ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Integração do BIM com a Avaliação de Ciclo de Vida: revisão sistemática da literatura

Integration of BIM with Life Cycle Assessment: systematic literature review

Vanessa Lima Carneiro
Universidade Estadual de Feira de Santana | Feira de Santana | Brasil | engvanessalimacarneiro@gmail.com
Tiago Assunção Santos
Universidade Estadual de Feira de Santana | Feira de Santana | Brasil | tasantos1@uefs.br
Luis Claudio Alves Borja
Instituto Federal da Bahia | Feira de Santana | Brasil | borja.ifba@gmail.com

Resumo

A construção civil é uma indústria essencial para o desenvolvimento e bem-estar humano, porém é responsável por gerar inúmeros impactos ambientais significativos. O setor enfrenta desafios para a quantificação dos seus impactos ambientais em virtude da diversidade de materiais e processos construtivos. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica consolidada e crucial para identificar e quantificar esses impactos. Este artigo propõe uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de identificar como o *Building Information Modeling* (BIM) pode ser uma ferramenta facilitadora para a realização da ACV na construção civil. A pesquisa é conduzida utilizando o banco de dados da Scopus, que resultou em 191 artigos relacionados sobre o tema nos últimos seis anos. Os resultados indicam um aumento na pesquisa sobre a integração BIM e ACV, destacando vantagens como a eficiência no processo e a capacidade de realizar comparações sustentáveis entre materiais, tipologias construtivas e layouts durante a fase de projeto. Contudo, é possível reconhecer desafios, especialmente a necessidade de aprimorar a interoperabilidade entre os softwares BIM e os utilizados para ACV.

Palavras-chave: Building Information Modeling. Avaliação do Ciclo de Vida. Construção Civil. Revisão Sistemática.

Abstract

Civil construction is an essential industry for human development and well-being, but it is responsible for generating numerous significant environmental impacts. The sector faces challenges in quantifying its environmental impacts due to the diversity of materials and construction processes. Life Cycle Asse_XXssment (LCA) is a consolidated and crucial technique for identifying and quantifying these impacts. This article proposes a systematic review of the literature, with the aim of identifying how Building Information Modeling (BIM) can be a facilitating tool for carrying out LCA in civil construction. The research is conducted using the

Como citar:
CARNEIRO, V.L., SANTOS, T. A., BORJA, L. C. A. Integração do BIM com a Avaliação de Ciclo de Vida: revisão sistemática da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Scopus database, which resulted in 191 related articles on the topic in the last five years. The results indicate an increase in research on BIM and LCA integration, highlighting advantages such as process efficiency and the ability to make sustainable comparisons between materials, construction typologies and layouts during the design phase. However, it is possible to recognize challenges, especially the need to improve interoperability between BIM software and those used for LCA.

Keywords: Building Information Modeling. Life Cycle Assessment. Construction. Systematic review.

INTRODUÇÃO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) integrada ao *Building Information Modeling* (BIM) tem crescido significativamente nos últimos anos, principalmente em pesquisas que comparam alternativas de projeto com diferentes métodos de construção, sistemas estruturais e materiais de construção [1].

A inclusão do BIM para realizar a ACV possibilita consumir menos tempo e esforço para o gerenciamento de dados e informações sobre o edifício e seus impactos ambientais [2]. A partir da modelagem BIM é possível produzir objetos inteligentes, fáceis de modificar e com os seus parâmetros possibilita realizar alterações para estimar o desempenho energético [3]. O BIM facilita a criação de soluções de projeto energeticamente sustentáveis ao permitir a escolha de diferentes variáveis e a modelagem para identificar quais geram menos impactos [4].

Entre um dos principais benefícios de integrar BIM e ACV está a oportunidade de fazer simulações para verificar as melhores alternativas de projeto para a construção da edificação [5][6]. Essas modificações podem ser feitas tanto para os materiais, como layout da edificação, posição referente ao sol, entre outros [7].

Há uma tendência de os novos edifícios utilizarem pouca área construída no térreo e aumentarem a quantidade de pavimentos para assegurar áreas verdes e espaços de socialização, por outro lado essa configuração gera maiores impactos na fase operacional, devido a maior demanda de energia [8]. Diante disso, realizar simulações contribui significativamente para tomadas de decisões em novas construções, por exemplo, a partir de uma simulação em um software BIM (Revit) é possível verificar que a simples mudança de layout de um edifício, mas mantendo a mesma área e volume, pode-se obter uma redução de até 15% para a energia incorporada da edificação [9].

