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

Integração BIM-BEM: Revisão sobre o uso da metodologia BIM para análise termoenergética

BIM-BEM integration: Review on the use of the BIM methodology for energy analysis

Isabella Cardoso Wolkart
Universidade Federal do Espírito Santo | Vitória | Brasil | isabellawolkart@gmail.com
Luciana Aparecida Netto de Jesus
Universidade Federal do Espírito Santo | Vitória | Brasil | luciana.a.jesus@ufes.br

Resumo

Conforme dados da UNEP (2024), estima-se que a construção civil e as edificações sejam responsáveis por 37% das emissões globais de dióxido de carbono (CO_2). Para mitigar os impactos desse setor no meio ambiente é importante incorporar análises de eficiência energética e conforto térmico no processo de projeto de edifícios. Dessa forma, o modelo virtual de desempenho termoenergético, BEM (*Building Energy Modeling*), e a metodologia BIM (*Building Information Modeling*) apresentam-se fundamentais, especialmente nas dimensões 6D e 7D, dimensões pouco exploradas que abrangem aspectos de desempenho, manutenção e sustentabilidade. Diante disso, este artigo tem por objetivo construir um portfólio bibliográfico sobre o tema "Integração BIM-BEM", através da metodologia de sistematização de busca e seleção de artigos, denominada ProKnow-C. Como resultado, foram selecionados 38 artigos, sendo 9 de revisão e 29 de estudos de caso, que foram lidos e interpretados, a partir do levantamento das informações de categoria de uso e ocupação, unidade de medida de energia e conforto, LOD mínimo, *software* BIM e *softwares* e ferramentas BEM.

Palavras-chave: *Building Information Modeling* (BIM). *Building Energy Modeling* (BEM). Análise de energia.

Abstract

According to data from UNEP (2024), the construction and building sector is estimated to account for 37% of global CO_2 emissions. To mitigate the impacts of this sector on the environment, it is important to incorporate analyses of energy efficiency and thermal comfort into the building design process. Therefore, the virtual model of energy performance, BEM (Building Energy Modeling), and the BIM (Building Information Modeling) methodology are essential, especially in dimensions 6D and 7D, which are BIM dimensions that are less commonly utilized and encompass aspects of performance, maintenance, and sustainability. In light of this, this article aims to build a bibliographic portfolio on the topic of "BIM-BEM Integration" using the systematic methodology for searching and selecting articles called ProKnow-C. As a result, 38 articles were selected, including 9 reviews and 29 case studies, which were read and interpreted based on the collection of information regarding usage and occupation category,

Como citar:
WOLKART, I. C.; JESUS, L. A. N. Integração BIM-BEM: Revisão sobre o uso da metodologia BIM para análise termoenergética. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

energy and comfort measurement unit, minimum LOD, BIM software and BEM softwares and tools.

Keywords: Building Information Modeling (BIM). Building Energy Modeling (BEM). Energy analysis.

INTRODUÇÃO

O aquecimento global provocou um aumento médio de 1,07ºC na temperatura da Terra, se comparado ao período pré-industrial, com variações entre regiões, áreas terrestres e oceanos [1].

A construção civil e as edificações possuem grande responsabilidade nessas emissões de CO_2 na atmosfera. Somente esse setor representa 37% das emissões globais de CO_2 relacionadas com a energia e processos [2]. No Brasil essa taxa é de 38% [3].

Visando diminuir as emissões de gases de efeito estufa e conter as mudanças climáticas, em 2015 foi assinado por 195 países, incluindo o Brasil, o Acordo de Paris, cujo objetivo é até 2050 atingir um mundo neutro em emissões de CO_2 e limitar o aquecimento global abaixo dos 2 °C, se comparado aos níveis pré-indústrias.

Como medidas para promover o uso racional de energia elétrica foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem: conduzido pelo INMETRO e PROCEL, que estabelece a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) voluntária ou compulsória, incluindo a etiqueta PBE Edifica, para medir o nível de eficiência energética das edificações entre A (mais eficiente) e E (menos eficiente) [4]. E, para atender os requisitos mínimos dos usuários quanto aos sistemas que compõem as edificações, foram criadas as Normas Brasileiras, NBR 15220:2005 de Desempenho Térmico para Edificações [5] e NBR 15575:2024 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos [6], que estabelece os requisitos e critérios mandatórios de desempenho em edificações residenciais brasileiras.

Paralelamente a isso, o uso da metodologia BIM para a elaboração de projetos, apresenta uma tendência de crescimento na indústria AEC (arquitetura, engenharia e construção). Em 2020 o Brasil assinou o Decreto n° 10.306 [7] que torna obrigatório o uso da metodologia BIM para a execução de obras e serviços de engenharia realizados, direta ou indiretamente, pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal.

