto com os termos referentes a cada algoritmo de inteligência artificial. O uso da expressão “Building Information Model\*”, se deve ao fato de assim a pesquisa retornar resultados em que foi utilizado tanto o termo “Building Information Model” como “Building Information Modelling”. No desenvolvimento desse artigo, foram mapeados os principais algoritmos:

- Redes Neurais Artificiais (Artificial Neural Networks)
- Redes Neurais Convolucionais (Convolucional Neural Networks)
- Supporting Vector Machines (SVM)
- Bayesian Networks
- Florestas Aleatórias (Random Forest)
- Lógica Fuzzy (Fuzzy Logic)
- Algoritmos Genéticos (Genetic Algorithms)
- Aprendizagem por Reforço (Reinforcement Learning)
- Método de Monte Carlo (Monte Carlo Method)
- Natural Language Processing (NLP)

Dessa forma, serão feitas diversas buscas na base de dados, cada uma com um conjunto de palavras diferentes. Quando se desejar buscar artigos que utilizaram o BIM com redes neurais, por exemplo, será inserida a seguinte expressão no buscador: “Building Information Model\*” AND “Neural Networks”.

**Tabela 1**

Termos de busca na base de dados.

Termo de busca na plataforma Scopus	
	Artificial Neural Networks
	Convolucional Neural Networks
	Supporting Vector Machines
	Bayesian Networks
	Random Forest
	Fuzzy Logic
	Genetic Algorithms
	Reinforcement Learning
	Monte Carlo Method
	Natural Language Processing
“Building Information Model*”	AND

Após essa busca inicial pelos textos científicos, será feita uma leitura flutuante pelo resumo de cada um dos artigos, de forma que se possa retirar desta pesquisa os artigos em que apenas se citou os termos buscados na pesquisa e não houve uma efetiva implementação da metodologia BIM com algum algoritmo de inteligência artificial.

Posteriormente, de posse somente dos artigos que foram selecionados, pretende-se separar os mesmos por ano de publicação, de forma que se possa verificar uma tendência nas pesquisas sobre BIM-IA, avaliando-se se o interesse e as pesquisas sobre essa temática estão crescendo ou diminuindo.

Posteriormente, será feita uma classificação dos artigos conforme o algoritmo de IA que fora utilizado junto com o BIM na pesquisa e qual o campo da construção civil em que a solução BIM-IA foi implementada. O objetivo dessa segregação é identificar se há alguma relação entre os algoritmos de IA existentes e os campos da construção civil. Os campos da construção civil serão identificados conforme o mapeamento for sendo realizado, de forma que haja um maior detalhamento das pesquisas que foram realizadas e não haja a necessidade de se classificar uma pesquisa em um conjunto de áreas pré-definidas.

Os artigos encontrados que não puderem ser classificados em nenhuma categoria específica ou que a aplicação naquele campo ocorra muito poucas vezes com relação à quantidade de artigos serão classificados na categoria “Outros”, consistindo em um conjunto de artigos em que o BIM foi aplicado com alguma técnica de IA, mas para a solução de um problema muito específico da construção civil.

Para facilitar a análise desses artigos, será utilizada uma ferramenta do Business Intelligence, o Power BI, o qual, por meio de dashboards interativos e dinâmicos, permite que se filtre todos os gráficos criados por técnicas de IA e campo da construção civil, facilitando a visualização e identificação dos relacionamentos entre os campos e técnicas.

## 4. Resultados

A pesquisa realizada identificou um total de 97 artigos publicados de janeiro de 2015 até junho de 2021 em que o Building Information Modelling foi utilizado em conjunto com diferentes técnicas de inteligência artificial. Esses artigos foram obtidos a partir de periódicos e congressos científicos. Ao se separar a quantidade de artigos científicos por ano de publicação, obteve-se a Tabela 2, que foi esquematizada em forma de gráfico na Figura 1.

Ano	Quantidade de Artigos
2015	4
2016	7
2017	10
2018	12
2019	26
2020	21
2021	17

**Tabela 2**  
Artigos por ano de publicação.



**Figura 1**  
Artigos por ano de publicação.

Pela análise da tabela e do gráfico, pode-se notar que o número de pesquisas BIM-IA vem aumentando nos últimos anos, com franca expansão a partir do ano de

2019, em que o número de artigos publicados mais que dobrou com relação ao ano anterior. Existem diversos fatores que podem justificar esse aumento do número de pesquisas nessa área, entre as quais um maior uso do BIM e da IA em escala mundial, maior processamento dos computadores utilizados em pesquisas, o que facilita o uso de alguns algoritmos de IA, maior quantidade de projetos BIM para uso de suas informações em algoritmos de aprendizagem de máquina, maior quantidade de dados coletados de construções e a utilização de pesquisas iniciais sobre o tema que fomentam a continuidade de pesquisas posteriores. Esses motivos, além de outros, em conjunto, podem ser o fundamento para o maior interesse de pesquisadores nessa temática e indicam que esse assunto ainda será bastante explorado nos próximos anos. Além disso, tem-se que até junho de 2021, foram publicados 17 artigos sobre a integração BIM-IA, de forma que é possível inferir que, ao final do ano de 2021, a quantidade de artigos publicados será superior a do ano de 2019, o que ratifica o interesse atual no tema e o aumento no número de pesquisas.

