XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8481

Interoperabilidade entre BIM e BEM: uma revisão da literatura

Interoperability between BIM and BEM: A Literature Review

Nathalia Cardoso de Azevedo
UFPR | Curitiba | Brasil | nataliaca.arq@gmail.com
Sérgio Fernando Tavares
UFPR | Curitiba | Brasil | sergioftavares@gmail.com

Resumo

As ações humanas, sobretudo pela emissão de gases de efeito estufa, têm contribuído de forma significativa para o aquecimento global, sendo o ambiente construído um dos principais responsáveis. Nesse contexto, as ferramentas *Building Energy Modeling* (BEM) permitem a análise de diferentes cenários de desempenho energético, enquanto o *Building Information Modeling* (BIM) integra a geometria e informações essenciais ao processo de projeto. No entanto, a troca de informações entre as ferramentas ainda enfrenta desafios, devido à dependência de formatos padronizados. Diante disso, esta pesquisa consistiu em uma revisão sistemática da literatura baseada no método PRISMA, com o objetivo de mapear os fluxos de trabalho e as barreiras de interoperabilidade entre BIM e BEM. As buscas realizadas nas bases de dados *Web of Science (WoS)* e *Scopus* resultaram em 682 artigos, dos quais 42 foram selecionados após a aplicação dos critérios de inclusão, exclusão e elegibilidade. A revisão permitiu identificar os principais processos de troca de informações, como abordagens diretas por formatos padronizados e estratégias de automação, além das limitações relatadas na interface BIM-BEM. Apesar desses avanços, a interoperabilidade ainda apresenta limitações relevantes, especialmente no que se refere à padronização dos formatos e à qualidade dos modelos, impactando na confiabilidade e na automação dos fluxos de trabalho.

Palavras-chave: BIM. BEM. Interoperabilidade. BES. BEPS

Abstract

Human activities, particularly through the emission of greenhouse gases, have significantly contributed to global warming, with the built environment being one of the main contributors. In this context, Building Energy Modeling (BEM) tools enable the analysis of different energy performance scenarios, while Building Information Modeling (BIM) integrates geometry and essential information into the design process. However, information exchange between these tools still faces challenges due to a dependency on standardized formats. Against this background, this research consisted of a systematic literature review based on the PRISMA method, aiming to map the workflows and interoperability barriers between BIM and BEM. Searches conducted in the Web of Science (WoS) and Scopus databases yielded 682 articles, from which 42 were selected after applying inclusion, exclusion, and eligibility criteria. The review identified the main information exchange processes, such as direct approaches using standardized formats and automation strategies, as well as the limitations reported in the BIM-BEM interface. Despite these advances, interoperability still presents significant limitations, particularly regarding the standardization of formats and the quality of models, impacting the reliability and automation of workflows.

Keywords: BIM. BEM. Interoperability. BES. BEPS

INTRODUÇÃO

As ações humanas, especialmente pela liberação de gases de efeito estufa, têm contribuído para o aquecimento global, cujos impactos já se refletem no aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos em todas as regiões do mundo [32]. Diante disso, o ambiente construído destaca-se como um dos principais contribuintes, pois os edifícios são responsáveis por mais de 40% do consumo global de energia e por cerca de um terço dessas emissões, considerando o processo de construção, operação, transporte e manutenção [15, 45].

Para mitigar esse cenário, a Modelagem Energética de Edificações (BEM) utiliza simulações computacionais baseadas em princípios físicos. Essa abordagem possibilita, ainda na fase de projeto, a análise de alternativas relacionadas à eficiência energética da edificação. Seus resultados auxiliam os profissionais do setor da construção e os usuários na escolha assertiva de componentes para o envelope, como esquadrias, sistema de iluminação e climatização [46].

Nesse contexto, a integração entre BIM e BEM pode contribuir significativamente para a quantificação, análise e otimização das decisões ao longo do desenvolvimento do projeto, uma vez que o BIM reúne a geometria e informações essenciais para apoiar os processos de projeto e construção [47]. Entretanto, o compartilhamento de informações entre as ferramentas ainda representa um desafio, dependendo do uso de formatos padronizados, como o IFC (*Industry Foundation Classes*) e o *gbXML* (*Green Building XML*). Enquanto o *gbXML* foi desenvolvido para facilitar a modelagem energética, o IFC apresenta uma estrutura mais abrangente, incluindo diferentes tipos de dados que nem sempre são aplicáveis às simulações energéticas [21].