Dessa forma, com o crescimento da metodologia BIM na indústria AEC e a urgência de construções mais sustentáveis, os *softwares* BIM são ferramentas que podem facilitar e viabilizar esses projetos. Contudo, esses *softwares*, até o momento, não são considerados plenamente confiáveis para simulações de desempenho termoenergético, o que dificulta o processo de projeto sustentável e inviabiliza a prática da filosofia BIM nesse tipo de análise.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

BIM

O BIM (*Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção) é uma construção virtual criada para gerenciar informações em um projeto de construção em todo seu ciclo de vida. Quando completos, esses modelos computacionais contêm geometria precisa e os dados necessários para dar suporte às atividades de construção, fabricação e contratação por meio das quais uma edificação é construída, operada e mantida [8].

As informações contidas no modelo BIM são organizadas em dimensões e cada dimensão contém um dado conjunto de informações. Até o momento, são três dimensões consolidadas: 3D- Modelagem tridimensional, 4D- Planejamento e 5D- Orçamento. Na dimensão 3D o nível de detalhamento do modelo BIM é denominado LOD (*Level of Development*) e pode variar de 100 a 500. O BIM 4D trata do planejamento e gerenciamento de cronogramas, tornando explorações de diferentes cenários mais fáceis e viáveis economicamente. E, dado que o cronograma é alinhado com os custos, o BIM 5D, é responsável pelo levantamento de quantitativo e estimativa de custos [8]. Há ainda o conceito do BIM 6D e 7D, dimensões pouco exploradas que abrangem o ciclo de vida da construção, através de aspectos de desempenho, manutenção e sustentabilidade [9]. No entanto, problemas de interoperabilidade dificultam a implementação dessas dimensões no processo de projeto BIM.

INTEROPERABILIDADE BIM-BEM

BEM (*Building Energy Modeling* ou Modelagem de Energia da Construção) é o modelo virtual de desempenho termoenergético do edifício. Este tipo de simulação permite que soluções projetuais sejam testadas na etapa de projeto, de forma a aumentar a eficiência energética e reduzir o consumo de energia.

Segundo Sacks et al. [8] uma interface efetiva entre uma plataforma BIM e uma ferramenta de análise envolve necessariamente:

> *1. Designação de atributos e relações específicos na plataforma BIM, consistentes com aqueles necessários para a análise.*
>
> *2. Funções para compilação de um modelo de dados analítico que contenha abstrações apropriadas da geometria do edifício para que este represente a edificação de forma válida e precisa para o software de análise especificado. O modelo analítico que é abstraído do modelo BIM físico será diferente para cada tipo de análise.*
>
> *3. Um formato de intercâmbio mutuamente suportado para transferências de dados. Tais transferências devem manter associações entre o modelo de análise abstrato e o modelo BIM físico e incluir informação de ID (identificação) para suportar atualização incremental em ambos os lados do intercâmbio* [9, p.199].

E, uma análise BIM-BEM precisa cumprir alguns requisitos especiais, são:

> *Um conjunto de dados para representação da envoltória externa para radiação solar; um segundo conjunto para representação de usos das zonas internas e da geração de calor; e um terceiro conjunto para representação da planta mecânica do sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC)* [9, p.20].

ABORDAGEM METODOLOGICA

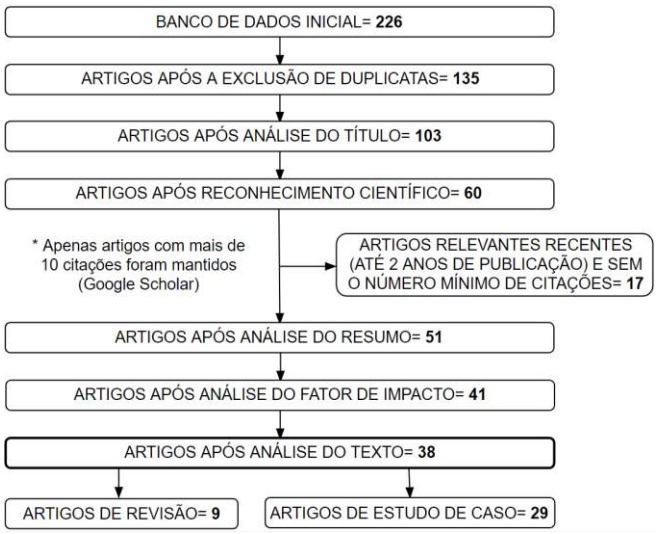
A revisão objetiva construir um portfólio bibliográfico acerca do tema "Integração BIM-BEM". Para isso, foi adotada a metodologia de sistematização de busca e seleção de artigos, denominada de Processo de Desenvolvimento do Conhecimento - Construtivista (ProKnow-C) [10] [11].