Os artigos também foram classificados por técnica de IA empregada e por campo de aplicação na construção civil, identificando-se a quantidade de artigos em tabelas e gráficos. Pesquisas em que foram produzidos resultados em mais de um campo da construção civil ou utilizaram mais de uma técnica de IA foram contadas mais de uma vez, uma vez que não há obrigatoriedade de uma pesquisa ser aplicada somente em um campo ou utilizar somente uma técnica, sendo relevante para esse estudo identificar todas as correlações.

Conforme o estudo foi sendo conduzido, os artigos foram sendo classificados pela área de aplicação do algoritmo de IA na construção civil, de forma dinâmica, ou seja, as áreas foram definidas conforme a leitura dos artigos fosse realizada. A classificação das áreas de aplicação puderam ser definidas pelo tema geral abordado no texto científico, bem como nas palavras-chave presentes em cada um dos artigos. Dessa forma, tem-se que os seguintes campos de aplicação foram mapeados:

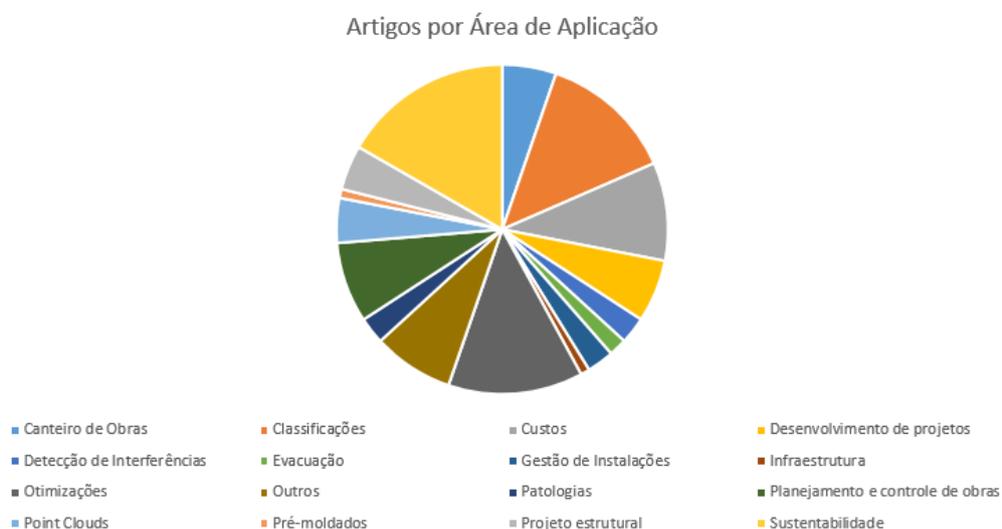
- Canteiro de obras
- Classificações
- Custos
- Desenvolvimento de projetos
- Detecção de Interferências
- Evacuação
- Gestão de Instalações
- Infraestrutura
- Otimizações
- Patologias
- Planejamento e controle de obras
- Point Clouds
- Pré-moldados
- Projeto estrutural
- Sustentabilidade

Nesse contexto, é importante destacar que os campos foram definidos de forma ampla. A categoria “custos”, por exemplo, envolve tanto a parte de orçamentação de obras como os custos envolvidos ao longo do ciclo de vida de um projeto. Outro exemplo é o campo de “sustentabilidade”, o qual envolve tanto análises com relação ao consumo energético de uma edificação e como ao conforto térmico em cada ambiente.

A Tabela 3, abaixo, mostra a quantidade de artigos BIM-IA discriminados pelas áreas da construção civil identificadas. Esses dados foram esquematizados no gráfico da Figura 2.

