XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Utilização do BIM como apoio à simulação para análise do desempenho das edificações: uma revisão sistemática da literatura

Use of BIM as simulation support for building performance analysis: a systematic literature review

Julia Ferrari Rodrigues dos Santos
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ | Rio de Janeiro | Brasil | julia.santos@fau.ufrj.br
Bárbara de Oliveira Sá Alcântara
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ | Rio de Janeiro | Brasil | barbara.alcantara@fau.ufrj.br
Wesley do Canto Souza
Universidade Federal Fluminense - UFF | Rio de Janeiro | Brasil | wesleycanto@id.uff.br
Mônica Santos Salgado
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ | Rio de Janeiro | Brasil | monicassalgado@fau.ufrj.br

Resumo

Este trabalho visa identificar as diferentes áreas que utilizam simulação com o apoio da plataforma BIM (Building Information Modeling) e entender quais softwares de simulação são usados nestas pesquisas. O presente trabalho aplicou o método de Revisão Sistemática da Literatura utilizando as bases de dados Scopus e Web of Science que foram consultadas no período entre 2012 e 2021. Após a aplicação dos critérios de refinamento, obteve-se uma lista de 22 artigos para leitura Fullpaper, que posteriormente foram separados em oito enfoques principais. Esta pesquisa revela que a inserção do BIM para estudo do desempenho do edifício é recente e nota-se a ausência de trabalhos desenvolvidos por pesquisadores brasileiros na amostra de artigos selecionados para leitura por artigo completo.

Palavras-chave: BIM. Simulação de desempenho. Revisão Sistemática de Literatura (RSL).

Como citar:
SANTOS, J. F. R.; ALCÂNTARA, B. O. S.; SOUZA, W.C.; SALGADO, M. S. Utilização do BIM como apoio à simulação para análise do desempenho das edificações: uma revisão sistemática da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO,19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

Abstract

This work aims to identify areas of focus that use simulation with the support of the BIM (Building Information Modeling) platform and understand which simulation software are in these researches. The present work applied the method of systematic literature review using Scopus and Web of Science databases that were not consulted in the period between 2012 and 2021. After applying the refinement criteria, a list of 22 articles was obtained for reading Fullpaper, which were later separated into eight main focuses. This research reveals that the insertion of BIM for the study of the study is recent and the absence of studies developed by studies selected for studies of articles selected for reading Full Paper.

Keywords: BIM. Performance simulation. Systematic Literature Review (SLR).

INTRODUÇÃO

O desempenho de uma edificação pode ser entendido como o comportamento em uso de uma edificação. Na busca pelo melhor desempenho das edificações, as tecnologias digitais têm sido aliadas dos arquitetos e engenheiros que procuram o melhor procedimento dos seus projetos, e passam a realizar simulações computacionais para antecipar o comportamento em uso ainda na fase de concepção. A modelagem da informação da construção se destaca, portanto, por permitir a busca por um melhor desempenho da edificação desde a concepção do projeto até a avaliação do desempenho em uma edificação construída [1].

O BIM permite a integração em diferentes fases do processo do projeto, por ser uma representação digital das informações reais da edificação, para a integração entre as diferentes ferramentas de aferição de conforto. BIM é o conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, utilização e atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, servindo todos os participantes do empreendimento, durante todo o ciclo de vida da construção [2].

Acrescenta outra definição para o processo BIM ao afirmar que se trata de um ecossistema de aplicativos e processos relacionados que permitem que a informação seja compartilhada e utilizada durante todo o ciclo de vida de uma edificação [3].

A simulação é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação Desta forma, pode-se perceber que a avaliação de desempenho das edificações, a simulação computacional realizada através dos modelos BIM apresenta-se como alternativa interessante na revisão das soluções de projeto ainda na fase de concepção.

O objetivo desta pesquisa é identificar as diferentes áreas que utilizam simulação com o apoio da plataforma BIM (Building Information Modeling). A pesquisa procura identificar essas áreas e entender quais softwares de simulação são usados nestas pesquisas. O presente trabalho aplicou o método de Revisão Sistemática da Literatura para encontrar as principais áreas que trabalham simulação com BIM (Building Information Modeling).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

A metodologia adotada foi uma pesquisa qualitativa de Revisão Sistemática de Literatura (RSL). A RSL é uma modalidade de pesquisa que segue protocolos específicos e busca dar alguma logicidade a um grande corpus documental [4]. RSL é uma etapa fundamental da pesquisa científica visto que permite encontrar, avaliar criticamente e consolidar informações para contribuir para um tópico de pesquisa.