Foram utilizadas as palavras-chave: "*building information modeling* (BIM)" e "*building energy modeling* (BEM)" ou "*building performance simulations* (BPS)" ou "*building energy symulation* (BES)" ou "*building performance modeling* (BPM)". Definiu-se três bases de dados científicas, são: *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*. E, foram aplicados os filtros de: apenas artigos, artigos publicados entre 2019 e 2023 e que continham as palavras-chaves no título, ou no resumo, ou nas palavras-chaves.

RESULTADOS

A pesquisa gerou um banco de dados de 226 artigos, que após passar pelo processo de triagem, totalizou 38 artigos (Figura 1), sendo 9 artigos de revisão e 29 de estudo de caso.

Figura 1: Passo a passo da revisão



Fonte: os autores.

Os 38 artigos foram organizados no Quadro 1. Cada artigo foi alocado em uma linha com seus respectivos dados em colunas. As colunas denominas de autores e título identificam a publicação, enquanto as colunas tipo de edificação, unidade (energia e conforto), LOD (*Level of Development*) mínimo, *software* BIM e *softwares* e ferramentas BEM são informações coletadas e exploradas nos resultados desse artigo.

Quadro 1: Portfólio bibliográfico (continua)

Autores	Título	Tipo de edificação	Unid. (energia e conforto)	LOD mínimo	*Software* BIM	*Softwares* e ferramentas BEM
Annamaria Ciccozzi; Tullio de Rubeis; Domenica Paoletti e Dario Ambrosini	BIM to BEM for Building Energy Analysis: A Review of Interoperability Strategies	Revisão				
Zhaoji Wu; Jack C.P. Cheng; Zhe Wang; Helen H.L. Kwok	An ontology-based framework for automatic building energy modeling with thermal zoning	Inst.	kWh	indef.	*Revit®*	*EnergyPlus*
Nathalia Fonseca Arenas; Muhammad Shafique	Recent progress on BIM-based sustainable buildings: State of the art review	Revisão				
Dong Eun Jung; Seohoon Kim; Seolyee Han; Seunghwan Yoo;Hakgeun Jeong; Kwang Ho Lee; Jonghun Kim	Appropriate level of development of in-situ building information modeling for existing building energy modeling implementation	Comercial	kWh	350	*Revit®*	*DesignBuilder* e *EnergyPlus*
Hang Li; S.M.; Jiansong Zhang	Improving IFC-based interoperability between BIM and BEM using invariant signatures of AVAC objects	Comercial e Resid.	GJ e MJ	indef.	*Revit®*	*EnergyPlus* e *OpenStudio*
Víctor Pérez-Andreu; Antonio Adán Oliver; Carolina Aparicio-Fernández ; José-Luis Vivancos Bono	Thermal characterization of buildings with as-is thermal-Building Information Modelling	Inst.	kWh	indef.	*Revit®*	*EnergyPlus*, *DesingBuilder* e *Trnsys*
Ngoc-Son Truong; Duc Long Luong; Quang Trung Nguyen	BIM to BEM transition for optimizing envelope design selection to enhance building energy efficiency and cost-effectiveness	Inst.	kWh	indef.	*Revit®*	*Revit®*+ *Insight 360 + Green Building Studio*

Quadro 1: Portfólio bibliográfico (continua)

Autores	Título	Tipo de edificação	Unid. (energia e conforto)	LOD mínimo	*Software* BIM	*Softwares* e ferramentas BEM
João M. P. Q. Delgado; Ana S. Guimarães; João Poças Martins; Diogo F. R. Parracho; Sara S. Freitas; António G. B. Lima; Leonardo Rodrigues	BIM and BEM interoperability evaluation of a case study in modular wooden housing	Resid.	indef.	indef.	*Revit*	*DesignBuilder* e *EnergyPlus*
Hang Li; Jiansong Zhang; Soowon Chang; Anthony Sparkling	BIM-based object mapping using invariant signatures of AEC objects	Comercial	GJ	indef.	*Revit*	OpenStudio e *EnergyPlus*
Jie Zhang; Xuping Zhu; Abdul Mateen Khan; Moustafa Houda; Sardar Kashif Ur Rehman; Mohammed Jameel; Muhammad Faisal Javed; Raid Alrowais	BIM-based architectural analysis and optimization for construction 4.0 concept (a comparison)	Inst.	kWh	indef.	*Revit*	*Revit®+ Insight 360 + Green Building Studio*
Giuseppe Desogus; Caterina Frau; Emanuela Quaquero; Giulia Rubiu	From building information model to digital twin: A framework for building thermal comfort monitoring, visualizing, and assessment	Inst.	PMV e PPD	indef.	*Revit*	*Revit®+ Dynamo*
Mohammad Nyme Uddin; Israt Jahan Ruva; Md. Abu Syed; Didar Hossain; Raju Akter; Nesat Tamanna; Atikur Rahman; Abdullahi Saka	Occupant centric energy renovation strategy for hospital and restaurant building envelop using distinct modellingtools: A case study from lowincome cultural context	Inst. e Comercial	kWh	indef.	indef.	*DesignBuilder* e *Green Building Studio*
Carla Di Biccari; Filippo Calcerano; Francesca D'Uffizi; Antonio Esposito; Massimo Campari; Elena Gigliarelli	Building information modeling and building performance simulation interoperability: State-of-the-art and trends in current literature	Revisão				