Área	Artigos
Canteiro de Obras	6
Classificações	15
Custos	11
Desenvolvimento de projetos	7
Detecção de Interferências	3
Evacuação	2
Gestão de Instalações	3
Infraestrutura	1
Otimizações	15
Outros	9
Patologias	3
Planejamento e controle de obras	9
Point Clouds	5
Pré-moldados	1
Projeto estrutural	5
Sustentabilidade	19

**Tabela 3**  
Artigos por área de aplicação.



**Figura 2**  
Artigos por área de aplicação.

A Tabela 3 e a Figura 2 mostram de forma clara que o uso do BIM com a Inteligência Artificial tem sido utilizado de forma ampla em quatro problemas da construção civil: sustentabilidade, otimizações, problemas de classificações e custos. O maior destaque é o campo de sustentabilidade das edificações, um tema que foi abordado em um total de 19 pesquisas. O tema de sustentabilidade também é muito relacionado com o campo de custos, pois muitas vezes relaciona-se os custos ao longo do ciclo de vida de uma edificação quando se compara uma construção comum com uma que utiliza materiais ou técnicas sustentáveis, como por exemplo a pesquisa de [9].

De forma geral também é possível se verificar que a integração BIM-IA também é bastante utilizada para otimizações de projetos, ou seja, os pesquisadores se aproveitam das vantagens do ambiente BIM e utilizam algoritmos genéticos ou outras técnicas de IA para melhorar os projetos que estão em desenvolvimento, como por exemplo na área de análise energética, como na pesquisa de [10]. Classificações também foram aplicações comuns de pesquisas BIM-IA, o que pode ser justificado pelo fato de que muitos algoritmos de aprendizado de máquina, como SVM [11] e Florestas Aleatórias [12], podem ser utilizadas com esse intuito.

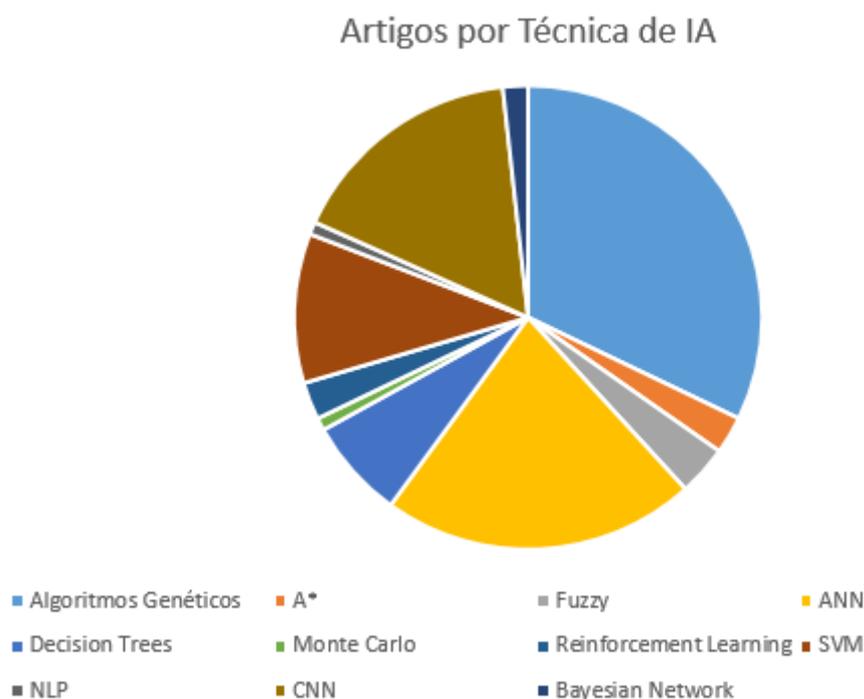
Entre as pesquisas que utilizaram o BIM-IA para classificação, deve-se notar as que utilizaram algoritmos de IA para classificar elementos de IFC dentro do modelo BIM, como por exemplo as pesquisas de [13] e [14]. Esse tipo de estudo visa promover uma maior interoperabilidade entre softwares, algo essencial no contexto BIM, uma vez que, quando da transferência de um modelo para outro software semelhante, ocorre normalmente classificações erradas de elementos do modelo BIM.

Os artigos também foram classificados quanto à técnica de IA que foi utilizada nas pesquisas, conforme mostrado na Tabela 3 e na Figura 3, sendo as técnicas a serem pesquisadas definidas previamente. Os algoritmos que mais se destacaram foram os algoritmos genéticos, com um total de 37 aplicações em pesquisas, e as redes neurais artificiais (ANN) e convolucionais (CNN), com um total de 25 e 19 pesquisas respectivamente. Se for considerado que as CNN e as ANN são técnicas de aprendizado profundo (deep learning), tem-se que essa técnica foi utilizada em um total de 44 pesquisas, sendo a técnica de IA mais utilizada. Os algoritmos SVM também são utilizados juntamente com o BIM de forma recorrente em pesquisas, mas não são tão utilizados como as redes neurais e os algoritmos genéticos.

