

# O USO DO BIM PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS EDIFÍCIOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

The use of BIM for the assessment of building performance: a systematic literature review

Drielle Sanchez Leitner<sup>1</sup>, Sergio Scheer<sup>1</sup>, Adriana de Paula Lacerda Santos<sup>1</sup>

**RESUMO:** O objetivo do presente estudo é estabelecer uma conexão entre BIM e o desempenho das edificações por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Foram utilizadas duas bases de dados eletrônicas (*Science Direct* e *Scopus*), e foram incluídos artigos de periódicos e congressos escritos em inglês. A RSL resultou na inclusão de 79 artigos, publicados de 2006 a 2017, usados na construção do panorama BIM – desempenho. De acordo com a análise bibliométrica, o assunto em discussão vem crescendo desde 2014. Por meio da leitura dos artigos percebeu-se que existem quatro abordagens principais em que BIM é utilizado na análise de características do desempenho das edificações: utilização das ferramentas BIM em conjunto com ferramentas de simulações de desempenho; discussão sobre a interoperabilidade de ferramentas BIM e ferramentas de simulação; integração do BIM com dados de sensores; e, integração de ferramentas BIM com sistemas de classificação de construção sustentável. As quatro propostas foram discutidas, o que mostrou que BIM está sendo usado tanto na busca por um melhor desempenho das edificações quanto na investigação do desempenho real dessas. Foi verificado que a proposta seguida pela publicação pode variar de acordo com a fase do ciclo de vida da edificação. Não foi possível identificar uma ferramenta de simulação predominante, seja globalmente seja por tipo de simulação de desempenho. Isso pode justificar as dificuldades de interoperabilidade encontradas nas pesquisas, foco do segundo grupo identificado, o que abre uma lacuna para pesquisas futuras. Por outro lado, considerando tanto cada abordagem, quanto a pesquisa em geral, foi identificada a predominância da utilização de uma ferramenta BIM. A primeira abordagem contou com mais da metade das publicações identificadas e também com as publicações mais antigas. Apesar disso, as quatro abordagens podem ser consideradas como tendências no panorama BIM-desempenho uma vez que em todos os casos foram identificadas publicações recentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** BIM, Ferramentas, Desempenho, Avaliação, Simulação.

**ABSTRACT:** The use of Building Information Modeling (BIM) in the investigation of building performance was evaluated through a Systematic Literature Review (RSL). The aim was to establish a connection between BIM and the performance of buildings. Two electronic databases were used (*Science Direct* and *Scopus*), and journals and conferences articles written in English were included. The RSL resulted in the inclusion of 79 articles, published from 2006 to 2017, used in the construction of the BIM – performance panorama. According to the bibliometric analysis, the subject under discussion has been growing since 2014. Through the reading of the articles, it was noticed that there were four main approaches in which BIM tools were used in the analysis of performance characteristics of buildings: use of BIM tools in conjunction with performance simulations tools; discussion on the interoperability of BIM tools and simulation tools; integration of BIM with sensor data; and, integration of BIM tools with sustainable building classification systems. The four proposals were discussed, which showed that BIM is being used both in the search for a better performance of the buildings and in the investigation their actual performance. It was verified that the proposal followed by the publication can vary according to the stage of the building lifecycle. It was not possible to identify a predominant simulation tool, either globally or by type of performance simulation. This may justify the difficulties of interoperability found in the research, the focus of the second group identified, which opens a gap for future research. On the other hand, considering each approach or the research in general, the predominance of the use of a BIM tool was identified. The first approach had more than half of the identified publications and the older publications. Nevertheless, the four approaches can be considered as trends in the BIM-performance panorama since in all cases recent publications have been identified.

