Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

[1]INVESTIGANDO TENDÊNCIAS EM GREEN BIM: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Investigating trends in Green BIM: a bibliometric analysis

Fernanda Catarina Ribeiro da Luz
Universidade Federal de Pernambuco | Recife, Pernambuco | fernanda.rluz@ufpe.br

Sofía Pieroni
Universidad Nacional de Rosario | Rosario, Santa Fé | sofiapieroni097@gmail.com

Maria Alice de Sá Gadelha
Universidade Federal de Pernambuco | Recife, Pernambuco | alice.gadelha@ufpe.br

Rachel Perez Palha
Universidade Federal de Pernambuco | Recife, Pernambuco | rachel.palha@ufpe.br

RESUMO

A indústria da construção civil tem um impacto significativo nas emissões de gases do efeito estufa e no uso de energia. No entanto, tecnologias como o Green BIM surgem para otimizar recursos, reduzir a poluição, promover a sustentabilidade e melhorar a saúde humana. O objetivo deste artigo é investigar as tendências de pesquisa e implementação do Green BIM por meio de análise bibliométrica da literatura relacionada ao tema, a fim de contextualizar os desafios e benefícios associados a essa tecnologia. Por meio da pesquisa de artigos disponíveis nas bases de dados Scopus e Web of Science, foram examinadas as vertentes dos estudos realizados, avaliando como o BIM pode ser aplicado na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Além disso, os softwares VOSviewer e Rstudio foram utilizados para obter dados importantes sobre a literatura relacionada ao Building Information Modeling e sustentabilidade. A análise cientométrica realizada revelou a crescente produção de trabalhos acadêmicos relacionados ao tema, refletindo o aumento no interesse em soluções sustentáveis.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Construção Sustentável. Modelagem de Informação da Construção. Análise da Literatura.

ABSTRACT

The civil construction industry has a significant impact on greenhouse gas emissions and energy consumption. However, technologies such as Green BIM emerge to optimize resources, reduce pollution, promote sustainability, and improve human health. The aim of this article is to investigate trends in research and implementation of Green BIM through a bibliometric analysis of literature related to the topic, in order to contextualize the challenges and benefits associated with this technology. Through the search for articles available in Scopus and Web of Science databases, the strands of studies were examined, evaluating how BIM can be applied in the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry. In addition, the VOSviewer and Rstudio software were used to obtain important data on literature related to Building Information Modeling and sustainability. The scientometric analysis carried out revealed the growing production of academic papers related to the subject, reflecting the increase in interest in sustainable solutions.

Keywords: Sustainability. Sustainable Construction. Building Information Modeling. Literatura Analysis.

1 INTRODUÇÃO

Acredita-se que o aumento dos gases de efeito estufa, especialmente o CO2, esteja relacionado à proporção das mudanças climáticas e do aquecimento global. O setor da construção é uma das principais fontes de emissões de CO2 para a atmosfera devido ao uso de fontes de energia não limpas. Para reduzir o impacto ambiental dos edifícios ao longo do tempo, é essencial adotar fontes de energia renováveis e reduzir o consumo total de energia (MIN et al., 2022).

A Modelagem da Informação para Construção (BIM) permite a integração do usuário no planejamento do projeto a ser executado, proporcionando uma ferramenta eficaz para o controle de fatores de sustentabilidade, como a eficiência energética, o uso eficiente da água e da luz, e a análise da emissão de carbono associada às obras, entre outros (MULLER et al., 2019). O conceito de Green BIM tem se destacado na construção de cidades com baixo teor de carbono em reação à degradação ambiental (KIM, 2018). De acordo com Krygiel e

[1]LUZ, F. C. R., PIERONI, S., GADELHA, M. A. S., PALHA, S. R. Investigando tendências em Green BIM: uma análise bibliométrica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 4., 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

Nies (2008), Green BIM é um conceito que abrange um projeto sustentável baseado em BIM e práticas de construção verde para atingir objetivos sustentáveis em um projeto.

Desse modo, é possível afirmar que o BIM apresenta uma relação complementar com a sustentabilidade, contribuindo significativamente para a construção de edifícios mais sustentáveis desde a etapa de projeto. Considerando a relevância do tema em questão, o presente estudo adota uma abordagem metodológica que associa a revisão da literatura e a análise cientométrica. O objetivo é fornecer uma análise abrangente da evolução e síntese das pesquisas que abordam o uso do BIM para fins sustentáveis, publicadas nas bases de dados Scopus e Web of Science. Busca-se, assim, identificar os tópicos de pesquisa mais atuais, bem como as lacunas do conhecimento, com o intuito de auxiliar na estruturação do conhecimento produzido nessa área.

2 METODOLOGIA

Este artigo representa uma revisão bibliométrica do tema Green BIM. O estudo foi estruturado em três fases: uma fase quantitativa, uma etapa de meta-análise na qual os artigos foram selecionados e analisados com o suporte dos softwares VOSviewer e Rstudio, e uma fase qualitativa na qual o material selecionado foi discutido em diferentes escopos de estudo no Green BIM. Para garantir uma análise detalhada, a pesquisa foi baseada na metodologia Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA), uma diretriz desenvolvida para aprimorar a transparência de revisões sistemáticas e meta-análises (PAGE; MOHER, 2017).