Esse artigo tem como objetivo analisar o panorama atual da interoperabilidade BIM-BEM, identificando os fluxos de trabalho empregados e as principais limitações relatadas na literatura.

MÉTODO

Para alcançar o objetivo proposto, realizou-se uma revisão sistemática da literatura, a fim de mapear os fluxos de troca de informações na interface BIM-BEM e as principais limitações relatadas nos estudos analisados.

A revisão foi conduzida com base nas diretrizes do método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), utilizado para garantir transparência e rigor no processo [48]. As buscas foram realizadas em março de 2026 nas bases de dados Scopus e *Web of Science* (WoS) utilizando as palavras-chave: “BIM”, “BEM”, “*Building Energy Modeling*” e “*Building Energy Performance Simulation*”. Inicialmente, foram encontrados 682 artigos, sendo 277 na WoS e 405 no Scopus.

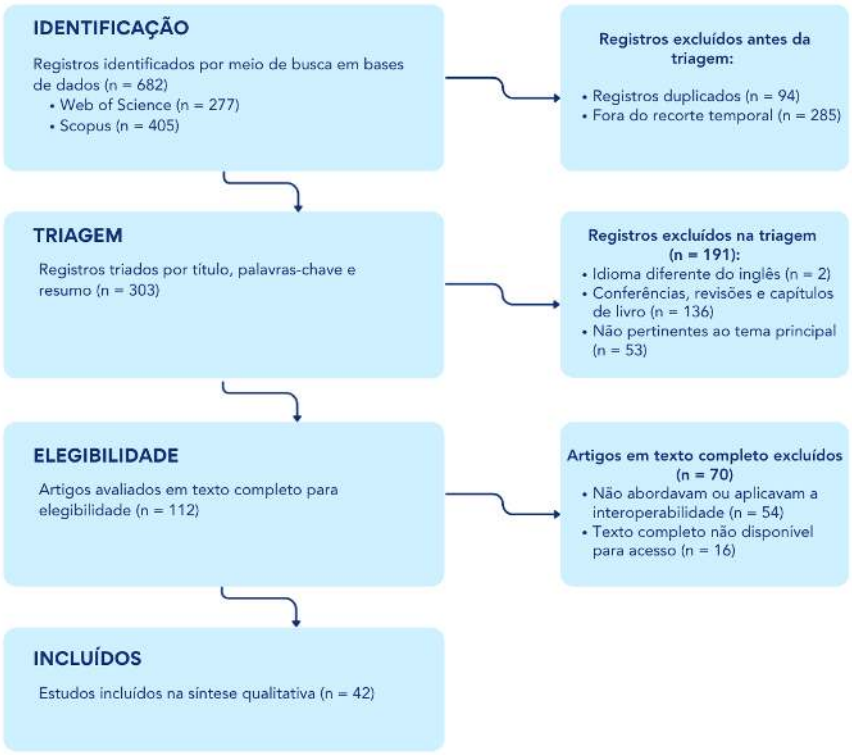
Nesta etapa inicial, foram removidos os artigos duplicados e aplicado o recorte temporal de publicação entre 2020 e 2026, utilizando os filtros das próprias bases de

dados. A escolha desse período justifica-se pelo intuito de mapear os avanços dos últimos anos sobre o processo de interoperabilidade e obter discussões mais recentes da literatura. Essa primeira filtragem resultou na exclusão de 379 artigos, dos quais 94 eram registros duplicados e 285 estavam fora do limite temporal, restando 303 estudos para a etapa seguinte.

Na fase de triagem, foram aplicados critérios de exclusão adicionais baseados na leitura de títulos, palavras-chave e resumos. Foram desconsideradas as publicações em idiomas diferentes do inglês (2 artigos), trabalhos de conferência, revisões de literatura e capítulos de livro (136 artigos), além de estudos não pertinentes ao tema (53 artigos). Como resultado, 191 artigos foram excluídos, restando 112 para a próxima etapa.