MÉTODO PICO

Para esta construção, o método PICO foi utilizado para identificação das palavras-chave conforme indica a Tabela 1. O modelo utiliza o acrônimo "PICO" como base no Protocolo Cochrane "*Population*, *Interventions*, *Comparisons and Outcome*". Ela consiste em delimitar os termos de pesquisa e os objetivos da pesquisa, especificando o público ou problema (P), tipo de intervenção (I), condição ou comparação (C) e o resultado esperado (O).

Tabela 1: Plano de busca com base no Acrônimo PICO

	Acrônimo	Relevância	Termos de Busca
P	*Population*	Especifica o problema para adequação dos objetivos almejados com a revisão sistemática.	*building performance, building performance evaluation, Building performance analyses, performance monitoring, building evaluation*
I	*Intervention*	Natureza do fenômeno a ser observada.	BIM, *building information modeling, building information modeling, building Information model*
C	*Comparison*	Para cada intervenção deve-se estabelecer um comparador ou controle definido	Não aplicável, pois não se objetiva obter para temática estudada dados secundários procedimentos com grupo de comparação como caso-controle
O	*Outcome*	Resultados esperados	*simulation tool, simulation tools, simulation, thermal simulation*

Fonte: Adaptado de Higgins e Green (2011).

SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS

Os levantamentos bibliográficos foram realizados nos bancos de dados eletrônicos *Scopus* e *Web of Science*, no período de 22/02/2022 a 23/02/2022, a partir da combinação dos termos de busca e os operadores lógicos "*OR*" e "*AND*", formando o seguinte *string* de busca: "*building performance*", *OR* "*building performance evaluation*", *OR* "*building performance analyses*", *OR* "*performance monitoring*", *OR* "*building evaluation*", *AND* "*BIM*", *OR* "*building information modeling*", *OR* "*building information modelling*", *OR* "*building information model*", *AND* "*simulation tool*", *OR* "*simulation*", *OR* "*thermal simulation*". A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos pelo método PICO e a aplicação de critérios de refinamento da amostra de dados.

Tabela 2: Consolidação da amostra de dados científicos coletados

Filtros	*Scopus*	*Web of Science*
Resultado inicial	154	181
Filtro 1 - Tipo de documento (Artigos e Revisões)	67	80
Filtro 2 - Idioma (Inglês e Português)	65	79
Filtro 3 - Eliminação da duplicidade	75	
Filtro 4 - Triagem por títulos	58	
Filtro 5 - Triagem por resumos	40	
Filtro 6 - *Full Paper*	22	

Fonte: Os autores (2022).

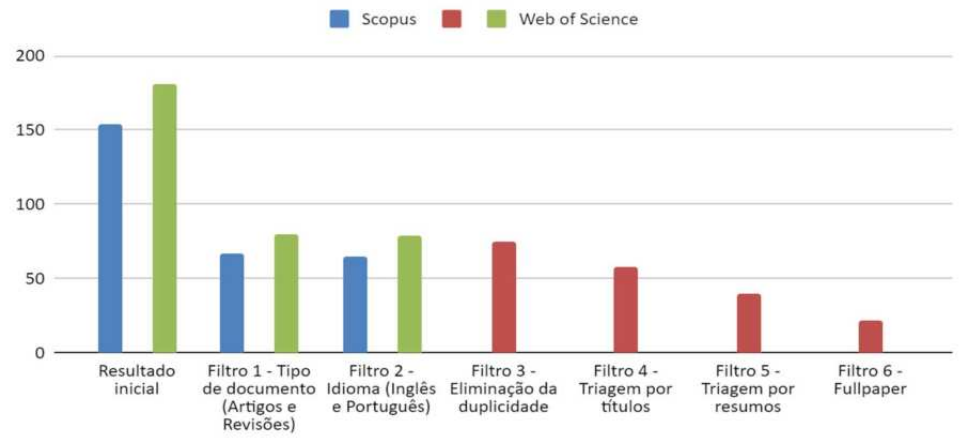
A amostra inicial foi de 335 trabalhos, sendo 154 no *Scopus* e 181 no *Web of Science*. O primeiro critério de refinamento aplicado consiste na exclusão por tipo de documento, sendo considerados apenas artigos e revisões, permanecendo na primeira filtragem 67 artigos do *Scopus* e 80 do *Web of Science*.

O segundo critério de refinamento aplicado selecionou apenas artigos nas línguas portuguesa e inglesa. O terceiro critério de refinamento consiste na eliminação da duplicidade de artigos existentes nas duas bases analisadas, reduzindo a amostra para 75 trabalhos.

O quarto critério de refinamento se tratou de uma triagem por títulos e o quinto critério de refinamento consistiu em uma triagem por resumos, ambos os procedimentos com a finalidade de filtrar os trabalhos científicos mais aderentes ao objetivo da presente pesquisa, de forma a reduzir a amostra para 40 trabalhos.