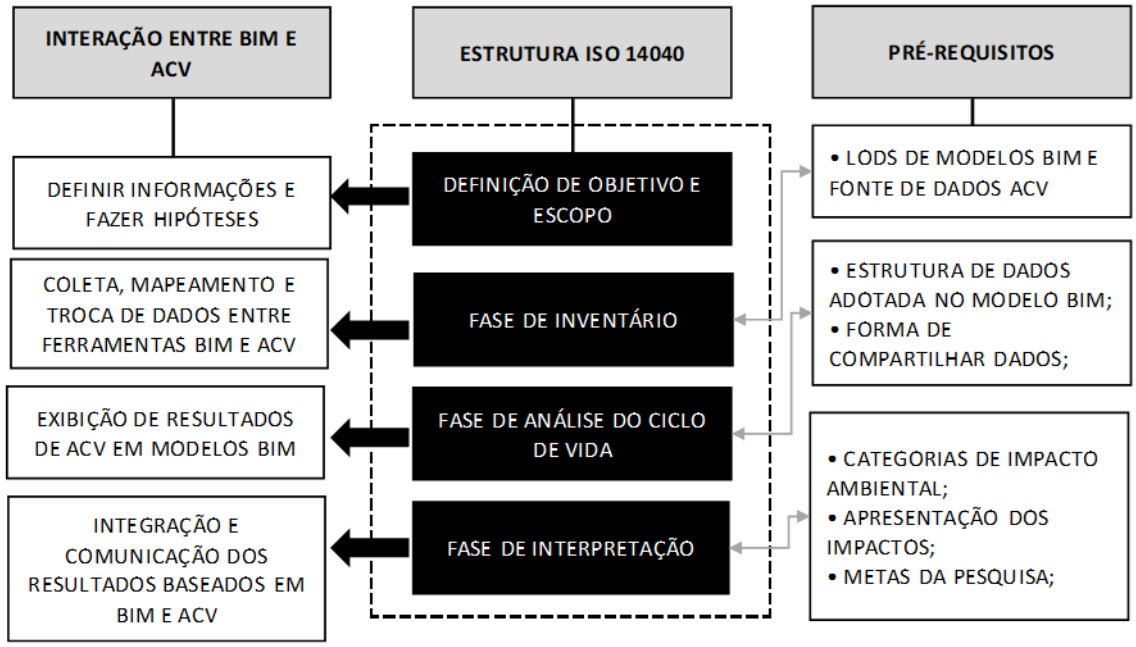
Pesquisadores [4] abordam que os projetos de construção civil são feitos em etapas e que algumas decisões são tomadas nos estágios finais do projeto, por exemplo, é decidido no início a relação de janela e parede, entretanto o tipo de envidraçamento não é escolhido de imediato, sendo que é um material que interfere no isolamento térmico da edificação.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) apresenta algumas limitações, sendo uma delas a escassez de fontes brasileiras nas bases de dados disponíveis [6]. Isso se deve, em parte, à necessidade de uma grande quantidade de dados que o setor da construção civil requer para a realização de uma ACV precisa [2].

Tal cenário também ocorre no contexto latino-americano [7]. Outra barreira é a obtenção de dados para a avaliação de impactos de materiais sustentáveis, pois são pouco disseminados e não há informações em bancos de dados [10][8].

Ainda são escassas as pesquisas que associam a integração BIM e ACV e as existentes não descrevem de forma suficiente sobre os processos interativo, a maioria das compatibilizações são feitas de forma manual e poucos estudos foram executados seguindo as normativas internacionais da ISO 14040 (Figura 1), o que pode gerar perda de informações sobre os materiais de construção causando erros na avaliação ambiental [1].

Figura 1: Fluxo de integração entre BIM e ACV



Fonte: adaptado de Tam *et al.*, 2022 [1].

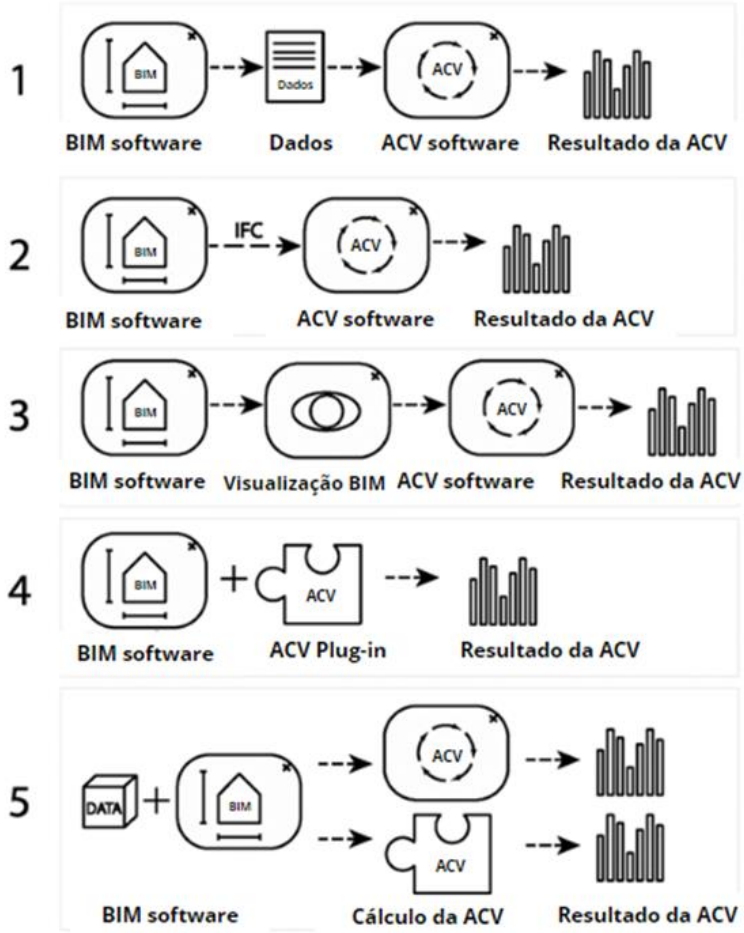
Seguindo essa estrutura da Figura 1, as fases para realizar a etapa de Inventário do Ciclo de Vida utilizando o BIM são: a) Coleta de dados no modelo BIM e dados de ACV; b) Mapeamento de dados entre dados do modelo BIM e dados de ACV; c) Troca de dados entre ferramentas BIM e ACV [1].

A coleta de dados da edificação é coletada diretamente do software da modelagem BIM, já os dados de ACV podem ser coletados de bases de dados existentes ou adaptadas. Em seguida, na segunda fase é necessário fazer o mapeamento dos dados, ou seja, transformar os dados do modelo para a base unitária dos dados disponíveis em bancos de dados de ACV [1].