2.1 Método quantitativo

Com o intuito de fornecer suporte a esta investigação, foram selecionados artigos das bases de dados Scopus e Web of Science, abrangendo o período de 2005 a 2022. O processo de extração dos artigos foi conduzido com base em palavras-chave associadas ao tema em questão, conforme detalhado no Quadro 1. Essa abordagem auxiliou na identificação dos estudos mais relevantes e na compilação de um acervo consistente e abrangente de informações sobre o Green BIM.

Quadro 1: Palavras-chave utilizadas para busca na literatura na base de dados

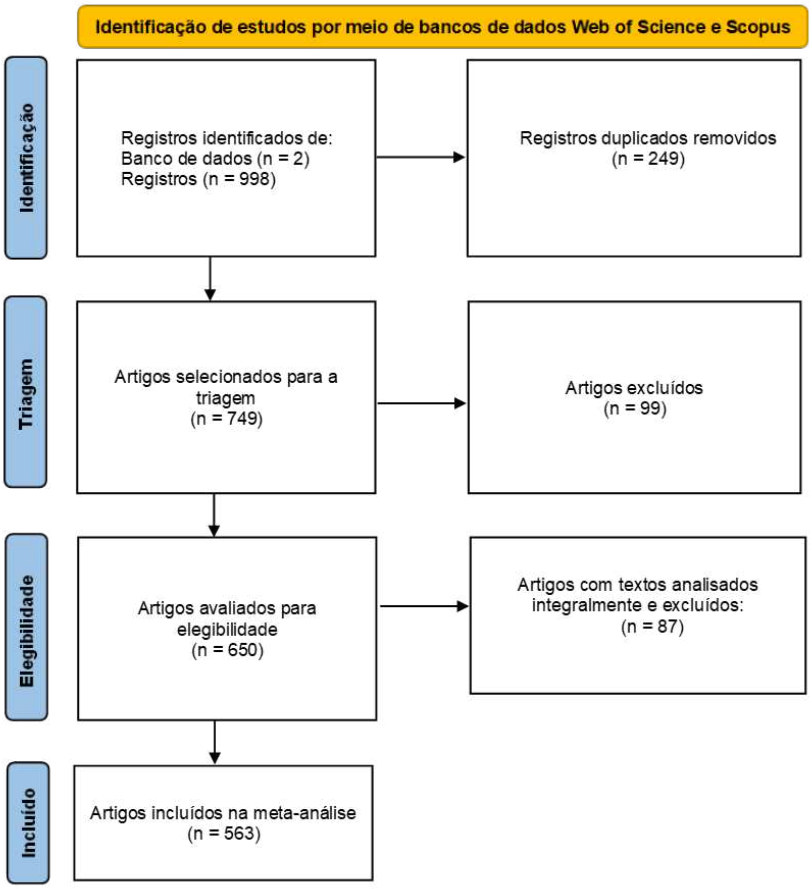
GRUPO	A	B
Palavras-chave	BIM; Building Information Modeling; Building Information Modelling	Green Design; Green Buildings; Sustainable Design

Fonte: os autores.

As palavras-chave que compõem o “Grupo A” são variações da expressão “Building Information Modeling”. Este grupo foi uma matriz para a busca nas bases de dados, isto é, foram as palavras-chave invariáveis no estudo. Por outro lado, o “Grupo B” consiste nas palavras que foram combinadas com o “Grupo A” para extrair os artigos das bases de dados Scopus e Web of Science. Foram encontrados 1.029 artigos. Visando organizar o framework extraído das bases, foi adotado o método PRISMA. Este método – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analysis – é focado principalmente na eficácia (ZORZELA et al., 2016).

A pesquisa nas bases de dados foi conduzida em quatro etapas, seguindo o método PRISMA: (1) Identificação; (2) Triagem; (3) Elegibilidade; e (4) Inclusão. Na primeira fase, foram inseridas as palavras-chave em ambas as bases de dados, e os artigos identificados foram extraídos para a fase de seleção. Em seguida, 261 artigos duplicados foram removidos. Na fase de triagem, realizou-se a seleção dos artigos por meio da análise dos títulos e a exclusão daqueles que não se relacionavam com a temática Green BIM. Na terceira fase (elegibilidade), procedeu-se à leitura dos títulos e resumos para a eliminação dos artigos que não atendiam aos critérios de inclusão. Por fim, 563 artigos foram incluídos para análise. O escopo desta fase é apresentado na Figura 1.

Figura 1: Metodologia PRISMA para seleção de artigos



Fonte: os autores.

2.2 Meta-análise

A meta-análise consistiu na análise de 582 artigos através de planilhas que continham informações como título da fonte, ano de publicação, autores, títulos e resumos. Para organizar a literatura sobre Green BIM, foram criados cinco grupos: "Planejamento", que abrange artigos sobre os impactos econômicos do BIM, bem como a adoção do BIM para tomada de decisão e discussões sobre o planejamento da entrega de projetos; "Energia", que contém artigos sobre a eficiência energética e a economia de energia com base no potencial do Green BIM; "Construção", que aborda estudos de caso, a fase de execução do projeto, bem como a melhoria do processo construtivo e da produtividade do projeto; "Operação/Implementação", que descreve os processos e dificuldades para a implementação e adoção do Building Information Modeling no setor de AEC, além de destacar a integração do BIM com outras ferramentas; e "Material", que discorre sobre a gestão de resíduos na construção civil com base no BIM, a adoção de materiais ecológicos e pré-fabricados com o uso do Building Information Modeling.