O último critério aplicado foi a seleção de artigos para leitura *Full paper* e análise completa das obras, sendo selecionados 22 trabalhos para essa etapa, conforme a distribuição ilustrada pelo Gráfico 1.

Gráfico 1: Distribuição de artigos por base científica a cada critério de refinamento



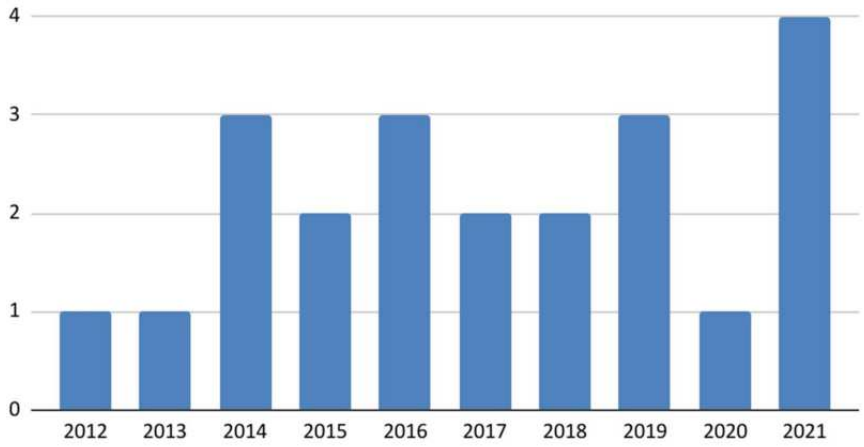
Fonte: Os autores (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS POR ANO

A ordenação do número de publicações por ano é apresentada pelo Gráfico 2. O número de publicações varia bastante ao longo dos anos. Desta forma podemos concluir que o tema abordado nesta RSL não possui uma sequência temporal linear com relação a quantidade de publicação.

Gráfico 2: Distribuição dos artigos por ano

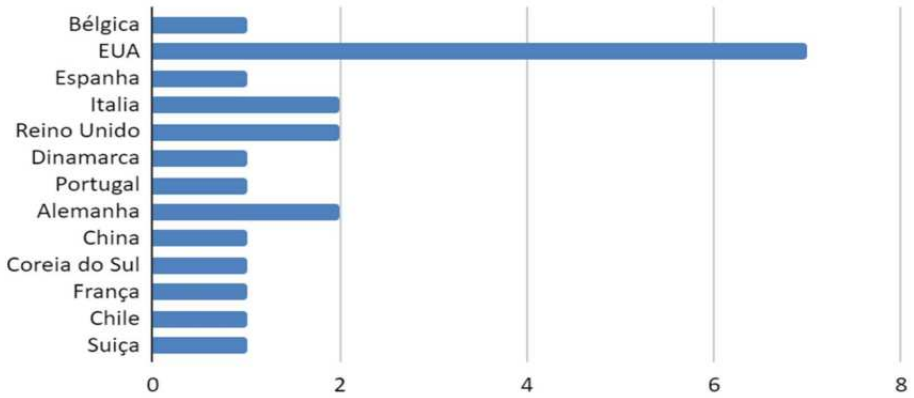


Fonte: Os autores (2022).

CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS POR PAÍS

O número de publicações por País é apresentado no Gráfico 3. Nos últimos 10 anos, 13 países fizeram estudos do referido tema. Dentre esses países, os maiores destaques são: EUA (7), Itália (2), Reino Unido (2) e Alemanha (2).

Gráfico 3: Distribuição dos artigos por país

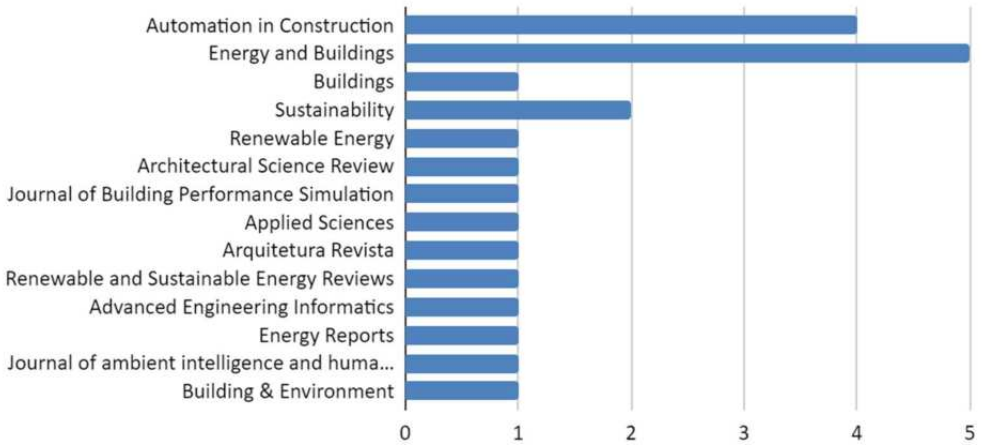


Fonte: Os autores (2022).

CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS POR PERIÓDICO

Os 22 artigos selecionados foram publicados em 14 periódicos diferentes, conforme gráfico abaixo. Destes 14 periódicos, observou-se uma maior frequência de publicações no periódico "*Energy and buildings*", onde 5 artigos foram publicados. Outras publicações com mais de um artigo publicado foram: "*Automation in Construction*", com 4 publicações e "*Sustainability*", com 2 publicações. demais periódicos obtiveram apenas uma publicação, de acordo com o Gráfico 4.

Gráfico 4: Distribuição dos artigos por periódico



Fonte: Os autores (2022).

CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS POR ENFOQUE DE PESQUISA

A classificação dos Artigos foi realizada em função dos interesses desta pesquisa, conforme indica a Tabela 4. Foram definidos oito enfoques principais: (1) Análise e simulação energética; (2) Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE); (3) Simulação térmica; (4) Simulação do desempenho termo energético; (5) Simulação do desempenho da iluminação natural, (6) Simulação do desempenho térmico e da iluminação natural, (7) Simulação do desempenho térmico, da iluminação natural, ventilação e acústica e (8) Simulação do desempenho térmico e da ventilação. Alguns enfoques se repetem em alguns artigos, como por exemplo o desempenho térmico e iluminação natural, acústica e ventilação, desempenho térmico e ventilação.

Na Tabela 4, existem muitas possibilidades de escolha de ferramentas conforme usos específicos, então é necessário analisar o enfoque da pesquisa para depois escolher os softwares que serão mais assertivos dentro do uso pretendido para o modelo.

Quadro 1: Enfoque da pesquisa

Enfoque da pesquisa	Autor (es)	Título e ano	Periódico	Modelagem	Simulação	Linguagem
Análise e simulação energética	OTI, A. H. et al. [7]	*A framework for the utilization of BMS data in BIM to bridge gaps between building design and operation (2016)*	*Automation in construction*	*Revit; Autodesk Project; Artra (Trimble); Onuma Planning Systems Dasher*	*Ecotect; Green Building Studio, DOE-2; eQUEST; BEopt*	dados BMS; IDEF3, .NET Frameworks

	NEGENDAHL, K. [8]	*Building performance simulation in the early design stage: an introduction to integrated dynamic models (2015)*	*Automation in construction*	*ArchiCad e Revit*	*Rhino, Maya, OpenStudio, Grasshopper, Dínamo, Diva, Ecotect, Radiance, Daysin*	gbXML e IFC
	LUO, N.; PRITONI, M.; HONG, T. [9]	*An overview of data tools for representing and managing Building information and performance data (2021)*	*Renewable and Sustainable Energy Reviews*	*Revit*	*Green Button, ENERGY STAR Portfolio Manager; BuildingSync*	esquema Brick para metadados, IFC e gbXML
	SCHLUETER, A.; GEYER, P. [10]	*Linking BIM and design of experiments to balance architectural and technical design factors for energy performance (2017)*	*Automation in construction*	*Autodesk Vasari e Autodesk Revit*	*Design Builder, Energyplus, Diva, Honeybee, Ladybug, Rhinoceros*	DoE, SQL
Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE)	PEREIRA, V. et al [11]	*Using BIM to improve Building energy efficiency - A scientometric and systematic review (2021)*	*Energy & Buildings*	*Revit; Archicad, 3dsMax, Rhinoceros, Solibri Checker*	*Energyplus, Green building Studio. IES-VE, eQUEST, OpenStudio, Design Builder, Daysim, Radiance, Simapro*	IFC
Simulação térmica	JEONG, W. S. et al. [12]	*A framework to integrate object-oriented physical modeling with building information modeling for Building thermal simulation (2014)*	*Journal of Building Performance Simulation*	*BIM2BEM, Revit, Archicad*	*Design builder, energyplus, Green Building studio,*	Modelica, OOPM language, Ifc, gbXML,
	JEONG, W. S.; KIM, K. H. [13]	*A performance evaluation of the BIM-Based object-oriented physical modeling technique for Building thermal simulations (2016)*	*Sustainability*	*Revit*	*Radiance, energyplus, design builder, Dymola*	OOPM language, ModelicaBEM, IFc
Simulação do desempenho termo energético	HABIBI, S. et al [14]	*Design and development of energy efficient re-roofing solutions.(2020)*	*Renewable Energy*	-	*EnergyPlus e PVSyst*	-