Quadro 1: Portfólio bibliográfico (continua)

Autores	Título	Tipo de edificação	Unid. (energia e conforto)	LOD mínimo	*Software* BIM	*Softwares* e ferramentas BEM
Letizia D'Angelo; Magdalena Hajdukiewicz; Federico Seri; Marcus M. Keane	A novel BIM-based process workflow for building retrofit	Resid.	kWh	300	*Revit*	*EnergyPlus®* e *Integrated Environmental Solutions®*
Georgios Gourlis; Iva Kovacic	A holistic digital twin simulation framework for industrial facilities: BIM-based data acquisition for building energy modelin	Industrial	m².k/W	400	*Revit*	*Revit®+ Dynamo*
Faham Tahmasebinia; Ruifeng Jiang; Samad Sepasgozar; Jinlin Wei; Yilin Ding; Hongyi Ma	Using Regression Model to Develop Green Building Energy Simulation by BIM Tools	Inst.	MJ	indef.	*Revit*	*Revit®+ Insight 360 + Green Building Studio*
Md Hamidul Islam; Md. Abu Safayet; Abdullah Al Mamun	Building performance analysis for optimizing the energy consumption of an educational building	Inst.	Kbtu	indef.	*Revit*	*Revit®+ Insight 360 + Green Building Studio*
Yikun Yang; Yiqun Pan; Fei Zeng; Ziran Lin; Chenyu Li	A gbXML Reconstruction Workflow and Tool Development to Improve the Geometric Interoperability between BIM and BEM	Inst. e Inst.	Não se aplica	indef.	*Revit*	*OpenStudio* e *EnergyPlus*
M.N. Uddin; Q. Wang; Hsi Hsien Wei; Hung Lin Chi; Meng Ni	Building information modeling (BIM), System dynamics (SD), and Agent-based modeling (ABM): Towards an integrated approach	Comercial	PMV	indef.	*Revit*	*Revit®+ Dynamo*
M.K. Bracht; A.P. Melo; R. Lamberts	A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage	Resid.	kWh	indef.	*Archicad, Revit* e *OpenBuildings Designer*	Não se aplica

Quadro 1: Portfólio bibliográfico (continua)

Autores	Título	Tipo de edificação	Unid. (energia e conforto)	LOD mínimo	*Software* BIM	*Softwares* e ferramentas BEM
João Gabriel Carriço de Lima Montenegro Duarte; Bruno Ramos Zemero; Ana Carolina Dias Barreto de Souza; Maria Emília de Lima Tostes; Ubiratan Holanda Bezerra	Building Information Modeling approach to optimize energy efficiency in educational buildings	Inst.	kWh	indef.	*Revit*	*Revit®*+ *Insight 360* e *DesignBuilder*
Mohamed K. Watfa; Amal E. Hawash; Kamal Jaafar	Using building information e energy modelling for energy efficient designs	Resid.	kWh	indef.	Revit	AECOsim Energy Simulator
Jorge González; Carlos Alberto Pereira Soares; Mohammad Najjar; Assed N. Haddad	BIM and BEM Methodologies Integration in Energy-Efficient Buildings Using Experimental Design	Resid.	kWh	indef.	*Revit*	*Insight 360* e *Green Building Studio*
José Pedro Carvalho; Manuela Almeida; Luís Bragança; Ricardo Mateus	BIM-based energy analysis and sustainability assessment—application to portuguese buildings	Resid.	kWh	300	*Revit*	*Cypetherm REH*
Gabriela Bastos Porsani; Kattalin Del Valle de Lersundi; Ana Sánchez-Ostiz Gutiérrez; Carlos Fernández Bandera	Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM)	Resid. e Industrial	kWh	300	*Revit*	*Design Builder, Open Studio, CYPETHERM HE* e *EnergyPlus*
Marina Bonomolo; Simone Di Lisi; Giuliana Leone	Building Information Modelling and Energy Simulation for architecture design	Resid.	kWh	indef.	*Archicad*	*Archicad + EcoDesigner STAR*
Fernanda Rodrigues; Anastasiya Isayeva; Hugo Rodrigues; Armando Pinto	Energy efficiency assessment of a public building resourcing a BIM model	Inst.	kWh	indef.	*Revit*	*Green Building Studio*
Issa J. Ramaji; John I. Messner; Ehsan Mostavi	IFC-based BIM-to-BEM model transformation	Comercial	kWh	indef.	*Revit*	*OpenStudio*