Para garantir uma análise mais minuciosa da literatura, utilizou-se os softwares VOSviewer (versão 1.6.18) e Rstudio (versão 4.2.1). O VOSviewer pode projetar mapas e gráficos de autores ou periódicos com base em dados de cocitação, bem como construir mapas e gráficos de palavras-chave com base em dados de coocorrência, oferecendo mapas bibliométricos mais detalhados (VAN ECK; WALTMAN, 2010). No uso do Rstudio, empregou-se o pacote Bibliometrix, desenvolvido por Massimo Aria e Corrado Cuccurullo, que possui o utilitário Biblioshiny, uma interface gráfica para não programadores que é utilizada para produzir gráficos e mapas bibliométricos (GULERIA; KAUR, 2021).

2.3 Método qualitativo

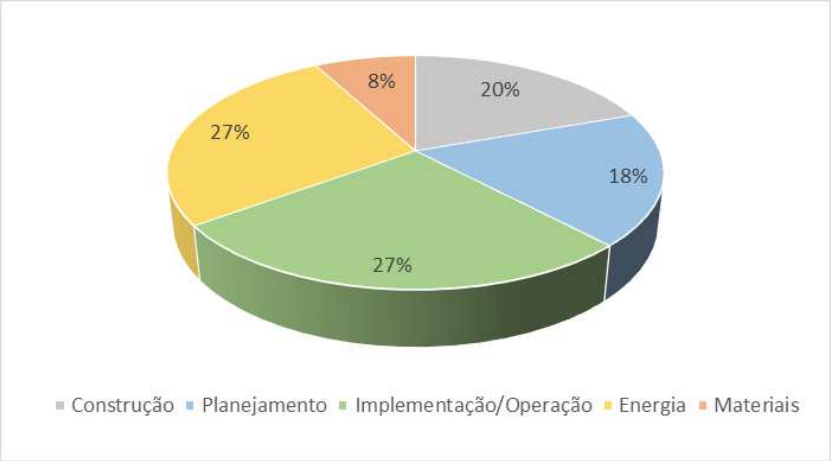
Na metodologia mista, para melhor compreender um novo fenômeno e mensurar seus impactos, causas e efeitos, recomenda-se uma etapa qualitativa (PLUYE; HONG, 2014). Assim, a fim de melhorar a revisão da literatura, foram adotadas análises qualitativas para discutir questões sobre os tópicos existentes do Green BIM. Duas análises diferentes foram feitas. Na primeira, o material foi explorado e investigado sob a ótica do

Green BIM. Os resultados do conteúdo explorado foram incluídos na revisão, a fim de detalhar a literatura referente à sinergia entre sustentabilidade e Building Information Modeling. Por fim, uma análise foi baseada na investigação detalhada dos mapas e gráficos criados pelos softwares VOSviewer e Rstudio.

3 ANÁLISE DA LITERATURA

A partir da recorrência de temas presentes nos artigos científicos analisados, foram estabelecidos cinco grupos criados com intuito de categorização dos trabalhos científicos para investigação da literatura vigente. Os grupos estabelecidos foram: planejamento, energia, construção, operação/implementação e materiais. A Figura 2 apresenta o gráfico de distribuição dos 563 artigos analisados nessa pesquisa. Os tópicos seguintes mencionam as produções científicas de cada categoria na ordem dos mais recorrentes.

Figura 2: Distribuição dos artigos por categorias



Fonte: os autores.

Após análise, verificou-se que as categorias com o maior número de artigos publicados são: energia e implementação/operação. No que diz respeito ao tema sobre energia, há uma variedade de trabalhos acadêmicos que discutem o uso do BIM para análise energética. Em um estudo exploratório realizado por Azhar e Brown (2009), que empregaram questionários online para avaliar empresas especializadas em BIM, foi concluído que o Building Information Modeling é frequentemente utilizado para análise de energia, iluminação solar, orientação do edifício, localização, uso da água, entre outros aspectos. Em um estudo mais recente, Singh e Sadhu (2019) realizaram análises energéticas visando a avaliação da sustentabilidade. Com o uso de um modelo virtual em BIM e lógica fuzzy, foi realizada a avaliação de energia multicomponente de uma casa na fase de projeto conceitual, com o objetivo de otimizar o consumo de energia.

A implementação do BIM ainda apresenta desafios em muitas empresas. O estudo realizado por Oduyemi, Okoroh e Fajana (2017) aborda essas dificuldades, entre as quais se destacam a falta de interoperabilidade, o custo de treinamento e o custo de software. Entretanto, os autores constaram que o BIM fornece informações necessárias para o desempenho ambiental. Com relação à operação do BIM, Jalaei e Jrade (2015) desenvolveram plug-ins que vinculam o modelo BIM a um banco de dados externo que armazena materiais sustentáveis. Utilizando o Building Information Modeling, os autores foram capazes de quantificar pontos de certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e os custos de certificação e materiais verdes na concepção de edifícios sustentáveis.