	BAHAR, Y. N. et al. [15]	*A Thermal Simulation Tool for Building and its Interoperability through the Building Information Modeling (BIM) Platform (2013)*	*Buildings*	*dxf CAD-BIM, Archicad, Revit, SketchUp usando 3D dxf, plugins*	*ThermalSim, Radiance, Energyplus, Design Builder, Ecotect, eQUEST, Ecodesigner, Greenbuilding studio*	IFC, ifcXML, gbXML
	WEI, T.; CHEN, Y. [16]	*Green Building based on BIM and value engineering (2019)*	*Journal of ambient intelligence and humanized computing*	*Revit*	*Ecotect*	gbXML
	ASL, M. R. et al. [17]	*A framework for BIM-Based performance optimization (2015)*	*Energy & Buildings*	*Revit*	*Rhinoceros, Grasshopper, Radiance, Daysim, energyplus, OpenStudio, Diva, Ecotect, Greenbuilding studio, Dynamo*	BPOpt, IFc, gbXML, Modelica
	SINGH, M. M.; et al [18]	*Quick energy prediction and comparison of options at the early design stage (2020)*	*Advanced Engineering Informatics*	*Revit*	*Energyplus, BPS*	Modelica
Simulação do desempenho da iluminação natural	KOTA, S; et al [19]	*Building Information Modeling (BIM) - Based daylighting simulation and analysis (2014)*	*Energy and buildings*	*Revit*	*Daysim, Diva, Ecotect, Radiance, Rhinoceros, Adeline, EnergyPlus, ThermalOpt*	SCRIBE-Modeler; scripts MS Windows BATCH; programação API, FBX, IFC
	WELLE, B. et al [20].	*BIM - Centric profiler for simulation (BDP4SIM): A methodology for automated product model decomposition and recomposition for climate-based daylighting simulation (2012)*	*Building & Environment*	*BDP4SIM (BIM Daylight Profiler for Simulation)*	*EnergyPlus, Radiance*	IFC, ASCII, Sistema de Gerenciamento de Atributos ThermalSim (AMS)
Simulação do desempenho térmico e da iluminação	ASL, M. R.; ZARRINMEHR, S.; BERGIN, M.; YAN, W.	*BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization (2021)*	*Energy and Buildings*	*Revit*	*BPOpt*	gbXML, PYTHON

natural	JABI, W [21].	*Linking design and simulation using non-manifold topology. (2016)*	*Architectural Science Review*	*3Ds Max*	*3DSTEP e OpenStudio*	eps e dk
	LIU, S.; NING, X. [22].	*A two-stage Building information modeling based building design method to improve lighting environment and increase energy efficiency (2019)*	*Applied Sciences*	*Ecotect*	*Ecotect, Energyplus, Radiance e Daysim*	NSGA-II, PSO-HJ
Simulação do desempenho térmico e da ventilação	ANDRIAMAMONJY, A. et al [23].	*An automated IFC-based workflow for Building energy performance simulation with Modelica (2018)*	*Automation in Construction*	*Revit*	*BEPS*	gbXML, IFC e Modelica
Simulação do desempenho térmico, da iluminação natural, ventilação e acústica	GALIANO-GARRIGÓS, et al. [24]	*Evaluation of energy performance and comfort: case-study of University buildings with design adapted to local climate (2021)*	*Sustainability*	*Revit*	*Design Builder e Cypetherm HE Plus*	gbXML e IFC
	HABIBI, S. [25]	*The promise of BIM for improving building performance (2017)*	*Energy and Buildings*	*Revit*	*IES-VE, Ecotect e Daysim*	gbXML
	SUSNIK, M. et al. [26]	*Bim-Based energy and acoustic analysis through CVE tools (2021)*	*Energy Reports*	*Revit, BIM2BEM*	*Design Builder, Dynamo, Energyplus, Ecotect, Rhinoceros, Greenbuildingstudio*	IFC, gbXML, IES VE
	LOBOS, D. [27]	*Building performance information and graphs approach for the design of floor plans (2014)*	*Arquitetura Revista*	*Allplan, Archicad, Revit Architecture, Microstation, Digital Project.*	*Ecotect, Design builder, Daylight Factor, Green building Studio*	XML

Fonte: Os autores (2022).

Nos quatro artigos do enfoque “Análise e simulação energética”, observamos a utilização do *Software Autodesk Revit* como o principal software que opera na lógica da interoperabilidade, mencionados nos quatro documentos, além do *Archicad* da *Graphisoft* e o *Autodesk Vassari*, cada um mencionado em pelo menos um artigo. Dentre as ferramentas de simulação, não houve uma ferramenta principal, mas observamos menções aos softwares *Rhinoceros*, DIVA e *Ecotect* em pelo menos dois artigos.