A terceira fase é a troca de dados, que pode ser realizada de várias maneiras. Uma opção é exportar uma lista de quantidades (BoQ) do modelo BIM para uma planilha, como o software Excel, e adicionar os impactos por unidade de medida. Outra possibilidade é exportar a lista de quantitativos do modelo para uma ferramenta de ACV consolidada. Também pode-se utilizar o formato IFC para transferir os dados ou adotar plugins de ACV dentro do software BIM. A forma mais avançada de integração de dados envolve o uso de um software BIM que permita incluir as informações de ACV diretamente no modelo, possibilitando até o uso de uma linguagem de

programação [11]. A figura 2 resume todas essas possibilidades de integração entre BIM e ACV.

Figura 2: Tipos de integração BIM-LCA



Fonte: adaptado de Wastiels e Decuypere, 2020 [11].

Quando analisada a integração de ACV com BIM, alguns pontos são passíveis de melhorias, como o avanço de ferramentas ACV que permita a interoperabilidade com os dados obtidos pelo BIM [10]. Dessa forma, o presente artigo busca identificar como o BIM e suas ferramentas pode ser facilitador para a realização da ACV na construção civil, a partir da resolução da seguinte questão: Como a literatura integra a ACV com o BIM e quais lacunas dificultam o uso combinado?

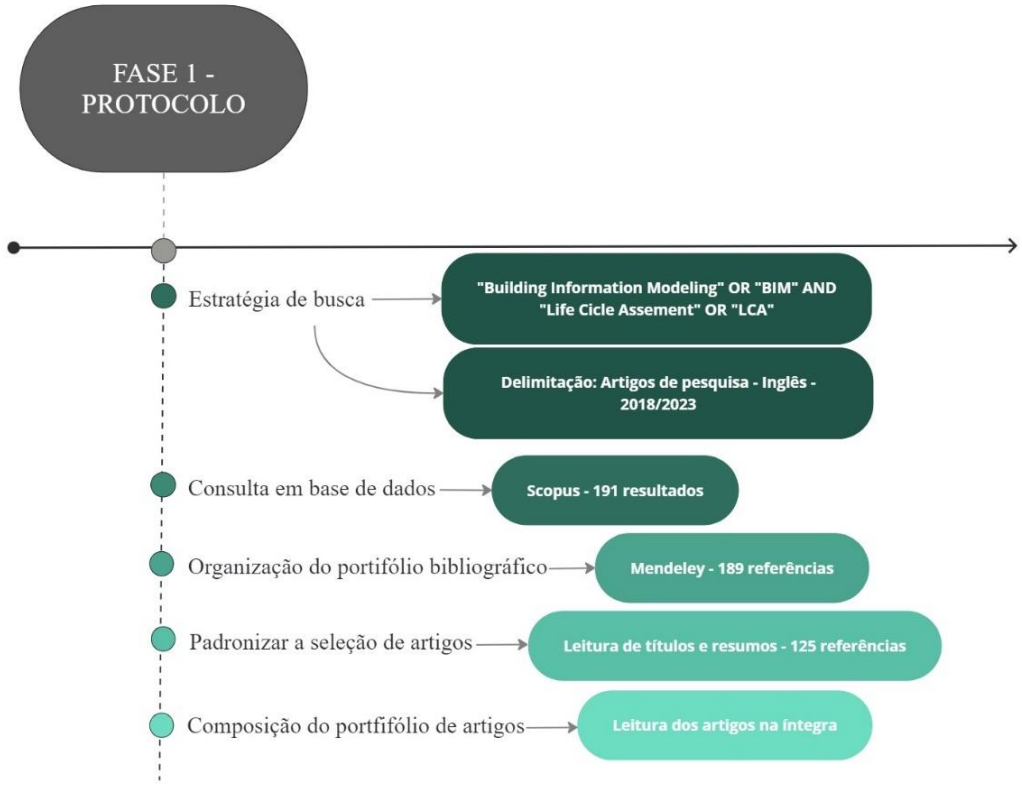
METODOLOGIA

O método utilizado para este trabalho foi o desenvolvimento de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que corresponde a uma modalidade de pesquisa que busca a partir de um conjunto documental entender e identificar coerências sobre o que tem êxito ou não de um determinado contexto, que são encontrados a partir do seguimento de protocolos específicos [12].

A RSL foi desenvolvida seguindo o método *SystematicSearchFlow* [13], que possui quatro fases: Protocolo, Análise, Síntese e Escrita. A fase 1, conforme Figura 3, teve o objetivo de definir as estratégias de busca, ou seja, a definição das palavras chaves e dos operadores lógicos, que para essa pesquisa foram escolhidos: "Building Information Modeling" OR "BIM" AND "Life Cicle Assement" OR "LCA", além disso optou-se por filtrar em artigos de pesquisa em inglês referentes aos anos de 2018 a 2023. Nessa fase também foi escolhido a base de dados utilizada para a pesquisa das referências (Scopus), que obteve 191 trabalhos e posteriormente o local de gerenciamento da bibliografia encontrada (Mendeley), totalizando 189 referências não duplicadas.

Além disso, na fase 1 foi preciso selecionar os artigos encontrados a partir da leitura do título, resumo e palavras-chaves a fim de identificar quais artigos abordavam conjuntamente sobre BIM, ACV e construção civil, o que resultou em 125 referências. A fase finaliza com a leitura na íntegra de 10 artigos escolhidos por apresentarem no resumo a indicação da realização de uma ACV utilizando ferramentas BIM, ou seja, foram descartados os artigos de revisão ou que não indicavam de forma clara no resumo a metodologia utilizada.