O Building Information Modeling pode desempenhar um papel importante na fase de planejamento, auxiliando na escolha de localidades que favoreçam a construção sustentável, facilitando a tomada de decisões e possibilitando a criação de edifícios com maior eficiência energética e menor emissão de carbono. Li e colaboradores (2019) apresentaram um método que integra o BIM e a API (Interface de Programação de Aplicativos de Serviços Web) para avaliar essas possíveis localidades. Além de ajudar na tomada de decisão, o BIM também pode ser utilizado para realizar análises complexas de desempenho de edifícios, gerando a documentação necessária para a certificação LEED, o que economiza tempo e recursos (AZHAR; BROWN; SATTINENI, 2010).

Apesar da prática sustentável ser importante nas empresas, o uso do Building Information Modeling (BIM) ainda não é considerado uma aplicação primária. É esperado que, à medida que os profissionais da construção compreendam os benefícios oferecidos pelo BIM, essa metodologia se torne uma ferramenta essencial para projetos e construções sustentáveis (BYNUM; ISSA; OLBINA, 2013). Abhinaya, Prasath e Krishnaraj (2017) demonstraram que o BIM pode ser usado para transformar edifícios convencionais em edifícios verdes. A metodologia utilizada envolve a criação de um modelo BIM 3D para avaliar o desempenho energético utilizando o software Revit. A partir da análise, são identificadas oportunidades para a melhoria do processo construtivo e da produtividade do projeto.

A emissão de carbono incorporado é um problema crítico na construção civil, sendo que materiais como concreto, tijolos, aço, telhas cerâmicas e tintas são responsáveis por 90% das emissões (BOUHMOUD; LOUDYI; AZHAR, 2022). É crucial reduzir o impacto ambiental desses materiais para a construção de edifícios sustentáveis. Abouhamad e Abu-Hamd (2021) explicam que o carbono incorporado, ou energia incorporada, é a "quantidade total de energia necessária para produzir, transportar e instalar os materiais de construção". Com o auxílio do BIM, os autores desenvolveram um framework para avaliar os impactos ambientais incorporados nos sistemas de construção de edifícios ao longo de seu ciclo de vida, por meio da quantificação da porcentagem de carbono incorporado de diversos materiais. Percebe-se através dessas pesquisas o grande potencial que o BIM tem para contribuir na redução do impacto ambiental dos materiais de construção, facilitar a seleção de materiais e componentes sustentáveis, e realizar análises energéticas e ambientais.

4 ANÁLISE CIENTOMÉTRICA

Após a utilização da metodologia PRISMA, foram selecionados trabalhos científicos que foram inseridos no software Rstudio e VOSviewer para análise. Os artigos selecionados datam do período de 2005 a 2022. O conjunto de dados contém 563 documentos de 309 fontes diferentes. O conjunto de dados possui 16.557 referências e 1.229 autores, dos quais 75 são de autoria única. A Tabela 1 apresenta uma descrição detalhada e resumida dessas informações.

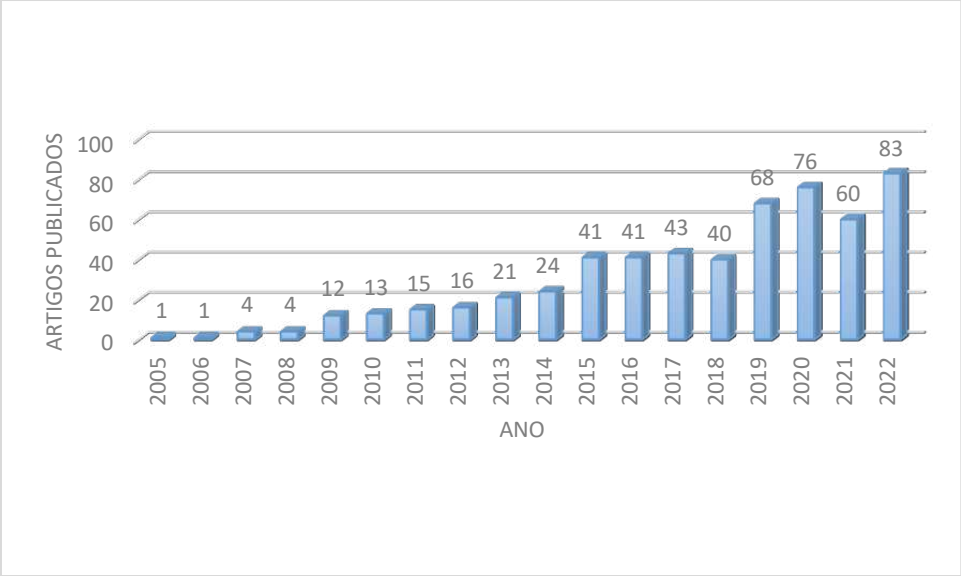
Tabela 1: Informações sobre os dados

Descrição	Resultados
Período de tempo	2005-2022
Fontes (periódicos, livros, etc)	309
Documentos	563
Referências	16557
Autores	1229
Autores de documentos de autoria única	75

Fonte: Bibliometrix.