Quadro 1: Portfólio bibliográfico (continua)

Autores	**Título**	**Tipo de edificação**	**Unid. (energia e conforto)**	**LOD mínimo**	***Software* BIM**	***Software*s e ferramentas BEM**
Mohamed H. Elnabawi	Building Information Modeling-based Building Energy Modeling: Investigation of interoperability and simulation results	Resid.	kWh	indef.	*Revit*	*DesignBuilder* e *Virtual Environment (IES-ve)*
Ana Rocha; Debora Pinto; Nuno M.M. Ramos; Ricardo M.S.F. Almeida; Eva Barreira; M. Lurdes Simoes; Joao Poças Martins; Pedro F. Pereira; Luís Sanhudo	A case study to improve the winter thermal comfort of an existing bus station	Instituição	kWh, PMV e PPD	indef.	*Revit*	*DesignBuilder*
Y. Lia; S. Kubickia; A. Guerrieroa; Y. Rezgui	Review of building energy performance certification schemes towards future improvement	Revisão				
Ando Andriamamonjya; Dirk Saelensa; Ralf Klein	A combined scientometric and conventional literature review to grasp the entire BIM knowledge and its integration with energy simulation	Revisão				
A.U. Weerasuriya; Xuelin Zhanga; Vincent J.L. Gana; Yi Tan	A holistic framework to utilize natural ventilation to optimize energy performance of residential high-rise buildings	Resid.	kWh	indef.	indef.	*eQUEST*
Adrian Chong; Weili Xub; Song Chao; Ngoc-Tri Ngo	Continuous-time Bayesian calibration of energy models using BIM and energy data	Comercial	kWh	indef.	*Revit*	*EnergyPlus*
Ehsan Kamela; Ali M. Memari	Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions	Revisão				
Hao Gaoa; Christian Kochb; Yupeng Wu	Building information modelling based building energy modelling: A review	Revisão				

Quadro 1: Portfólio bibliográfico (conclusão)

Autores	Título	Tipo de edificação	Unid. (energia e conforto)	LOD mínimo	*Software* BIM	*Softwares* e ferramentas BEM
Z. Pezeshki; A. Soleimani; A. Darabi	Application of BEM and using BIM database for BEM: A review	Revisão				
Aida Farzaneh; Danielle Monfet; Daniel Forgues	Review of using Building Information Modeling for building energy modeling during the design process	Revisão				

Fonte: os autores.

Ao analisar as informações do portfólio bibliográfico, foi possível realizar algumas inferências para auxiliar em pesquisas futuras.

A categoria de uso predominante é a institucional (13 publicações), equivalente a 39,4% dos estudos. As outras categorias são residencial (11 publicações), comercial (7 publicações) e industrial (2 publicações).

Para o cálculo do consumo energético a maioria dos artigos padronizaram os resultados em kWh (quilowatt-hora) e/ou MJ (megajoule). Quatro artigos apresentam os índices de conforto térmico, padronizados em Voto Médio Previsto (PMV) e/ou Percentagem Prevista de Insatisfação (PPD).

Uma das discussões que envolve o BIM e o BEM, é o nível mínimo de detalhamento (LOD mínimo) do modelo BIM para que se possa realizar a análise energética. 83% dos artigos de estudo de caso não definiram o LOD utilizado (24 artigos). Dos que definiram, o LOD 300 foi o mais utilizado (3 artigos). Foi encontrada uma publicação com o LOD 350 e uma com o LOD 400.

Para o desenvolvimento do modelo BIM, o *software* de modelagem mais utilizado foi o *Revit®*, adotado por 26 dos 29 artigos de estudo de caso (90%). Outros *softwares* BIM utilizados foram o *ArchiCAD®* (2 artigos) e *OpenBuildings Designer®* (1 artigo). Os três *softwares* foram utilizados isoladamente por Bracht, Melo e Lamberts [12] para avaliar uma nova ferramenta para melhorar a integração BIM-BEM. E, 2 dos artigos não definiram o *software* BIM utilizado.