Figura 3: Etapa inicial da revisão sistemática



Fonte: Os autores

A fase 2 corresponde a uma consolidação dos dados, em que são analisados os anos que houve mais publicações, os autores e artigos mais citados, os pontos fortes e fracos do tema, entre outros, para isso utilizou-se o software VOSviewer que produz mapas e facilita a identificação e análise de ocorrências entre dados da literatura científica. O passo seguinte é a fase 3, ou síntese dos dados, na qual os dados coletados são extraídos e organizados. O objetivo é identificar as informações mais relevantes e

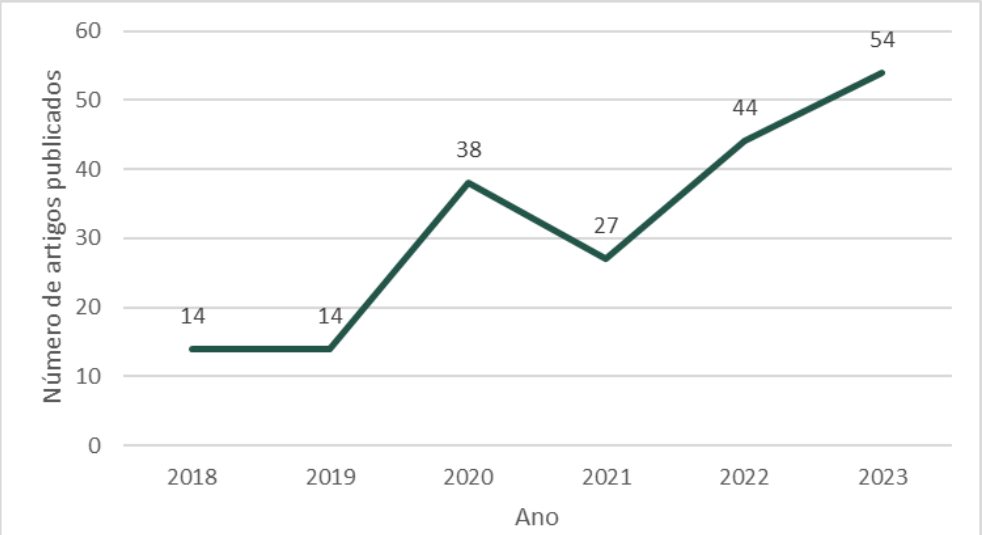
as lacunas encontradas pelos autores sobre o tema. Para isso, foram lidos na íntegra 10 artigos e compilados em um quadro que apresenta os objetivos de cada trabalho, a tipologia construtiva utilizada, os principais materiais analisados e os softwares de BIM e ACV escolhidos para realizar a integração em cada estudo. Por último, a fase 4 que foi responsável por resgatar o objetivo da revisão e escrever sobre o resultado da análise realizada indicando as métricas encontradas e os principais achados de trabalhos que realizaram uma Avaliação do Ciclo de Vida utilizando a Modelagem da Informação da Construção como suporte para obtenção de dados e diferentes combinações de projeto.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

PANORAMA

A consulta na base de dados resultou em 191 artigos para os critérios adotados (combinações do termo de busca, período entre 2018 e 2023 e apenas artigos de periódicos). A análise da evolução das publicações no período evidencia o aumento de interesse e de publicações sobre BIM e ACV, exceto o ano de 2021 que apresentou um declínio de publicações, provavelmente um reflexo do período pandêmico que iniciou em 2020 e impactou na escrita de artigos de modo geral (Figura 4).

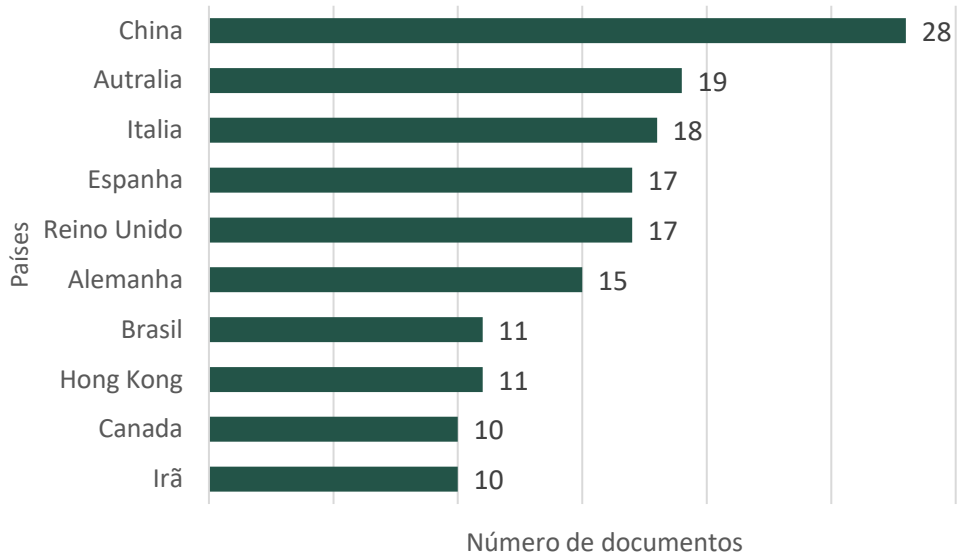
Figura 4: Número de artigos publicados por ano



Fonte: Os autores

A análise de publicações por países apresenta um dado importante para o Brasil que possui mais de 10 publicações, ultrapassando países como o Canadá e Irã, outra métrica importante é que o país com mais publicações sobre o tema é a China com mais de 25 publicações (Figura 5).

Figura 5: Os 10 países por número de publicações sobre BIM e ACV (2018/2023) da coleção



Fonte: Os autores

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A análise bibliométrica dos 125 artigos foi realizada por meio da ferramenta Vosviewer [14] aplicada sobre os metadados bibliográficos extraídos da base Scopus para esses artigos.

a) Análise da Coautoria entre autores, organizações e países

Quanto aos autores com publicações sobre BIM e ACV, a Tabela 1 apresenta os dez autores que mais publicaram sobre o tema.