A Figura 3 apresenta, de forma cronológica, o número de artigos publicados entre 2005 e 2022, totalizando 563 artigos científicos. A análise do gráfico permite constatar que o aumento da produção científica sobre o Green BIM tem se mantido constante até o ano de 2020, quando se observa uma baixa de publicações, supostamente devido ao período pandêmico do Coronavírus. Após esse período, em 2022, houve um pico de publicações com o quantitativo de 83 publicações. Esse fato indica um crescente interesse na área de estudo na última década.

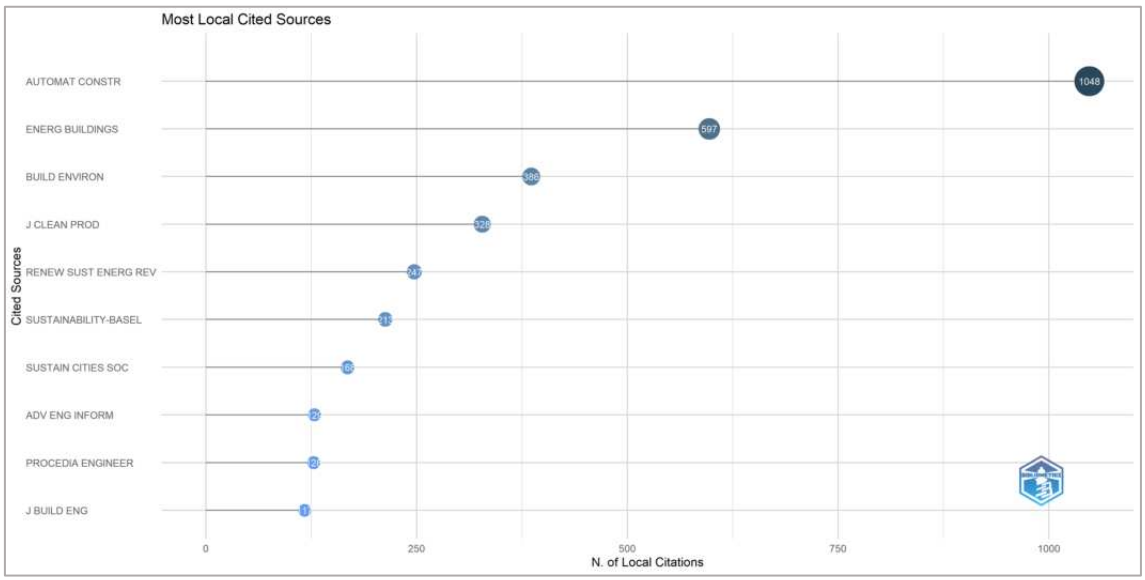
Figura 3: Distribuição temporal dos artigos publicados



Fonte: os autores.

A Figura 4 apresenta as fontes mais relevantes, dando destaque a Automation in Construction com 1.048 citações, seguido pela Energy and Buildings com 597 citações e da Building and Environment com 386. Das dez fontes analisadas, as que possuem menos citações são a Procedia Engineering e a Journal of Building Engineering com 128 e 117 citações, respectivamente.

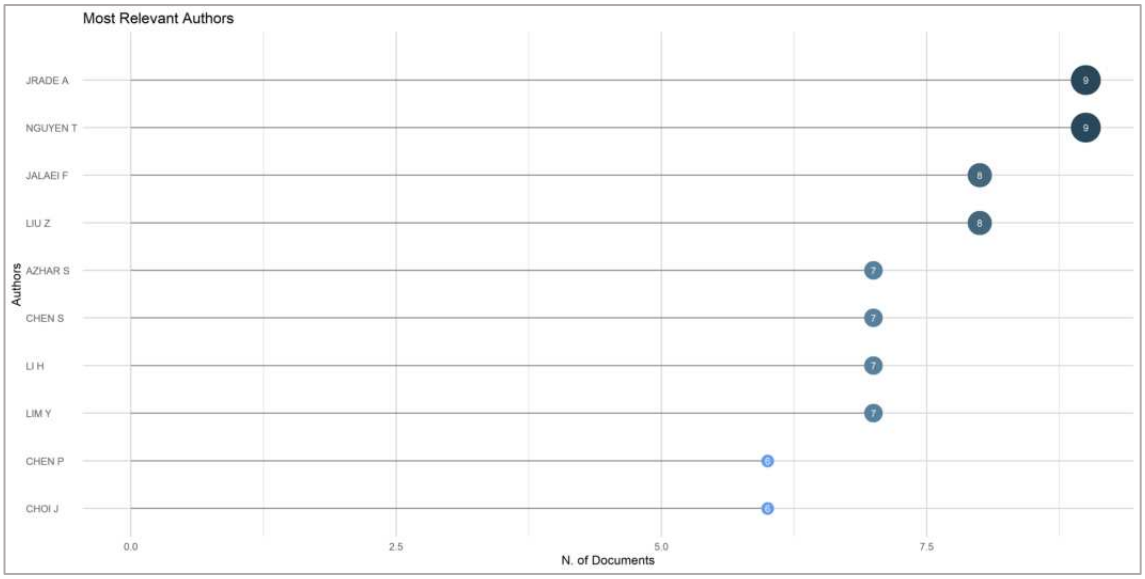
Figura 4: Fontes mais citadas



Fonte: Bibliometrix.