Na etapa de elegibilidade, os 112 artigos foram analisados por completo, por meio da leitura integral das seções de metodologia, discussões e conclusão. O objetivo dessa fase foi verificar se os autores aplicaram a interoperabilidade entre BIM-BEM e se discutiram as limitações encontradas ou propuseram metodologias para alcançar a troca de informações. Dos 112 artigos, 54 foram descartados por não abordarem diretamente a interoperabilidade e 16 por não estarem disponíveis para acesso. Ao final desse processo, 42 artigos foram considerados elegíveis e incluídos na revisão sistemática. A figura 1 apresenta o fluxograma do processo de seleção dos artigos com base na metodologia PRISMA.

Figura 1: Fluxograma processo de seleção dos artigos



Fonte: os autores.

Para análise dos 42 artigos selecionados, as informações foram extraídas e categorizadas com o objetivo de identificar as principais evoluções e lacunas na interoperabilidade BIM-BEM. Observou-se uma divisão clara na literatura entre as abordagens que utilizam formatos padronizados e aqueles que buscam aprimorar os processos, o que direcionou a análise para duas vertentes principais: (a) os fluxos de trabalho baseados em formato padrão (IFC e *gbXML*), avaliando as ferramentas intermediárias de visualização, os formatos mais recorrentes, as limitações do processo, o nível de detalhamento da modelagem e os parâmetros necessários para mitigar erros; e (b) as abordagens focadas em automação, mapeando as soluções em desenvolvimento, as barreiras técnicas que visam superar e as restrições ainda encontradas nessas tecnologias automatizadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os artigos analisados foram organizados em duas categorias principais: (i) estudos que utilizaram diretamente formatos padronizados de interoperabilidade no fluxo BIM-BEM; e (ii) estudos que empregaram estratégias de automação com o objetivo de mitigar as limitações identificadas no uso desses formatos.

A tabela 1 apresenta a classificação dos artigos selecionados. Na primeira categoria, estão incluídos tanto os estudos que adotaram diretamente formatos como *gbXML* ou IFC quanto aqueles que utilizaram ferramentas intermediárias para visualização, verificação ou estruturação do modelo analítico antes da importação na ferramenta BEM. Já a segunda categoria contempla estudos que incorporaram estratégias de automação, como *scripts*, criação de *plugins* e *workflows* automatizados, visando aprimorar a interoperabilidade entre as plataformas.

Tabela 1: Classificação dos estudos quanto ao uso de formatos padronizados e estratégias de interoperabilidade BIM-BEM

Abordagem	Formato	Referência
Direta ou com ferramentas intermediárias	gbXML (ferramentas intermediárias EAM, Aragog, DesignBuilder Add-in, spider) e IFC (IFC Viwer, Open BIM Analytical Model, AutoBPS-BIM)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 27, 37, 39, 41 e 44.
Automação	Script, Plug-in, workflow automatizados	16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 38, 40, 42, 43

Fonte: os autores.

INTEROPERABILIDADE POR MEIO DE FORMATOS PADRONIZADOS

A literatura evidencia que a interoperabilidade entre BIM e BEM ainda apresenta limitações no uso de formatos padronizados, como o gbXML e o IFC. Essas limitações estão associadas, principalmente, à ausência de padronização entre as ferramentas, tanto no processo de exportação quanto no de importação, bem como à qualidade da modelagem BIM. Nesse contexto, destacam-se a necessidade de simplificação da

geometria, a definição adequada do Nível de Desenvolvimento do modelo (LOD) e o conhecimento do modelador, fatores que frequentemente resultam na necessidade de ajustes manuais nos modelos exportados.

Entre os estudos analisados, observa-se a predominância do uso do *gbXML*. Os autores reportam que ele é um formato mais simples em comparação ao IFC e mais adequado para simulação energética, uma vez que arquivos IFC tendem a ser mais complexos e pesados, o que pode gerar maiores obstáculos na interoperabilidade.

No que se refere à simplificação do modelo BIM, os estudos [3], [4], [5], [7] e [9] indicam a necessidade de simplificar os modelos para possibilitar a exportação bem-sucedida no formato *gbXML*. Ainda assim, ajustes adicionais foram necessários nas ferramentas de simulação energética. Alguns autores [7][13] buscaram avançar na interoperabilidade incluindo a exportação de cronogramas de operação, sistemas de ar condicionado e cargas internas. No entanto, as ferramentas BEM testadas não conseguiram importar essas informações com precisão, levando à conclusão de que esses dados devem ser definidos diretamente no ambiente BEM. Por outro lado, informações como geometria, divisão de zonas térmicas, propriedades dos materiais e orientação da edificação tendem a ser transferidas com maior consistência, ainda que, em alguns casos, com necessidade de ajustes.