**Tabela 4**  
Artigos por técnica de IA.

Técnica de IA	Artigos
Algoritmos Genéticos	37
A*	3
Fuzzy	4
ANN	25
Decision Trees	8
Monte Carlo	1

Reinforcement Learning	3
SVM	12
NLP	1
CNN	19
Bayesian Network	2



**Figura 3**  
Artigos por técnica de IA.

De forma geral, pode-se concluir que não há nenhuma técnica de IA ou campo de aplicação BIM-IA específico em crescimento quanto ao número de artigos ao longo dos anos, apenas se podendo verificar que há um crescimento geral dessa integração em pesquisas científicas. Também não se pode concluir que, em um ano respectivo, foram conduzidas pesquisas que utilizaram mais uma técnica específica de IA ou uma área específica da engenharia civil foi mais estudada.

## 5. Conclusões

A partir do Mapeamento Sistemático da Literatura elaborado, foi possível concluir que o BIM e a Inteligência Artificial estão sendo cada vez mais utilizados nos diversos campos da construção civil, sendo um campo de pesquisa em franca expansão. Também foi possível se verificar que as técnicas de IA mais utilizadas juntamente com o BIM são as redes neurais, os algoritmos genéticos e o SVM. Por sua vez, tem-se que os principais campos de aplicação dessas técnicas em conjunto são a sustentabilidade de projetos, o que muitas vezes vem relacionada com estudos sobre os custos dos mesmos, otimizações de projetos e problemas de classificações.

Os algoritmos genéticos são utilizados principalmente para se solucionar problemas de sustentabilidade das construções, otimizações de projetos, planejamento e controle de obras e logística do canteiro. As redes neurais artificiais, por sua vez, são amplamente utilizadas para solucionar problemas de sustentabilidade das construções e problemas de classificações.

Ao mesmo tempo em que foi possível se mapear as principais técnicas de IA utilizadas com o BIM, também foi possível mapear as que ainda são pouco utilizadas com essa metodologia. Monte Carlo, Aprendizagem Bayesiana e aprendizagem por reforço são técnicas que, em conjunto, foram utilizadas somente em 6 pesquisas. Algumas possíveis explicações para essa pequena quantidade de artigos produzidos pode ser que a interoperabilidade de dados no processo BIM pode ainda não estar em um estado ótimo para o uso desses algoritmos. Outra explicação pode ser o fato de que alguns algoritmos, como por exemplo a aprendizagem Bayesiana, são algoritmos de classificação que geralmente são superados por técnicas mais robustas, como as redes neurais e o SVM. Dessa forma, ao se selecionar um algoritmo para se resolver um problema de classificação, essa técnica é normalmente não utilizada, independentemente de se tratar de uma pesquisa aplicada com a metodologia BIM.

## Referências

- [1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken, N. J.: Wiley, 2008.
- [2] P. Teicholz, Bim for Facility Managers. IFMA, IFMA Foundation, 2013.
- [3] Kamardeen, I, 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. In: Egbu, C. (Ed) Procs 26th Annual ARCOM Conference, 6-8 September 2010, Leeds, UK, Association of Researchers in Construction Management, 281-289, 2010.
- [4] B. Dave, L. Koskela, A. Kiviniemi, P. Tzortzopoulos. Implementing lean in construction: Lean Construction and BIM. Construction Industry Research and Information Association, United Kingdom, 2013.
- [5] Koutamanis, A. Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions? Automation in Construction, Volume 114, 2020.
- [6] Bernardello, R. A., Borin, P., Panarotto F., Giordano, A., Valluzzi, M. R. Brick and Block Masonry – From Historical to Sustainable Mansory. CRC Press, 2020.
- [7] Thomson, C., Boehm, J. Automatic Geometry Generation from Point Clouds for BIM. Remote Sens, 2015.
- [8] Rich, E., Knight, K. Inteligência Artificial 2ª Edição. McGraw-Hill, 1994.

- [9] Marzouk, M., Azab, S., Metawie, M. BIM-based approach for optimizing life cycle costs of sustainable buildings. *Journal of Cleaner Production*, 2018.
- [10] Ma, G., Liu, Y., Shang, S. A Building Information Model (BIM) and Artificial Neural Network (ANN) Based System for Personal Thermal Comfort Evaluation and Energy Efficient Design of Interior Space. *Sustainability*, 2019.
- [11] Jung, N., Lee, G. Automated classification of building information modeling (BIM) case studies by BIM use based on natural language processing (NLP) and unsupervised learning. *Advanced Engineering Informatics*, 2019.
- [12] Bassier, M., Van Genechten, B., Vergauwen, M. Classification of sensor independent point cloud data of building objects using random forests. *Journal of Building Engineering*, 2019.
- [13] Koo, B., Shin, B. Applying novelty detection to identify model element to IFC class misclassifications on architectural and infrastructure Building Information Models. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2018.
- [14] Koo, B., Shin, B., Krijnen, T.F. Employing outlier and novelty detection for checking the integrity of BIM to IFC entity associations. *34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 2017.