O cuidado na fase operacional e de gerenciamento é importante para melhoria da avaliação de desempenho da edificação [18]. A análise e utilização de ferramentas de simulação desde os estágios iniciais do projeto permite a integração com ferramentas de design, tornam o processo flexível, trazendo alternativas projetuais e de requisitos, tais como elementos qualitativos e quantitativos, evitando conflitos entre disciplinas. Além disso, o desempenho da edificação desde as etapas iniciais trazem benefícios ao usuário e a operação da edificação, em termos energéticos, de custos, manutenção e climatização [17].

A obtenção de informações da edificação desde as etapas iniciais, aceleram a avaliação de desempenho e da eficiência energética, hospedando e gerenciando o conjunto de dados da construção. Em contrapartida, dados insuficientes ou escassos aumentam a incerteza da redução de energia [16]. Já em edificações existentes, para não haver incertezas no resultado das simulações, é necessário o conhecimento da edificação e o desenvolvimento de uma metodologia que identifique efeitos e interações entre diferentes parâmetros [21].

O enfoque "Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE)" discute as melhorias do nível de eficiência energética em todas as etapas do ciclo de vida da edificação, adotando a plataforma BIM como uma oportunidade de redução destes impactos. No artigo realizado em Portugal [11], as ferramentas BIM mencionadas foram o *Revit* e o *Archicad*, além do *Rhinoceros* e do *Design Builder*, que permitem a modelagem e a simulação simultaneamente. O maior desafio citado foi a extração de dados, que pode ser considerada uma das dificuldades para a interoperabilidade, como por exemplo, entre o *Archicad* e o *Energyplus*.

O enfoque "simulação térmica" possui dois artigos, produzidos nos anos de 2014 e 2016, nos Estados Unidos e na Coreia do Sul. Observou-se a menção nos dois documentos, na construção do modelo BIM, o uso do *software Revit*, porém, também citado o *software Archicad*. A adoção de Modelagem Física Orientada a Objetos oferece uma modelagem capaz de suportar simulações de múltiplos domínios, facilitando a troca de informações entre BIM e BEM (*Building Energy Modeling)* [12].

Quanto às ferramentas de simulação, nos dois artigos são citados os *softwares Design Builder* e *Energyplus*, além dos *softwares Radiance, Dymola e Green Building Studio*. O objetivo destas pesquisas são as melhorias entre as trocas BIM e BEM, confiabilidade nos resultados dos dados gerados e a utilização do BIM para melhoria do desempenho energético.

O enfoque "Simulação do desempenho termo energético" trata de melhorias em eficiência energética e engloba 5 artigos, desenvolvidos em 2013, 2015, 2019 (2) e 2020, nos países: França, Estados Unidos (2) e Alemanha (2). Na construção do modelo BIM, o *software Autodesk Revit* foi o mais citado, em quatro, dentre os cinco artigos deste enfoque. Como ferramentas de simulação energética, o *Energyplus* foi o mais citado, em quatro artigos, além do *Ecotect* e *Radiance* em 3 artigos, e demais softwares citados foram *Design Builder* e o *Green Building Studio* em dois artigos. A utilização de ferramentas de simulação térmica é descrita como desafios e

oportunidades para otimizar a performance das edificações, tornando-as mais sofisticadas e integradas [3]. A simulação de um edifício real aponta reduções de produção de energia e ganhos térmicos, a modelagem neste caso determina requisitos de isolamento, efeito significativo no ganho de calor [14].

O enfoque "Simulação do desempenho da iluminação natural", retrata dois artigos desenvolvidos nos anos 2012 e 2014 nos EUA. Cada artigo analisou tanto os *softwares distintos para criar modelos BIM, como para* análise simulacional: *EnergyPlus* e o *Radiance*. Ferramentas para simulação de iluminação são mencionados, são o *Daysim*, Diva, *Ecotect*, *entre outros.*

Dentro dos enfoques desta RSL, "Simulação do desempenho térmico e da iluminação natural", abrange três artigos referentes aos anos 2015, 2016 e 2019, respectivamente dos seguintes países: EUA, Reino Unido e China. Cada artigo usou um *software* diferente; *Revit*, 3ds Max e *Ecotect*. Para a simulação de desempenho térmico e iluminação natural os artigos também utilizaram diferentes ferramentas como; BPOpt, 3DSTEP, *OpenStudio*, *Ecotect*, *Energyplus*, *Radiance* e *Daysim*. Dentre os formatos de arquivos, se encontram gbXML, PYTHON, eps, dk, NSGA-II e PSO-HJ.

No enfoque "Simulação do desempenho térmico, da iluminação natural, ventilação e acústica", todos os quatro artigos utilizam o *Revit* na construção do modelo BIM. Como ferramenta de simulação grande parte dos artigos optaram por usar o *Ecotect* e o *DesignBuilder*. Esses artigos foram desenvolvidos em 2014, 2017 e 2021 (2), nos países: Chile, Itália (2) e Espanha.