Tabela 1: Principais autores sobre BIM e ACV

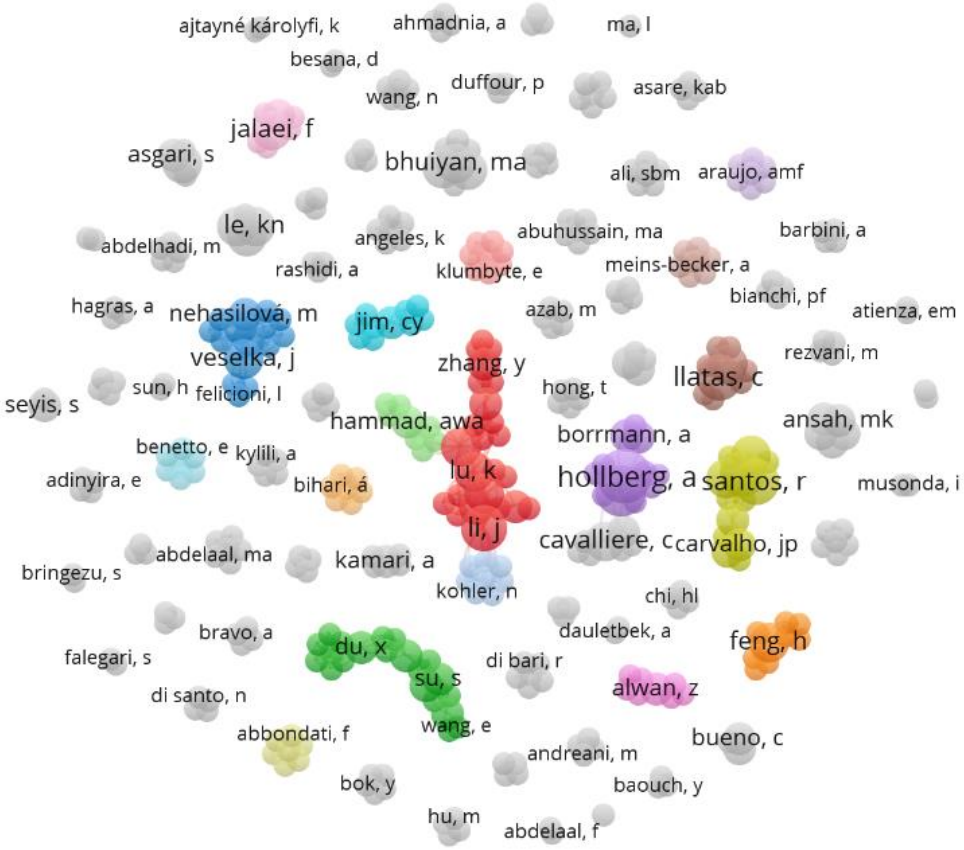
AUTOR	NÚMERO DE ARTIGOS
HABERT, G	5
HOLLBERG, A	5
LI, J	4
LLATAS, C	4
SANTOS, R	4
SILVESTRE, J D	4
BHUIYAN, M A	3
CAVALLIERE, C	3
CHENG, B	3
COSTA, A A	3

Fonte: Os autores

Na configuração da análise do VosViewer foram adotados como padrão que a análise deveria ignorar documentos com mais de 25 autores e que os primeiros nomes dos autores seriam representados pelas suas iniciais. Essa coleção apresenta 435 autores com pelo menos uma publicação.

A Figura 6 apresenta a rede de colaboração entre autores (rede de coautoria) obtida por meio do Vosviewer, segundo o qual os documentos podem ser agrupados em 80 clusters, sendo que apenas seis clusters de colaboração reuniram 10 ou mais autores em coautoria de um ou mais documentos. Assim, a análise da rede aponta que apenas alguns poucos grupos tem uma participação mais forte de colaboração, enquanto a maioria trabalha em grupos menores.

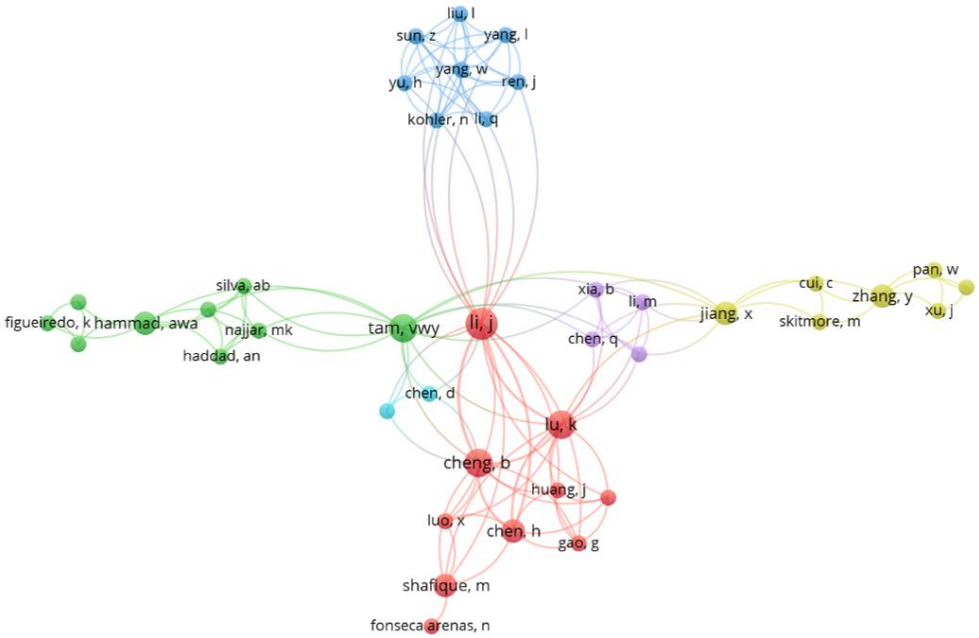
Figura 6: Rede de Coautoria por autores para o portifólio dos 125 artigos selecionados



Fonte: Os autores

O maior conjunto de rede de coautoria utilizando a detecção automática do Vosviewer foi de um conjunto de 40 autores, agrupados em 6 clusters diferenciado por cores, conforme pode ser visualização na Figura 7. Os autores com maior força de ligação com outros autores foram J Li (19 coatores), VWY Tam (15 coautores) e K Lu (14 coautores).