A Figura 5 ilustra os dez autores mais relevantes durante o período de 2005 a 2022. Ao analisar a figura, podemos observar que não há uma grande disparidade na quantidade de produções entre os autores. Jrade A. e Nguyen T. destacam-se, ambos com 9 publicações sobre o tema, seguidos de perto por Jalaei F. e Liuz Z., que possuem 8 publicações cada. Em seguida, encontramos Azhar S., Chen S., Choi J., Li H. e Lim Y., todos com 7 publicações cada. Por fim, Chen P. e Choi J. têm 6 publicações cada.

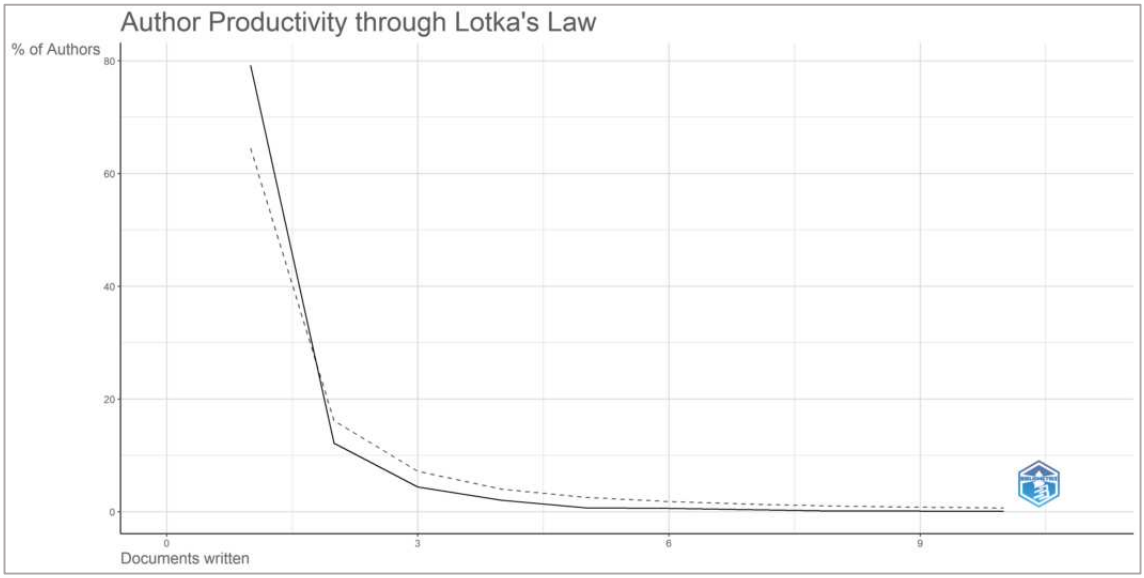
Figura 5: Autores mais relevantes



Fonte: Bibliometrix.

Lotka (1926) estabeleceu os fundamentos da lei do quadrado inverso, afirmando que a produtividade dos autores segue uma distribuição de potência inversa. Isso significa que um pequeno número de autores publica a maioria dos trabalhos em um determinado campo, enquanto a maioria dos autores publica relativamente poucos trabalhos. A Figura 6 apresenta a distribuição de frequência da produtividade científica pela Lei de Lotka. Através do gráfico é possível averiguar que aproximadamente 79,5% dos autores produziram 1 artigo, enquanto 0,2% dos autores produziram 9 artigos sobre a temática abordada. Essa análise demonstra que muitos autores ainda não desenvolveram um aprofundamento literário sobre o Green BIM.

Figura 6: Produtividade dos autores segundo Lei de Lotka.



Fonte: Bibliometrix.

A Tabela 2 apresenta os dez países que mais produziram e que mais possuíram trabalhos com maior quantitativo de citações. Entre os três que mais produziram encontram-se: China (167 documentos), Estados Unidos da América (92 documentos) e Malásia (52 documentos). Em relação aos países que possuem trabalhos acadêmicos mais citados foram: Estados Unidos da América (2.540 documentos), China (904 documentos) e Reino Unido (683 documentos).

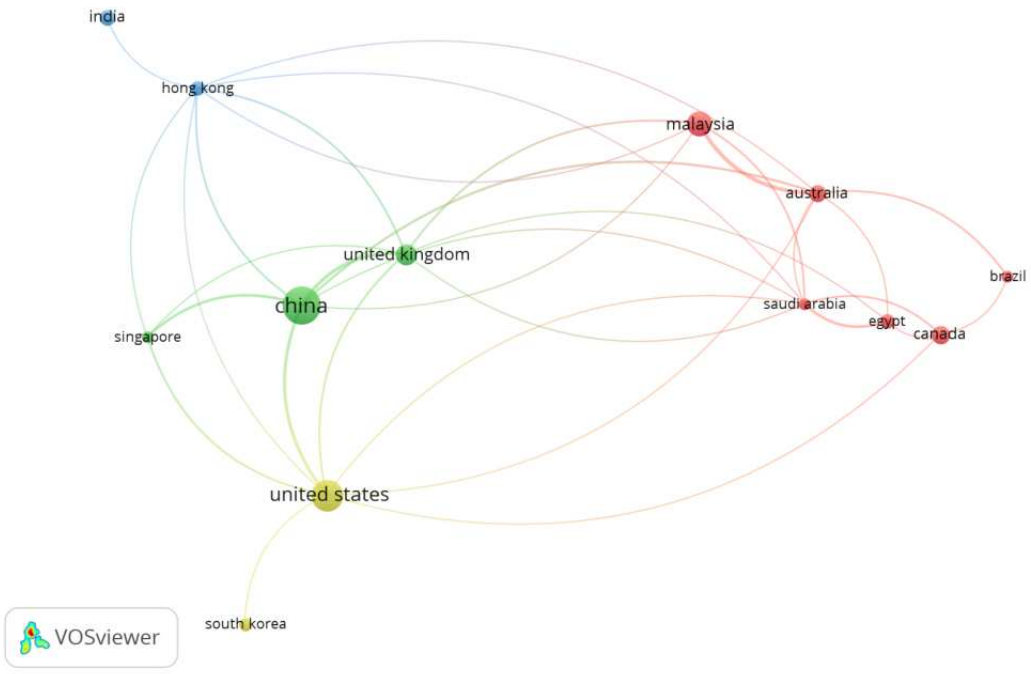
Tabela 2: Produção científica dos países