Como ponto principal para o enfoque "Simulação do desempenho térmico e da ventilação", são discutidas as melhorias para o desempenho térmico e da ventilação. No artigo realizado na Bélgica [23]. O *Revit* foi usado na construção do modelo BIM e a ferramenta para simulação foi BEPS.

INTEROPERABILIDADE ENTRE FERRAMENTAS

A troca de informações entre as ferramentas de simulação nos modelos BIM são quase unanimidade entre as discussões dos artigos no quesito interoperabilidade, pois ao mesmo tempo em que a metodologia utilizada para modelagem em BIM auxilia e facilita a realização da simulação em um segundo ou terceiro software, também pode favorecer às perdas de informações na tarefa multidisciplinar. Portanto, é muito importante observar se existem *plugins* entre estas ferramentas. Outra alternativa é a modelagem e a simulação ocorrerem no mesmo software, como ocorre entre o *Design Builder* e o *green building studio,* ou no *Revit*, ou *OpenStudio* com *plugin* do *EnergyPlus*, por exemplo.

Outra discussão recai sobre as múltiplas ferramentas, em que algumas não possuem código aberto, e em muitas vezes ocorrem as perdas de informações por possuírem linguagens e/ou códigos diferentes, o que também dificulta o processo colaborativo. Sendo assim, cabe ao gerente de projetos a percepção da necessidade de operar softwares capazes de construir o modelo BIM considerando o uso pretendido, neste caso realizar a simulação, bem como permitindo as trocas e compartilhamento de dados em códigos neutros e/ou abertos, a serem compartilhados sem perdas

significativas de dados, como ocorre quando a troca de dados entre modelos não ocorre usando softwares proprietários, mas em IFC.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nesta RSL pode-se concluir que a inserção do BIM para estudo do desempenho do edifício é recente e não possui uma regularidade de publicações por ano. Pelo aspecto do enfoque de pesquisa nesta RSL, pode-se indicar que o enfoque que possui maior número de artigos é "Simulação do desempenho térmico, da iluminação natural, ventilação e acústica".

Fica como sugestão para trabalhos futuros a continuidade da presente pesquisa com a finalidade de desenvolver um estudo mais detalhado sobre vantagens e desvantagens da utilização de cada software utilizado nos presentes artigos analisados nesta RSL.

É importante ressaltar a ausência de trabalhos desenvolvidos por pesquisadores brasileiros na amostra de artigos selecionados para leitura *Full Paper.* Esse fato não necessariamente indica que o tema não é estudado no país, mas demonstra que os critérios de refinamento adotados só contemplaram pesquisas internacionais.

Como considerações finais, a plataforma BIM permite não só modelar uma edificação, ela permite elaborar um modelo de construção real, em dados geométricos, que favorece o trabalho multidisciplinar, colaborativo, minimizando retrabalho, obtendo aumento de produtividade e melhores resultados. Desta forma, os compartilhamentos entre diversos softwares, voltados para simulação, quando operado de forma integrada, facilita e gera resultados satisfatórios. O desenvolvimento de projetos através do processo BIM permite a identificação de inconsistências e conflitos entre as soluções com maior rapidez. Além disso, os profissionais que fazem parte da equipe de projeto ganham agilidade na busca das melhores soluções para a garantia da qualidade do projeto e desempenho da edificação, porque podem trabalhar colaborativamente de forma mais eficiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERJ – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – e ao CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento – pelo apoio à pesquisa, e à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

[1] LEITNER, D. S.; SCHEER, S; SANTOS, A. P. L. **O uso do BIM para avaliação do desempenho dos edifícios: uma revisão sistemática da literatura**. Gestão & Tecnologia de Projetos. v. 14, p. 17-33. Brasil, 2019.

[2] MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Estratégia BIM BR**, 2018. https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/images/REPOSITORIO/sdci/CGMO/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf Acesso em 18 de março de 2022.

[3] JERNIGAN, F. Big BIM 4.0: Ecosystems for a Connected World. Editor 4site Press. UK, 444p, 2017.

[4] PEGDEN, C.D., SHANNON, R.E.,SADOWSKI, R.P**. Introduction to Simulation Using SIMAN**, McGraw-Hill, New York, USA. v. 2. 1990.

[5] 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.

[6] HIGGINS, J. P. T.; GREEN, S. **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions.** Ed.5.1.0.: The Cochrane Collaboration, 2011. https://training.cochrane.org/handbook/current Acesso em 18 de março de 2022.