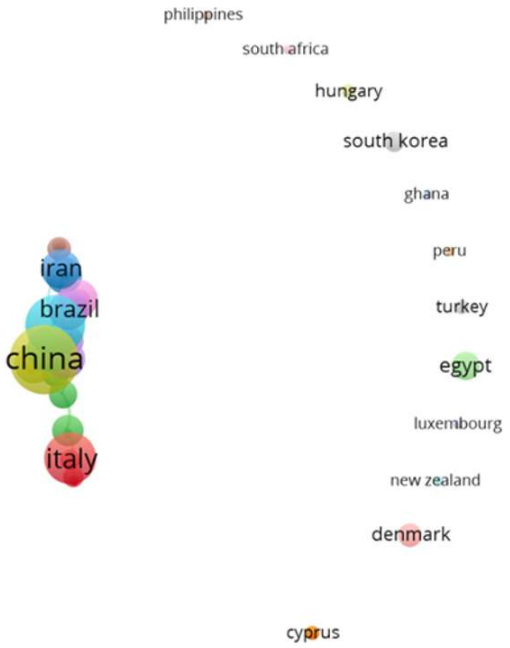
Figura 7: Principal agrupamento da rede de coautoria por autores



Fonte: Os autores

Na análise de colaboração entre países coautoria, o Vosviewer identificou 44 países para o portfólio escolhido, reunidos em 20 agrupamentos (clusters), sendo que apenas 9 agrupamentos reúnem autores de dois ou mais países, no demais 11 agrupamentos não houve colaboração com autor de outro país. Essa dispersão pode ser facilmente visualizada na Figura 8.

Figura 8: Agrupamento na rede de coautoria por países de origem dos autores



Fonte: Os autores

Nesse agrupamento de países de origem dos autores aparece com destaque a China (19 artigos), Austrália (15 artigos), Itália (12 artigos) e Reino Unido (10 artigos). Nesse

grupo, o Brasil aparece em 8 artigos, o mesmo número de países como Alemanha, Hong Kong, Irã e Portugal.

b) Análise da Coocorrência de palavras-chave (todas, do autor e indexadas)

A Tabela 2 apresenta as 20 palavras-chaves com mais ocorrências no portfólio de 125 artigos analisados, sendo LCA a mais citada e BIM a terceira mais citada.

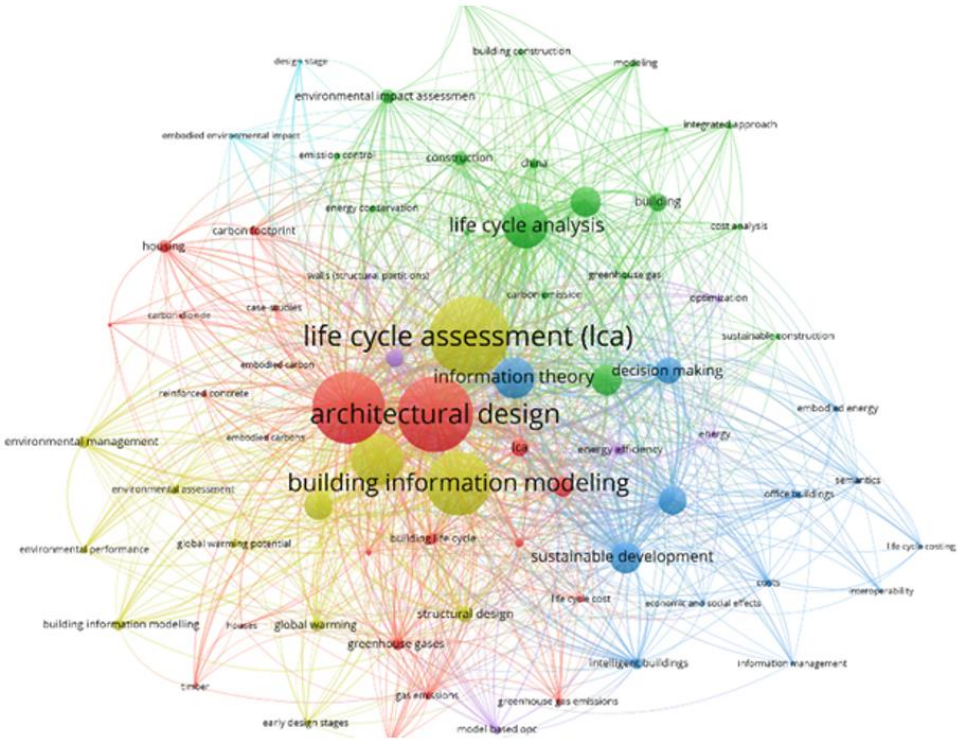
Tabela 2 – 20 palavras-chave mais citadas no portifólio

Palavras-chaves	Ocorrências
LCA	100
Architectural design	79
BIM	68
Environmental impact assessment	56
Information theory	41
Sustainable development	34
Construction industry	29
Decision making	29
Ecodesign	29
Energy use	21
Building	20
Greenhouse gas	19
Structural design	16
Sustainability	15
Construction	14
Cost analysis	13
Environmental management	13
Energy efficiency	12
Global warming	12
Intelligent buildings	12

Fonte: Os autores

A partir das 125 referências selecionadas, utilizou-se o software VOSviewer para uma análise de palavras-chaves que demonstra uma forte correlação para as palavras: avaliação do ciclo de vida, projeto arquitetônico e modelagem da informação da construção (Figura 9).