Outro ponto recorrente refere-se aos níveis de desenvolvimento (LOD) do modelo BIM. O LOD é uma referência que permite aos profissionais especificar o conteúdo e a confiabilidade do modelo em vários estágios do processo de projeto e construção. Esse desenvolvimento ocorre de forma progressiva, ou seja, conforme o projeto evolui, maiores se tornam o volume e a maturidade das informações inseridas. Essa classificação é dividida em níveis que variam do LOD 100 ao LOD 500 [49][50]. Diante disso, os estudos indicam níveis entre 200 e 350 como os mais adequados para a simulação energética, pois consideram geometria, esquadrias, divisão de ambientes, pisos, paredes, dimensionamento e propriedades dos materiais [2][6][13][27]. Jung et al. (2023), ao compararem os resultados da simulação com o consumo real da edificação, observaram que o modelo com LOD 350 apresenta maior aproximação com o desempenho energético real.

Além disso, fatores como a padronização dos procedimentos, o rigor no processo de modelagem e o nível de conhecimento do modelador exercem influência direta nos resultados de exportação, evidenciando que a qualidade do modelo BIM determina a confiabilidade da interoperabilidade com a ferramenta BEM.

Ferramentas de pré-visualização, validação e estruturação de modelos analíticos também têm sido empregadas como suporte ao processo de interoperabilidade. Essas ferramentas permitem a análise e correção da geometria antes da importação para o BEM, auxiliando na redução de erros.

Por fim, os autores apontam a ausência de padronização tanto na exportação dos formatos padronizados nas ferramentas BIM quanto na importação nas ferramentas BEM. Testes realizados com diferentes combinações de softwares evidenciam divergências nos dados importados, demonstrando que cada software possui particularidades próprias [10][14][37]. Como resultado, os modelos gerados podem

variar significativamente em função da ferramenta, tornando o processo de interoperabilidade ainda mais complexo.

De maneira geral, os resultados apontam que, apesar dos avanços nas ferramentas e na adoção de formatos padronizados, a interoperabilidade entre BIM e BEM ainda enfrenta limitações, especialmente relacionadas à padronização de dados e à dependência da qualidade da modelagem.

INTEROPERABILIDADE POR MEIO DA AUTOMAÇÃO

Diante das limitações identificadas no uso de formatos padronizados, os estudos analisados propõem estratégias baseadas em automação com o objetivo de aprimorar a interoperabilidade entre BIM e BEM.

Parte dos estudos se concentra na melhoria da qualidade geométrica dos modelos por meio da criação de plugins para simplificação da geometria [16][25] e do desenvolvimento de metodologias para geração de superfícies espaciais de segundo nível (*Second-Level Boundaries – SBs*). Nesse contexto, as SBs em modelos IFC definem a representação das superfícies térmicas da edificação, necessária para a modelagem energética. Os autores destacam que grande parte dos erros geométricos é identificada nesse nível, tornando sua validação indispensável antes da importação na ferramenta BEM [18][23][34].

Outros estudos abordam a padronização e estruturação das informações por meio de abordagens como IDS (*Information Delivery Specification*), que permite definir requisitos mínimos e dados opcionais para melhorar a qualidade dos modelos energéticos [30] e a IDM (*Information Delivery Manual*), que organiza processos e requisitos de informação em fluxos BIM, contribuindo para o enriquecimento de modelos IFC voltados à simulação de desempenho [43].

Adicionalmente, alguns autores apontam que o uso de formatos padronizados como IFC, associado a tecnologias da *web* semântica, pode facilitar a transformação automática e flexível dos dados [19][40][29][33][35]. Essas abordagens incluem o enriquecimento dos arquivos IFC com informações orientadas ao BEM e a remoção de dados desnecessários, com o objetivo de reduzir perdas de informações durante o processo de interoperabilidade.

Outros estudos propõem fluxos de trabalho automatizados para integrar dados adicionais ao modelo analítico, indo além da geometria e das propriedades dos materiais, incluindo sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) [20][17][22][24]. Essas abordagens buscam trazer as informações MEP (Mecânica, Elétrica e Hidrossanitária) já indicadas nos modelos BIM para o BEM.