**KEYWORDS:** BIM, Tools Performance, Evaluation, Simulation.

## How to cite this article:

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 e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v.14, n. 2, p.17-33, 2019. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v14i2.151292>



<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná - UFPR

**Fonte de financiamento:**

CAPES

**Conflito de interesse:**

Declararam não haver

**Submetido em:** 22/10/2018

**Aceito em:** 29/01/2019

## INTRODUÇÃO

O desempenho de uma edificação pode ser entendido como as condições mínimas de habitabilidade necessárias para que um ou mais indivíduos possam utilizar a edificação durante um período de tempo. Ele pode variar de acordo com as exigências do usuário, dos cuidados no uso (manutenção), e também com as condições de exposição do ambiente em que a edificação será construída, como temperatura, umidade e insolação (POSSAN; DEMOLINER, 2013). Segundo o guia do *Building Services Research and Information Association* (BSRIA), as edificações nem sempre funcionam da forma em que foram previstas originalmente, resultando em discrepâncias no desempenho de características como a eficiência energética e grau de satisfação dos ocupantes (AGHA-HOSSEIN; BIRCHALL; VATAL, 2015).

Nesse contexto, *Building Information Modeling* (BIM) vem sendo usado tanto para auxiliar na busca por um melhor desempenho da edificação desde o seu projeto, quanto para avaliar o desempenho de uma edificação já projetada ou construída. Isso porque BIM oferece a oportunidade de alcançar diversos benefícios durante as fases de concepção, projeto, construção e pós-ocupação de uma construção, o que pode melhorar o desempenho do edifício, o que não era possível usando ferramentas 2D tradicionais (AZHAR; BROWN; FAROOQUI, 2009).

Dessa forma BIM pode ser usado na avaliação do desempenho real das edificações (AGHA-HOSSEIN; BIRCHALL; VATAL, 2015). Caso a avaliação seja feita corretamente, o *feedback* gerado pode melhorar o desempenho do edifício estudado, melhorar os serviços daqueles que o forneceram e contribuir para uma base de conhecimento mais ampla e difundida, sendo considerado um *feedback* eficiente (LEAMAN; STEVENSON; BORDASS, 2010).

É possível perceber que a avaliação de desempenho das edificações e o uso da tecnologia BIM podem estar ligados. Isto pois, a ideia de colaboração, multidisciplinaridade e de ciclo de vida da edificação estão presentes nos dois domínios. Dessa forma, o objetivo do presente artigo é desenvolver uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) buscando contribuições que relacionem o uso da tecnologia BIM com o desempenho das edificações, estabelecendo assim uma conexão entre as ferramentas BIM e o desempenho das edificações.

## MÉTODO

O método utilizado para o desenvolvimento do presente artigo foi a RSL seguindo a proposta de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015). Para os autores, a RSL é uma etapa fundamental da condução de pesquisas científicas pois possibilita encontrar, avaliar criticamente e consolidar informações a fim de contribuir para um tópico de pesquisa.

A pesquisa foi feita em duas bases de dados eletrônicas, sendo elas o *Science Direct* e a plataforma Scopus. Foram incluídos artigos de periódicos e congressos escritos em inglês. As datas das publicações não foram delimitadas. Como pode ser observado na Tabela 1, a busca foi realizada combinando termos de busca relacionados ao BIM (categoria 1) com termos de busca relacionados com o desempenho das edificações (categoria 2). Foram incluídos termos de busca relacionados com Avaliação Pós-Ocupação, que é um tipo de avaliação de desempenho da edificação que já está em uso.

| <b>Categoria 1</b>                    | <b>Categoria 2</b>                     |
|---------------------------------------|--|
| BIM                                   | <i>Building performance evaluation</i> |
| <i>Building Information Modeling</i>  | <i>Building performance</i>            |
| <i>Building Information Modelling</i> | <i>Building performance analyses</i>   |
| <i>Building Information Model</i>     | <i>Performance monitoring</i>          |
|                                       | <i>Building evaluation</i>             |
|                                       | <i>Post-occupancy evaluation</i>       |
|                                       | <i>Post occupancy evaluation</i>       |