Figura 9: Principais palavras-chaves



Fonte: Os autores

BIM E ACV

Em um copilado de 10 artigos escolhidos a partir do critério de utilização real de ferramentas BIM e ACV na construção civil, resultou em informações importantes para entender o cenário dos estudos de ACV utilizando o BIM, ou seja, dados como os objetivos do estudo, as principais aplicações, as tipologias analisadas e as principais ferramentas utilizadas para BIM e ACV. O resumo desses dados é apresentado no Quadro 1.

No quesito objetivo de estudo, observou-se que os pesquisadores focam em realizar comparativos entre modelos arquitetônicos ou materiais para verificar qual opção de projeto resulta em um menor impacto ambiental. Dos 10 artigos analisados 6 focam em realizar comparativos entre diferentes materiais da estrutura e da vedação [16][6][7][17][9][20]. Além disso, há pesquisas que focam em analisar a melhor orientação e isolamento para minimizar o consumo energético [15], outras em escolher o melhor design do edifício para reduzir a energia e carbono incorporado [8]. O item tipo de edificação demonstra que as pesquisas são divididas entre casa unifamiliar (4 artigos) e edifícios multifamiliares (5 artigos), apenas 1 artigo foi voltado para realizar ACV integrado ao BIM para a avaliação de edificações públicas e nenhum foi voltado para edifícios comerciais, o que demonstra uma necessidade de trabalhos nessa área.

Quadro 1: Copilado de dez artigos que realizaram ACV utilizando ferramentas BIM

REF.*	OBJETIVO DO ESTUDO	TIPO DE EDIFICAÇÃO	TIPOLOGIA CONSTRUTIVA	SOFTWARE ACV	SOFTWARE BIM
[15]	Comparar cenários de orientação, isolamento, sombreamento, envidraçamento e entrada de ar de uma construção residencial para reduzir a pegada de carbono e o consumo energético.	Casa unifamiliar	Alvenaria de tijolo, janelas de alumínio e telhas de concreto	TALLY	Revit
[16]	Identificar o efeito que a inclusão de impactos ambientais pode ter na tomada de decisão em compras públicas.	Instituição de ensino	Comparativo entre: alvenaria, aço e parede de concreto	SimaPro	Revit
[6]	Analisar diversas alternativas de componentes construtivos que compõe a vedação da edificação.	Edifício residencial multifamiliar	Alvenaria de bloco cerâmico, pisos de concreto, janelas de alumínio, portas de madeira.	TALLY	Revit
[7]	Comparar os impactos ambientais produzidos por uma casa de madeira com os de uma casa de alvenaria de concreto.	Casa unifamiliar	Estrutura de madeira e alvenaria de bloco de concreto	DesignBuilder	ArchiCAD
[17]	Avaliar diferentes opções de projeto de moradias populares, integrando a ACV ao processo de tomada de decisão.	Casa unifamiliar	Concreto armado com paredes de tijolos cerâmicos, alvenaria estrutural e Light Steel Frame (LSF)	TALLY	Revit
[9]	Apresentar uma estrutura orientada para o ciclo de vida em BIM para alcançar construções sustentáveis na fase de pré-construção.	Casa unifamiliar	Alvenaria de tijolo, piso e laje de concreto	EcoHestia	Revit
[8]	Analisar os impactos de soluções estruturais alternativas para edifícios.	Edifício residencial multifamiliar	Concreto armado e madeira laminada	One Click LCA	Revit
[18]	Demonstrar um método de ACV habilitado para BIM.	Edifício residencial multifamiliar	Alvenaria estrutural de bloco de concreto	DesignBuilder e eBalance	Revit
[19]	Desenvolver uma solução de ACV integrada ao BIM para automatizar a avaliação de carbono incorporada de edifícios pré-fabricados.	Edifício residencial multifamiliar	Estrutura pré-moldada de concreto	SimaPro	Revit
[20]	Apontar o benefício da integração da ACV e do BIM para diferentes cenários de projeto do sistema estrutural.	Edifício residencial multifamiliar	Estrutura em concreto armado, estrutura metálica e mista	One Click LCA	Revit

Fonte: Os autores; *REF.: Referência.

A análise para as tipologias construtivas indica um maior uso do concreto para os comparativos e avaliação do ciclo de vida (sete artigos), seja para alvenaria estrutural, parede de concreto, estrutura convencional de concreto, ou concreto pré-moldado. Além disso, materiais como a madeira e o aço são as opções de materiais utilizados para realizar comparativos de impactos ambientais com o concreto.

As ferramentas de ACV mais predominantes nas pesquisas exploradas para a integração com o BIM é o Tally (3 artigos), One Click LCA (2 artigos) e SimaPro (2 artigos), aliados com o DesignBuilder para análise energética da edificação. Quanto a forma de integração, o Tally e One Click LCA são ferramentas que possibilitam a integração com as ferramentas BIM a partir do uso de Plugin, o que permite uma interoperabilidade mais rápida e com menor probabilidade de perda de dados com a exportação de quantitativos para realizar a ACV.

O software BIM mais utilizado é o Revit, da Autodesk, presente em 9 dos 10 trabalhos analisados. Apenas um estudo utilizou o ArchiCAD, desenvolvido pela GRAPHISOFT. Ambos os softwares são empregados para a modelagem e extração de quantitativos dos dados.