Por fim, dos *softwares* e ferramentas mais utilizados para simulação termoenergética, o *EnergyPlus®* foi o mais utilizado (11 publicações), seguido pelo *DesignBuilder®* (7 publicações), *Green Building Studio®* (GBS®) (7 publicações), *Insight 360* (6 publicações) e *OpenStudio®* (5 publicações). O *OpenStudio®* foi utilizado em 4 das 5 publicações junto do *EnergyPlus®* e o *DesignBuilder®* foi utilizado com o *EnergyPlus®* em 3 dos 7 artigos. O *DesignBuilder®* e o *OpenStudio®* possuem o *EnergyPlus®* integrado, dessa forma é possível realizar simulações nesses *softwares* com o algoritmo do *EnergyPlus®* [13] [14], além disso, muitos pesquisadores e projetistas optam por modelar nesses *softwares* e exportar o arquivo para o *EnergyPlus®*, visto que é um *software* reconhecido mundialmente para simulações termoenergéticas [15], contudo a modelagem é complexa e ocorre por meio de vetores. Com o objetivo similar, a versão 2022 do *Revit®* trouxe o *EnergyPlus®* incorporado à ferramenta

"Análise de Sistemas", que promete traduzir os dados do *Revit®* para o *EnergyPlus®*, para que este execute a simulação e crie o relatório [16]. Contudo não foi encontrado nenhum artigo que avaliasse essa integração BIM-BEM.

Além da ferramenta "Análise de sistema" o *Revit®* disponibiliza dois *plugins* para análise de energia, *Insight 360* e *GBS®*. O *Insight 360* foi desenvolvido como um *plugin* de desempenho, análises térmicas e simulações da *Autodesk* e foi inserido como ferramentas no *Revit®,* desde a versão 2021, no campo denominado de "Análise de Energia" [17]. O *GBS®* também foi inserido no *Revit®* e alimenta as ferramentas de análise de energia de todo o edifício [18]. A vantagem nesse caso é que toda a simulação ocorre no *software* BIM, contudo alguns autores encontraram limitações nessas ferramentas. Rodrigues et al. [19] avaliaram o *GBS®* e encontraram limitações na avaliação de sistemas AVAC. Chong et al. [20] e Tahmasebinia et al. [21] utilizaram o *software* em estudos de caso e alertaram sobre problemas na precisão dos resultados. Em contrapartida, o *software* BIM *Archicad®* possui a ferramenta de avaliação energética *EcoDesigner STAR,* lançado em 2013 pela *GRAPHISOFT* como um *software* independente e inserido como ferramenta no *Archicad 16®* [22]. A ferramenta de simulação, pouco explorada, foi avaliada por Bonomolo, Di Lisi e Leone [23] que encontraram resultados satisfatórios, mas alertam para limitações principalmente no sistema de aquecimento.