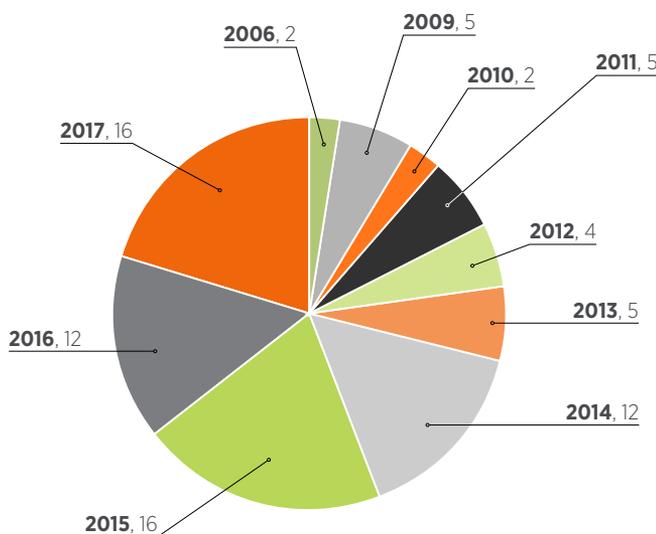
A busca foi feita procurando publicações que citassem obrigatoriamente pelo menos um dos termos de cada categoria, relacionados com cada um dos temas abordados. Como exemplo, uma publicação que tivesse a palavra “BIM” e o termo “*Building performance*” em seu título, resumo ou palavras-chave, seria detectada. Para isso foram utilizados os operadores booleanos OR, entre os termos de uma mesma categoria, e AND, entre as categorias. Deste modo, buscaram-se pesquisas que contêm pelo menos um termo de cada assunto em seu título, resumo ou palavras-chave.

A primeira etapa da pesquisa foi documentar todas as publicações encontradas e excluir as repetidas, o que resultou em 210 publicações. Em seguida foi feita a análise do título e leitura dos resumos das publicações pré-selecionadas. Esta filtragem inicial resultou na inclusão de 108 artigos. A seleção destes artigos foi feita considerando aqueles que poderiam estar de acordo com o objetivo proposto. Algumas publicações, apesar de terem cumprido os requisitos da pré-seleção, não foram incluídas pois tinham apenas o resumo disponibilizados para consulta, não sendo possível estudar a publicação na íntegra.

Posteriormente, os artigos incluídos foram estudados por completo avaliando se estes estavam de acordo com a questão central da pesquisa. Essa terceira etapa resultou na inclusão de 79 artigos utilizados na construção do panorama BIM – desempenho. Ressalta-se que todos os artigos, independentemente do ano de publicação, que discutissem sobre o desempenho das edificações e também sobre o uso da tecnologia ou filosofia BIM, foram incluídos nessa RSL, uma vez que a presente pesquisa visa criar um panorama tanto histórico quanto atual sobre o assunto. A lista dos artigos incluídos na RSL está descrita na Tabela 2. O Gráfico 1 mostra o crescimento no número de publicações desde 2006, data da publicação mais antiga localizada por meio da RSL.

**Tabela 1** - Termos de busca divididos em duas categorias

**Fonte:** Os autores (2019).



**Gráfico 1** - Distribuição das publicações por ano com os respectivos quantitativos

**Fonte:** Os autores (2019).

**Tabela 2** - Publicações incluídas na RSL com suas respectivas citações e meios de publicação

**Fonte:** Os autores (2019).

Quanto as formas de divulgação dos estudos, mais de 60% foram publicadas em periódicos e o restante em conferências. O periódico que teve o maior número de publicações incluídas foi o *Procedia Engineering* (9 artigos) seguido pelo *Automation in Construction* (7 artigos) e então o *Energy and Buildings* (5 artigos). Cerca de 40% de todos os artigos foram publicados em periódicos da editora Elsevier. Quanto as publicações de conferência destacam-se que sete foram publicados nos anais da conferência *Conference of International Building Performance Simulation Association* e quatro artigos foram publicados nos anais da conferência *Computing in Civil and Building Engineering* de 2014.