No geral, os autores destacam a necessidade de melhorar a interoperabilidade entre o BIM e os softwares de ACV. É crucial desenvolver metodologias para avaliar as diferentes incertezas e variabilidades dos modelos BIM aplicados à ACV. Além disso, as bases de dados utilizadas, como o Ecoinvent, são frequentemente limitadas a regiões específicas, o que representa uma limitação significativa.

Por outro lado, os pesquisadores afirmam que o BIM é fundamental para a melhoria da visualização, compreensão e transparência dos projetos, auxilia no processo de tomada de decisão permitindo analisar opções alternativas de projetos e materiais e componentes da construção, o que facilita e melhora os resultados e entrega da ACV.

CONCLUSÃO

Dado o exposto nesta RSL, há um aumento anual de interesse em pesquisas que integram o BIM com a ACV. A China é o país que mais publica sobre o tema, ocupando o primeiro lugar, mas destaca-se a posição do Brasil em sétimo lugar no ranking dos 10 países que mais publicam, o único país da América do Sul a representar essa lista. Os autores da área trabalham em colaboração, porém com grupos pequenos. Quanto as palavras-chaves, a RSL demonstrou que Avaliação do Ciclo de Vida, projeto arquitetônico e Modelagem da Informação da Construção são os termos mais citados, o que já era esperado.

Em síntese, a maioria dos trabalhos que aplicam a metodologia BIM em ACV utilizam o software Revit para a modelagem da edificação, já para a avaliação ambiental são diversos softwares utilizados, mas Tally e One Click são os que apresentam opção de plugin para a integração. No aspecto de estudo de casos, são voltados principalmente para edificações residenciais e realizam comparativos entre diferentes sistemas construtivos.

É fundamental ressaltar que os autores pesquisados destacam a importância de utilizar o BIM para realizar a ACV, pois as ferramentas melhoram a visualização dos dados, tornam os processos mais rápidos e possibilita uma série de comparativos para auxiliar

na tomada de decisão das partes interessadas, porém ainda é necessário avanços sobre o tema, principalmente para melhorar a interoperabilidade entre softwares e a utilização de dados que representam o local da construção.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa 130953/2023-7.
Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana – PPGECEA/UEFS pelo suporte institucional.

REFERÊNCIAS

[1] TAM, V. WY *et al*. A critical review on BIM and LCA integration using the ISO 14040 framework. **Building and Environment**, v. 213, p. 108865, 2022.

[2] KAGHEMBEGA, W. S. H., *et al*. Evaluation of environmental impact and GHG emission with energy system modeling combined with LCA in building sector: A review. In: E3S **Web of Conferences**. EDP Sciences, 2023."

[3] NAJJAR, M. *et al*. Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. **Journal of Building Engineering**, v. 14, p. 115-126, 2017.

[4] ZHOU, Y.; TAM, V. WY; LE, K. N. Sensitivity analysis of design variables in lifecycle environmental impacts of buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 65, 2023.

[5] ABOUHAMAD, M.; ABU-HAMD, M. Life cycle assessment framework for embodied environmental impacts of building construction systems. **Sustainability**, v. 13, n. 2, p. 461, 2021

[6] NAJJAR, M. et al. Integrated optimization with building information modeling and life cycle assessment for generating energy efficient buildings. Applied **Energy**, v. 250, p.1366-1382, 2019.

[7] SOUST-VERDAGUER, B.; LLATAS, C.; MOYA, L. Comparative BIM-based Life Cycle Assessment of Uruguayan timber and concrete-masonry single-family houses in design stage. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p. 121958, 2020.

[8] FELICIONI, L. *et al*. A comparative cradle-to-grave life cycle approach for addressing construction design choices: An applicative case study for a residential tower in Aalborg, Denmark. **Energy and Buildings**, v. 298, p. 113557, 2023.

[9] KYLILI, A.; GEORGALI, P. Z.; CHRISTOU P. An integrated building information modeling (BIM)-based lifecycle-oriented framework for sustainable building design. **Construction Innovation**, 2022.

[10] CRIPPA, J. et al. A BIM–LCA integration technique to embodied carbon estimation applied on wall systems in Brazil. **Built Environment Project and AssetManagement**, v. 8, n. 5, p. 491-503, 2018.

[11] WASTIELS, L.; DECUYPERE, R. Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies. In: IOP conference series: earth and environmental science. **IOP Publishing**, 2019. p. 012101."

[12] GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.

[13] FERENHOF, H. A. FERNANDES, R. F. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SSF. **Revista ACB**, v. 21, n. 3, p. 550-563, 2016.

[14] VAN ECK, N.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010.

[15] TUSHAR, Q. *et al*. An integrated approach of BIM-enabled LCA and energy simulation: The optimized solution towards sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 289, p. 125622, 2021.

[16] VÁZQUEZ-ROWE, I. *et al*. A method to include life cycle assessment results in choosing by advantage (Cba) multicriteria decision analysis. A case study for seismic retrofit in peruvian primary schools. **Sustainability**, v. 13, n. 15, p. 8139, 2021.

[17] BIANCHI, P. F. *et al*. Study of alternatives for the design of sustainable low-income housing in Brazil. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 4757, 2021.

[18] YANG, X. *et al*. Building-information-modeling enabled life cycle assessment, a case study on carbon footprint accounting for a residential building in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 729-743, 2018.

[19] XU, J. *et al*. BIM-integrated LCA to automate embodied carbon assessment of prefabricated buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 374, p. 133894, 2022.

[20] MORSI, D. M. *et al*. BIM-based life cycle assessment for different structural system scenarios of a residential building. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 6, p. 101802, 2022.