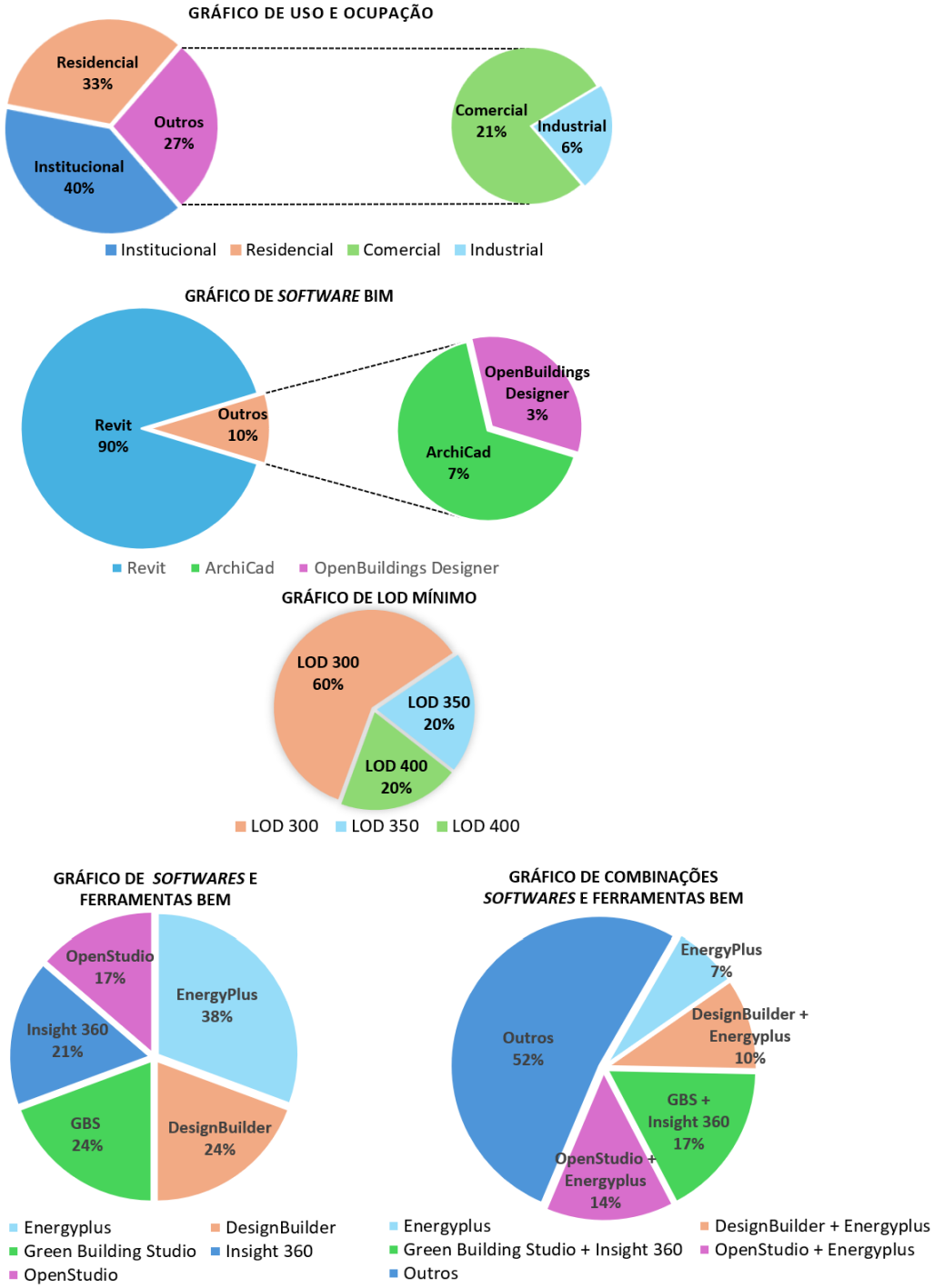
Por fim, com base nos dados do portfólio, foram criados gráficos para sintetizar as informações e indicar diretrizes para pesquisas futuras (Figura 2). O gráfico de "Uso e ocupação" indica que faltam estudos sobre "Integração BIM-BEM" que utilizem a tipologia comercial e industrial, além de edifícios históricos, que não foram encontrados em nenhuma das publicações. Tipologias comercial e industrial costumam apresentar um impacto ambiental significativo, devido ao funcionamento intenso, por isso, é importante prever formas de diminuir o consumo de energia dessas edificações. Edifícios históricos, por sua vez, frequentemente necessitam de reformas e adaptações para atender aos atuais requisitos de conforto térmico, acessibilidade e outros padrões. A análise dessa tipologia possui especificidades importantes de serem estudadas, devido aos tipos de materiais e sistemas utilizados e a prudência em preservar o patrimônio existente.

O gráfico de *software* BIM indica que o *Revit®* predomina nos estudos, sendo que apenas 10% utilizaram outros *softwares*. Dada essa preferência pelo *Revit®,* é importante que se analise as atualizações feitas pela *Autodesk* voltadas para simulações termoenergética no BIM, como a inserção do *EnergyPlus®* a ferramenta "Análise de Sistemas" [16]. Além desse, é importante que os pesquisadores explorem outros *softwares* BIM, como o *ArchiCAD®,* que possui a ferramenta de avaliação energética *EcoDesigner STAR* [22]. Para iniciar essas análises na etapa de projeto o portfólio indicou que o LOD 300 é o mais recomendado, não sendo recomendado exceder o LOD 400.

Ao realizar análises termoenergética em *softwares* independentes do BIM, o gráfico de "*Softwares* e ferramentas BEM" e o gráfico de "Combinações de *softwares* e ferramentas BEM" indica que a maioria dos estudiosos optam por utilizar os *softwares* BEM *EnergyPlus®,* especialmente junto do *OpenStudio®* ou *DesignBuilder®*, e o *GBS®* com o *Insight 360* (Figura 2). O *EnergyPlus®* era de se esperar que seria o mais utilizado

do portifólio, visto que é um *software* reconhecido mundialmente para simulações termoenergéticas [19] e foi integrado a outros *softwares*. No entanto, como a pesquisa bibliográfica utilizou "BIM" como uma das palavras-chave, o *GBS®* com o *Insight 360* também foi muito utilizado devido à sua boa interoperabilidade com o *software* BIM *Revit®*. Ambos pertencem a empresa *Autodesk* e evoluíram de *softwares* independentes para ferramentas do programa BIM.

Figura 2: Gráficos síntese



Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

Com o crescimento do uso da metodologia BIM e a necessidade do setor da construção civil de reduzir as emissões de carbono na atmosfera, é importante, encontrar métodos eficientes para integrar a análise de consumo energético na etapa de projeto de edifícios utilizando a metodologia BIM. Para isso, é fundamental promover o aprimoramento e a pesquisa contínua nessa área.