PAÍS	Nº DOCUMENTOS	Nº CITAÇÕES
China	167	904
EUA	92	2540
Malásia	52	176
Reino Unido	36	683
Canadá	21	617
India	20	46
Coreia do Sul	20	182
Egito	18	136
Australia	16	99
Indonesia	11	01

Fonte: Bibliometrix.

A Figura 7 foi extraída do software VOSviewer e mostra os países com maiores coautorias com 4 clusters de países que se relacionam entre si. A análise de coautoria dos países reflete a relação de colaboração entre os países na área temática analisada, bem como o grau de colaboração. Os nós maiores representam os países mais produtivos na área de Green BIM, sendo que a espessura e o comprimento das ligações entre os nós representam a relação de cooperação entre os países. Os países com as maiores coautorias foram os China com 108 documentos e força de link de 7, seguido pelos Estados Unidos da América com 71 documentos e força de link de 8. A Malásia ficou na terceira posição com 44 documentos e força total de link de 5. Já o Brasil ficou na décima segunda posição com 11 documentos e força de link de 2.

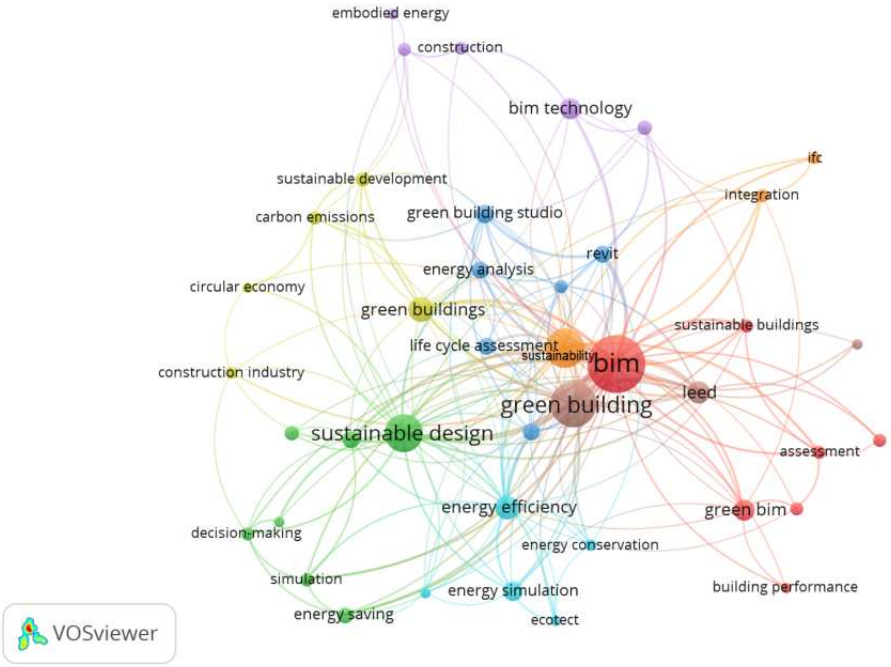
Figura 7: Rede de coautoria de países



Fonte: VOSviewer.

A Figura 8 apresenta a rede de coocorrência de palavras-chave. A análise da rede de coocorrência de palavras auxilia os pesquisadores na identificação dos tópicos discutidos em uma determinada área de pesquisa. O limite de coocorrência mínima inserida no VOSviewer foi cinco, essa restrição retornou 41 palavras-chave em oito clusters. Importante salientar que cada nó representado na visualização constitui uma palavra-chave na literatura revisada. Os nós maiores indicam a frequência mais alta de coocorrência da palavra. As cinco principais coocorrências são: BIM (136); green building (84); sustainability (64); sustainable design (60); e energy efficiency (24).

Figura 8: Rede de coocorrência de palavras-chave



Fonte: VOSviewer.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil precisa se adaptar a um novo modelo de funcionamento para reduzir a emissão de gases do efeito estufa, o que afeta não apenas a indústria AEC, mas também os profissionais da área. O conceito de design sustentável surge como uma resposta a essa necessidade, buscando desenvolver construções verdes que considerem todo o ciclo de vida da edificação e os recursos naturais disponíveis. Nesse contexto, o BIM se apresenta como uma poderosa ferramenta para impulsionar o design sustentável, permitindo a troca de informações entre as partes envolvidas no projeto e fornecendo recursos para uma compreensão mais ampla da construção como um todo.