[7] OTI, A. H.; KURUL, E.; CHEUNG, F.; TAH, J. H. M. **A framework for the utilization of BMS data in BIM to bridge gaps between building design and operation**. Automation in construction. v. 72, p. 195-210, UK, 2016.

[8] NEGENDAHL, K. **Building performance simulation in the early design stage: An Introduction To Integrated Dynamic models**. Automation in construction. v. 54, p. 39-53, Dinamarca, 2015.

[9] LUO, N.; PRITONI, M.; HONG, T. **An overview of data tools for representing and managing building information and performance data**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 147, p. 111224, EUA, 2021.

[10] SCHLUETER, A.; GEYER, P. **Linking BIM and design of experiments to balance architectural and technical design factors for energy performance**. Automation in construction, v. 86, p. 33-43, Suíça, 2018.

[11] PEREIRA, V.; SANTOS, J.; LEITE, F.; ESCÓRCIO, P. **Using BIM to improve building energy efficiency - A scientometric systematic review**. Energy & Buildings. v. 250, p. 111292, Portugal, 2021.

[12] JEONG, W. S.; KIM, J. B.; CLAYTON, M. J.; HABERL, J. S.; YAN, W. **A framework tointegrateobject-orientedphysicalmodelingwithbuildinginformationmodeling for buildingthermalsimulation**. Journal Of Building Performance Simulation, v.9, n.1, p. 50-69, EUA, 2014.

[13] JEONG, W. S.; KIM, K. H. **A performance evaluation of the BIM-Based Object-oriented physical modeling technique for building thermal simulations: A comparative case study**. Sustainability, v.8, n.7, p.648, Coreia do Sul, 2016.

[14] HABIBI, S.; OBONYO, E. A.; MEMARI, A. M. **Design and development of energy efficient-roofing solutions**. Renewable Energy, v. 151, p. 1209-1219. EUA, 2020.

[15] BAHAR, Y. N.; PERE, C.; LANDRIEU, J.; NICOLLE, C. A T**hermalSimulation Tool for Building and its Interoperability Through The Building Information Modeling (BIM) Platform**. Buildings, v.3, n.2, p.380-398. França, 2013.

[16] WEI, T.; CHEN, Y. **Green building based on BIM and value engineering.** Journal Of Ambient Intelligence And Humanized Computing, v. 11, n. 9, p. 3699-3706, Alemanha, 2020.

[17] ASL, M. R.; ZARRINMEHR, S.; BERGIN, M.; YAN, W. BPOpt: **A framework for BIM-based performance optimization**. Energy and Buildings, v.108, p. 401-412. EUA, 2015.

[18] SINGH, M. M.; SINGARAVEL, S.; KLEIN, R.; GEYER, P. **Quick energy prediction and comparison of options at the early design stage**. AdvancedEngineeringInformatics, v. 46, p. 101185, Alemanha, 2020.

[19] KOTA, S; HABERL, J. S.; CLAYTON, M. J. YAN, W. **Building Information Modeling (BIM)-Based daylighting simulation and analysis**. Energy and buildings, v. 81, p. 391-403, EUA, 2014.

[20] WELLE, B.; ROGERS, Z.; FISCHER, **BIM-Centric Profiler for simulation (BDP4SIM): A methodology for automated product model decomposition and recomposition for climate-based daylighting simulation**. Building & Environment. v. 58, p. 114-134, EUA, 2012.

[21] JABI, W. **Linking design and simulation using non-manifold topology**. Architectural Science Review. v. 59, n.4, p. 323-334, UK, 2016.

[22] LIU, S.; NING, X. **A two-stage building information modeling based building design method to improve lighting environment and increase energy efficiency**. Applied Sciences. v. 9, n. 19, p. 4076. China, 2019.

[23] ANDRIAMAMONJY, A.; SAELENS, D.; KLEIN, R. **An Automated IFC-based workflow for building energy performance simulation with Modelica**. Automation in Construction, v.91, p.166-181. Bélgica, 2018.

[24] GALIANO-GARRIGÓS, A.; DOMENECH-MATAIX, M.; GONZÁLEZ-AVILÉS, A. B.; RIZZO-MAESTRE, C. **Evaluation of energy performance and comfort: case-study of University buildings with design adapted to local climate**. Sustainability, v. 13, n.13, p. 7155. Espanha, 2021.

[25] HABIBI, S. **The promise of BIM for improving building performance**. Energy andBuildings. v. 153, p. 525-548. Itália, 2017.

[26] SUSNIK, M.; TAGLIABUE, L. C.; CAIROLI, M. **Bim-Based energy and acoustic analysis through CVE tools**. Energy Reports, v. 7, p. 8228-8237, Itália, 2021.

[27] LOBOS, D. **Building performance information graphs approach for the design of floor plans**. Arquitetura Revista v.10, n. 1, p. 23-30, Chile, 2014.