As empresas de *softwares* BIM estão atualizando as suas ferramentas em busca de soluções para problemas de interoperabilidade, no entanto, faltam estudos que avaliem a confiabilidade dos dados gerados. Como diretriz para pesquisas futuras, recomenda-se a utilização de diferentes estudos de caso, como as tipologias industrial, comercial e histórica, e que seja explorado *softwares* BIM diferentes do *Revit®*, inclusive com métodos *Open BIM*.

Recomenda-se utilizar o LOD 300 para iniciar as análises termoenergéticas, visto que se enquadra numa etapa decisiva de projeto e permite a proposição de soluções sustentáveis. Além disso, para uma melhor difusão das informações, aconselha-se padronizar os resultados do consumo energético em kWh ou MJ e de conforto térmico em PMV e/ou PPD.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste estudo agradecem o apoio financeiro concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES).

REFERÊNCIAS

[1] IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change. AR6 Syntesis Report**: Climate Change 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf > . Acesso em: 27 nov. 2023.

[2] UNEP. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2024. **2023 Global status report for buildings and construction**. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/45095/global_status_report_buildings_construction_2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 16 mar. 2024.

[3] UNEP. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2020. **Emissões do setor de construção civil atingiram recordes em 2019** – relatório da ONU. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/emissoes-do-setor-de-construcao-civil-atingiram#:~:text=Ao%20adicionar%20as%20emiss%C3%B5es%20da%20ind%C3%BAstria%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil%20%C3%A0s,de%20CO2%20relacionadas%20%C3%A0%20energia>. Acesso em 27 de nov. 2023.

[4] Brasil. Ministério de Minas e Energia. Eletrobras/Procel. **Sobre o PBE Edifica**. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 05 dez. 2023.

[5] ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

[6] ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

[7] Brasil. **Decreto n° 10.306, de 2 de abril de 2020**. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Brasília, 2020.

[8] Sacks, Rafael et al. **Manual de BIM**: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção Para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores. Bookman Editora, 2021.

[9] Araujo, Aline M. F. **Bim plataforma 6D e 7D**: sustentabilidade e ciclo de vida. Contentus. 1 ed, v. 1. Curitiba, 2020.

[10] Vilela, L. O. **Aplicação do Proknow-C para seleção de um portifólio bibliográfico e análise bibliométrica sobre avaliação de desempenho da gestão do conhecimento**. Revista Gestão Industrial, v. 8, n. 1, 9 maio 2012.

[11] Waiczyk, C.; Ensslin, E. R. **Vista do Avaliação de produção científica de pesquisadores_ mapeamento das publicações científicas**. Revista Contemporânea De Contabilidade, v. 10, 2013.

[12] Bracht, M. K.; Melo, A. P.; Lamberts, R. **A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage**. Automation in Construction, v. 121, p. 103422, 2021.

[13] DesignBuilder Software. **Simulação EnergyPlus**, 2024. Disponível em: <https://designbuilder.co.uk/35-support/tutorials/96-designbuilder-online-learning-materials> Acesso em 21 jul. 2024.

[14] OpenStudio. **OpenStudio®**, 2024. Disponível em: <https://openstudio.net/> Acesso em 02 ago. 2024.

[15] DOE. U.S. Department of Energy. ***EnergyPlus* Energy Simulation *Software*. U. S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy**. Disponível em: <https://*EnergyPlus*.net/> Acesso em 12 nov. 2023.

[16] Autodesk. ***Revit®* Systems Analysis**, 2023. Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/ENU/?guid=GUID-A262F53F-B389-4846-89EF-5855F55476A5> Acesso em 13 nov. 2023.

[17] Autodesk. **Insight**, 2023. Disponível em: <https://insight360.autodesk.com/OneEnergy/Landing/Download> Acesso em 05 mar. 2024.

[18] Autodesk. **Green Building Studio®**. Disponível em: <https://gbs.autodesk.com/gbs> Acesso em 13 nov. 2023.

[19] Rodrigues, F. et al. **Energy efficiency assessment of a public building resourcing a BIM model**. Innovative Infrastructure Solutions, v. 5, n. 2, 2020.

[20] Chong, A. et al. **Continuous-time Bayesian calibration of energy models using BIM and energy data**. Energy and Buildings, v. 194, p. 177–190, 2019.

[21] Tahmasebinia, F. et al. **Using Regression Model to Develop Green Building Energy Simulation by BIM Tools**. Sustainability, v. 14, n. 10, maio 2022.

[22] GRAPHISOFT Brasil. **EcoDesigner**, 2024. Disponível em: <https://graphisoft.com/br/downloads/ecodesigner> Acesso em 04 de mar. 2024.

[23] Bonomolo, M.; di Lisi, S.; Leone, G. **Building information modelling and energy simulation for architecture design**. Applied Sciences (Switzerland), v. 11, n. 5, p. 1–32, 2021.