Apesar dos avanços proporcionados pela automação, os estudos ainda apontam limitações importantes. Dentre eles, destaca-se a dependência da qualidade e da estruturação do modelo BIM, uma vez que modelos inconsistentes e incompletos comprometem o desempenho dos algoritmos e exigem intervenções manuais, mesmo em fluxos automatizados. Além disso, geometrias complexas, como superfícies

inclinadas ou elementos não convencionais, continuam sendo um desafio, indicando que a simplificação geométrica ainda é uma estratégia necessária.

Outra limitação é a ausência de padronização entre as ferramentas. Mesmo com o uso de metodologias como o IDS e o IDM, a existência de diferentes modelos de dados e propriedades analíticas dificulta a transformação automática e consistente das informações. Por fim, a implementação dessas soluções exige conhecimento técnico especializado, o que pode dificultar sua aplicação no contexto profissional.

CONCLUSÃO

Esse estudo teve como objetivo analisar o estado atual da interoperabilidade entre as ferramentas BIM e BEM, identificando os processos existentes de troca de informações e suas principais limitações. A partir dos 42 artigos analisados, observou-se que 19 estudos empregaram abordagens diretas baseadas em formatos padronizados, enquanto 23 adotaram a automação.

Entre os formatos padronizados, o *gbXML* foi o mais adotado pelos autores devido à sua simplicidade e maior adequação para a simulação energética. Além disso, verificou-se o uso recorrente de ferramentas intermediárias para pré-visualização, geração e estruturação dos modelos analíticos, com o intuito de minimizar inconsistências antes da importação para as ferramentas BEM.

Constatou-se também um avanço no desenvolvimento de estratégias automatizadas, incluindo o desenvolvimento de *plugins*, aplicações baseadas em *web* semântica e fluxos de trabalho voltados principalmente à correção de erros geométricos e ao enriquecimento de propriedades no modelo. No entanto, essas soluções ainda atuam de forma pontual, sem contemplar todo o processo de interoperabilidade.

Apesar dos avanços identificados, ainda há limitações, especialmente relacionadas às inconsistências e à qualidade dos modelos BIM, que impactam tanto as abordagens diretas quanto as automatizadas. Adicionalmente, a ausência de padronização entre as ferramentas, que adotam diferentes estruturas de dados e propriedades analíticas, dificulta a troca de informações de forma consistente e confiável.

Dessa forma, conclui-se que a interoperabilidade entre BIM e BEM ainda apresenta desafios. Para viabilizar fluxos mais integrados, automatizados e confiáveis, é necessário o avanço na padronização dos formatos e na definição de requisitos de informação, aliado à melhoria das práticas de modelagem.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram a ferramenta Gemini para tradução e revisão do texto. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] BUONOMANO, Annamaria *et al.* Advancing sustainability in the maritime sector: energy design and optimization of large ships through information modelling and dynamic simulation. **Applied Thermal Engineering**, v. 235, p. 121359, 25 nov. 2023.

[2] JUNG, Dong Eun *et al.* Appropriate level of development of in-situ building information modeling for existing building energy modeling implementation. **Journal of Building Engineering**, v. 69, p. 106233, 15 jun. 2023.

[3] DELGADO, João M. P. Q. *et al.* BIM and BEM Interoperability–Evaluation of a Case Study in Modular Wooden Housing. **Energies**, v. 16, n. 4, p. 1579, 4 fev. 2023.

[4] CICCOZZI, Annamaria et al. BIM-BEM interoperability for energy analysis: A comparative study of different strategies. **Energy Reports**, v. 13, p. 4705–4718, jun. 2025.

[5] Kame KAMEL, Ehsan; KAZEMIAN, Ali. BIM-integrated thermal analysis and building energy modeling in 3D-printed residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 279, p. 112670, 15 jan. 2023.l; Kazemian, 2023)

[6] GIUDICE, Matteo Del *et al.* BIM-to-BEM Framework for Energy Retrofit in Industrial Buildings: From Simulation Scenarios to Decision Support Dashboards. **Sustainability**, v. 18, n. 2, 18 jan. 2026.

[7] GUPTA, Laxmi; SHARMA, Ramlal. BUILDING ENERGY PERFORMANCE MODELING AND SIMULATION OF HOTEL BUILDING. **Proceedings on Engineering Sciences**, v. 6, n. 4, p. 1497–1508, 7 dez. 2024.