O uso do BIM traz benefícios significativos para a redução da pegada de carbono da indústria AEC, incluindo a redução de custos, desperdício de materiais e melhoria da eficiência energética da edificação. Por essa razão, é essencial aprimorar a conexão entre sustentabilidade e BIM, promovendo o uso de energias renováveis e a exploração orgânica dos recursos naturais para uma sociedade mais sustentável. Através desta pesquisa, foi possível verificar o crescente interesse pelo Green BIM na literatura, evidenciando a importância do tema.

Com base nos resultados obtidos – e levando em consideração o déficit dos temas que dissertam sobre materiais e planejamento – o presente artigo sugere que pesquisas futuras abordem mais os benefícios trazidos no vínculo entre os materiais de construção e o Green BIM. Outro tema que deve ser mais explorado em trabalhos futuros é o uso da metodologia BIM para realização de planejamentos no intuito de redução dos impactos ambientais.

Em suma, o desenvolvimento de uma visão ampla da construção civil, que integre a sustentabilidade como um princípio fundamental, é imprescindível para o futuro da indústria AEC e para a preservação do meio ambiente. Portanto, é fundamental que haja um compromisso para o desenvolvimento de projetos mais sustentáveis, incluindo a utilização de materiais ecológicos e a implementação de tecnologias verdes, como o Green BIM, que podem auxiliar na redução do impacto ambiental e na promoção da sustentabilidade na construção civil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à FACEPE pelo apoio concedido à pesquisa. Processo n°: TO-APQ-1178-21-52652 e IBPG-1728-3.01/21.

REFERÊNCIAS

ABHINAYA, K. S.; Prasath Kumar, V. R.; Krishnaraj, L. Assessment and Remodelling of a Conventional Building Into a Green Building Using BIM. **International Journal of Renewable Energy Research**, Vol. 7, No. 4, abr. 2017 ISSN 1309-0127.

ABOUHAMAD, Mona; ABU-HAMD, Metwally. Life cycle assessment framework for embodied environmental impacts of building construction systems. **Sustainability**, v. 13, n. 2, p. 1–21, 2 jan. 2021.

AZHAR, Salman; BROWN, Justin. BIM for sustainability analyses. **International Journal of Construction Education and Research**, v. 5, n. 4, p. 276–292, 2009.

AZHAR, Salman; BROWN, Justin W.; SATTINENI, Anoop. A case study of building performance analyses using building information modeling. *In:* **International Symposium on Automation and Robotics in Construction**, 27., 2010, Brastilavia, 2010. p. 213-222.

BOUHMOUD, Hanane; LOUDYI, Dalila; AZHAR, Salman. Evaluation of Building's Life Cycle Carbon Emissions Based on BIM and LCA: A Case Study of Affordable Housing in Morocco. *In:* **The International Conference on Construction n in the 21st Century**, 12., 2022, Jordânia, 2022.

BYNUM, Patrick; ISSA, Raja RA; OLBINA, Svetlana. Building Information Modeling in Support of Sustainable Design and Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 139, n. 1, p. 24–34, jan. 2013.

GULERIA, Deepa; KAUR, Gurvinder. Bibliometric analysis of ecopreneurship using VOSviewer and RStudio Bibliometrix, 1989–2019. **Library Hi Tech**, v. 39, n. 4, p. 1001–1024, 2021.

KIM, K. G. **Low-Carbon Smart Cities**. 1ed. Springer, 2018. 542 p.

KRYGIEL, E., NIES, B. **Green BIM: successful sustainable design with building information modeling**. Sybex, 2008. 268 p.

LI, Jingming et al. Integration of Building Information Modeling and Web Service Application Programming Interface for assessing building surroundings in early design stages. **Building and Environment**, v. 153, p. 91–100, 15 abr. 2019.

LOTKA, Alfred J. The frequency distribution of scientific productivity. **Journal of the Washington academy of sciences**, v. 16, n. 12, p. 317-323, 1926.

MIN, Ji et al. The effect of carbon dioxide emissions on the building energy efficiency. **Fuel**, v. 326, 15 out. 2022.

MULLER, Marina Figueiredo et al. A systematic literature review of interoperability in the green Building Information Modeling lifecycle. **Journal of Cleaner Production**, v. 223, p. 397–412, 20 jun. 2019.

ODUYEMI, Olufolahan; OKOROH, Michael Iheoma; FAJANA, Oluwaseun Samuel. The application and barriers of BIM in sustainable building design. **Journal of Facilities Management**, v. 15, n. 1, p. 15–34, 2017.

PAGE, Matthew J.; MOHER, David. Evaluations of the uptake and impact of the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Statement and extensions: A scoping review. **Systematic Reviews**, v. 6, n. 1, 19 dez. 2017.

SINGH, Premjeet; SADHU, Ayan. Multicomponent energy assessment of buildings using building information modeling. **Sustainable Cities and Society**, v. 49, 1 ago. 2019.

VAN ECK, Nees; WALTMAN, Ludo. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010.

ZORZELA, Liliane et al. PRISMA harms checklist: Improving harms reporting in systematic reviews. **BMJ**, v. 352, 2016.