[8] CARRIÇO DE LIMA MONTENEGRO DUARTE, João Gabriel et al. Building Information Modeling approach to optimize energy efficiency in educational buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 102587, 1 nov. 2021.

[9] ELNABAWI, Mohamed H. Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results. **Frontiers in Built Environment**, v. 6, p. 573971, 3 dez. 2020.

[10] VAZ, Carolina Fernandes *et al.* Building Information Modeling/Building Energy Simulation Integration Based on Quantitative and Interpretative Interoperability Analysis. **Infrastructures**, v. 9, n. 5, 6 maio 2024.

[11] LI, Hong Xian *et al.* Exploring and verifying BIM-based energy simulation for building operations. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 27, n. 8, p. 1679–1702, 26 jun. 2020.

[12] PRŮŠA, David *et al.* From BIM to BEM—Modern Thermal Simulations Using a Building Information Management Model: A Case Study. **Applied Sciences**, v. 15, n. 6, p. 2878, 7 mar. 2025.

[13] BARONE, Giovanni *et al.* Improving the Efficiency of Maritime Infrastructures through a BIM-Based Building Energy Modelling Approach: A Case Study in Naples, Italy. **Energies**, v. 14, n. 16, p. 4854, 9 ago. 2021.

[14] GUÍZAR DENA, Andrés Jonathan; GARCÍA HÍPOLA, María Del Carmen; FERNÁNDEZ BANDERA, Carlos. Optimization testing for the modeling and characterization of three-dimensional elements to enhance interoperability from building information modeling (BIM) to building energy modeling (BEM). **Energy and Buildings**, v. 317, p. 114394, ago. 2024.

[15] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Building and Climate Change: Summary for decision-makers**. France: UNEP, 2009.

[16] YANG, Yikun *et al.* A gbXML Reconstruction Workflow and Tool Development to Improve the Geometric Interoperability between BIM and BEM. **Buildings**, v. 12, n. 2, 15 fev. 2022.

[17] WANG, Meng *et al.* A knowledge graph-based framework to automate the generation of building energy models using geometric relation checking and HVAC topology establishment. **Energy and Buildings**, v. 325, p. 115035, 15 dez. 2024.

[18] YING, Huaquan; LEE, Sanghoon. A rule-based system to automatically validate IFC second-level space boundaries for building energy analysis. **Automation in Construction**, v. 127, p. 103724, jul. 2021.

[19] COSTA, G.; SICILIA, A. Alternatives for facilitating automatic transformation of BIM data using semantic query languages. **Automation in Construction**, v. 120, p. 103384, 1 dez. 2020.

[20] WU, Zhaoji *et al.* An ontology-based framework for automatic building energy modeling with thermal zoning. **Energy and Buildings**, v. 296, p. 113267, 1 out. 2023.

[21] KAMEL, E.; MEMARI, A. M. Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. **Automation In Construction**, v. 97, p.164-180, jan. 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008

[22] WANG, Meng *et al.* Automated and scalable BIM2BEM framework with zoning-based model simplification leveraging knowledge graph integration. **Automation in Construction**, v. 182, p. 106712, 1 fev. 2026a.

[23] LILIS, Georgios Nektarios *et al.* Automated generation of building energy model geometry from BIM-derived space and opening volumes. **Automation in Construction**, v. 185, p. 106840, 1 maio 2026.

[24] WANG, Meng *et al.* Automating HVAC enrichment in building energy models from imperfect BIM data through topology completeness validation. **Applied Energy**, v. 404, p. 127171, 1 fev. 2026b.

[25] WALCH, Andreas *et al.* BEMTrace: Visualization-Driven Approach for Deriving Building Energy Models from BIM. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 31, n. 1, p. 240–250, jan. 2025.

[26] LILIS, Georgios Nektarios *et al.* BIM geometric error detection for building energy model generation. **Journal of Building Engineering**, v. 122, p. 115667, 15 mar. 2026.

[27] CARVALHO, José *et al.* BIM-Based Energy Analysis and Sustainability Assessment—Application to Portuguese Buildings. **Buildings**, v. 11, n. 6, p. 246, 9 jun. 2021.

[28] LI, Hang *et al.* BIM-based object mapping using invariant signatures of AEC objects. **Automation in Construction**, v. 145, p. 104616, jan. 2023.

[29] GIANNETTI, Ilaria *et al.* Building Information Modeling (BIM) and Building Energy Modeling (BEM): Interoperability and Interactive Data Representation for the Energy Management of the Existing Buildings. **Building Information Modeling**, *[S.d.]*.

[30] GOURABPASI, Arash Hosseini; JALAEI, Farzad; GHOBADI, Mehdi. Developing an openBIM Information Delivery Specifications Framework for Operational Carbon Impact Assessment of Building Projects. **Sustainability**, v. 17, n. 2, 15 jan. 2025.

[31] LUONG, Duc Long *et al.* Developing the hybrid BIM-BEM and jellyfish search optimization system for optimizing energy consumption and building installation costs. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 17186, 26 jul. 2024.

[32] IPCC. Climate Change 2023: **Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Core Writing Team, H. Lee e J. Romero (eds.). Geneva: IPCC, 2023. p. 35-115. doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

[33] AN, Na *et al.* From Building Information Modeling to Building Energy Modeling: Optimization Study for Efficient Transformation. **Buildings**, v. 14, n. 8, 7 ago. 2024.

[34] YING, Huaquan; LEE, Sanghoon. Generating second-level space boundaries from large-scale IFC-compliant building information models using multiple geometry representations. **Automation in Construction**, v. 126, p. 103659, jun. 2021.

[35] MEDIAVILLA, Asier; ELGUEZABAL, Peru; LASARTE, Natalia. Graph-Based methodology for Multi-Scale generation of energy analysis models from IFC. **Energy and Buildings**, v. 282, p. 112795, mar. 2023.

[36] RAMAJI, Issa J.; MESSNER, John I.; MOSTAVI, Ehsan. IFC-Based BIM-to-BEM Model Transformation. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 34, n. 3, p. 04020005, maio 2020.

[37] BASTOS PORSANI, Gabriela *et al.* Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM). **Applied Sciences**, v. 11, n. 5, p. 2167, 1 mar. 2021.

[38] JANSEN, David *et al.* Open-source framework for automated generation of building energy performance simulation models and beyond from BIM Data. **Automation in Construction**, v. 179, p. 106427, 1 nov. 2025.

[39] MARCHIONE, Piergiorgio; RUPERTO, Francesco. Prototyping a digital twin – a case study of a 'U-shaped' military building. **International Journal of Energy Production and Management**, v. 5, n. 4, p. 83–94, 3 mar. 2022.

[40] FORTH, Kasimir; BORRMANN, André. Semantic enrichment for BIM-based building energy performance simulations using semantic textual similarity and fine-tuning multilingual LLM. **Journal of Building Engineering**, v. 95, p. 110312, 15 out. 2024.

[41] GUO, Haojie *et al.* UAV-BIM-BEM: An automatic unmanned aerial vehicles-based building energy model generation platform. **Energy and Buildings**, v. 328, p. 115120, 1 fev. 2025.

[42] ZECH, Philipp *et al.* Agile, continuous building energy modeling and simulation. **SIMULATION**, v. 101, n. 3, p. 241–265, 1 mar. 2025.

[43] GARLET, Liége *et al.* Enriching BIM-BEPS workflows to support natural ventilation simulations using AirflowNetwork. **Energy and Buildings**, v. 347, p. 116295, nov. 2025.

[44] GALIANO-GARRIGÓS, Antonio *et al.* Evaluation of Energy Performance and Comfort: Case-Study of University Buildings with Design Adapted to Local Climate. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7155, 25 jun. 2021.

[45] IDDON, C. R.; FIRTH, S. K. Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK**. Energy and Buildings**, v. 67, p. 479-488, 2013.

[46] GARCIA, E. G.; ZHU, Z. Interoperability from building design to building energy modeling. **Journal Of Building Engineering**, v. 1, p.33-41, mar. 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2015.03.001.

[47] EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores.** Tradução: Ayres Filho et al., Revisão técnica: Santos, E. T., Porto Alegre, Brasil, 2014.

[48] PAGE, Matthew. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an update guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, p. n71, 29 mar. 2021.

[49] BIMForum. Level of development specification guide - Version: 2017. BIMForum, 2017.

[50] ABDI, Agência Brasileira de Desenvolvimento da Indústria. Guia 1 - Processo de Projeto BIM. Brasília: ABDI, 2017