Com isso, verificou-se que o assunto em discussão é atual, como pode ser observado pelo aumento no número das publicações desde 2014.

| <b>Autor</b>                            | <b>Periódico/ Conferência</b>   |
|---|---|
| Chaisuparasmikul (2006)                 | <i>Annual conference of the association for computer-aided design in architecture</i>           |
| Turkaslan-Bulbul e Akin (2006)          | <i>Automation in Construction</i>   |
| Attia et al. (2009)                     | <i>11th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition</i> |
| Azhar e Brown (2009)                    | <i>International Journal of Construction Education and Research</i>                             |
| Barch, Gillard e Littlewood (2009)      | <i>2009 Second International Conference in Visualisation</i>                                    |
| Schlueter e Thesseling (2009)           | <i>Automation in Construction</i>   |
| Smith (2009)                            | <i>2009 Winter Simulation Conference</i>  |
| Azhar, Brown e Sattineni (2010)         | <i>27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction</i>                  |
| Tang et al. (2010)                      | <i>Automation in Construction</i>   |
| Corry et al. (2011)                     | <i>12th Conference of International Building Performance Simulation Association</i>             |
| Kim et al. (2011)                       | <i>28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction</i>                  |
| Mitchell (2011)                         | <i>12th Conference of International Building Performance Simulation Association</i>             |
| Moon et al. (2011)                      | <i>12th Conference of International Building Performance Simulation Association</i>             |
| Raheem, Issa e Olbina (2011)            | <i>Computing in Civil Engineering 2011</i>  |
| Cho, Chen e Woo (2012)                  | <i>Journal of KIBIM</i>   |
| Lee (2012)                              | <i>Journal of Interior Design</i>   |
| Srinivasan et al. (2012)                | <i>2012 Winter Simulation Conference</i>  |
| Wang e Cho (2012)                       | <i>Construction Research Congress 2012</i>  |
| Cemesova, Hopfe e Rezgui (2013)         | <i>13th Conference of International Building Performance Simulation Association</i>             |
| Díaz-Vilariño et al. (2013)             | <i>Solar Energy</i>   |
| Motawa e Carter (2013)                  | <i>Procedia - Social and Behavioral Sciences</i>  |
| O'Donnell et al. (2013)                 | <i>13th Conference of International Building Performance Simulation Association</i>             |
| Yan et al. (2013)                       | <i>13th Conference of International Building Performance Simulation Association</i>             |
| Baumgärtel e Scherer (2014)             | <i>Simulation</i>   |
| Calquin, Wandersleben e Castillo (2014) | <i>Computing in Civil and Building Engineering 2014</i>   |

| <b>Autor</b>  | <b>Periódico/ Conferência</b>   |
|---|---|
| Eguaras-Martínez, Vidaurre-Arbizu e Martín-Gómez (2014) | <i>Applied Energy</i>   |
| Gudnason et al. (2014)                                  | <i>Computing in Civil and Building Engineering 2014</i>                             |
| Fouchal, Hassan e Firth (2014)                          | <i>Computing in Civil and Building Engineering 2014</i>                             |
| Hiyama et al. (2014)                                    | <i>Energy and Buildings</i>   |
| Kota et al. (2014)                                      | <i>Energy and Buildings</i>   |
| Laing et al. (2014)                                     | <i>Procedia Environmental Sciences</i>  |
| Motawa, Janarthanam e Almarshad (2014)                  | <i>Construction Research Congress 2014</i>  |
| Wong e Kuan (2014)                                      | <i>Automation in Construction</i>   |
| Wu, Yanf e Fan (2014)                                   | <i>Computing in Civil and Building Engineering 2014</i>                             |
| Zhang et al. (2014)                                     | <i>2014 Winter Simulation Conference</i>  |
| Alwan e Gledson (2015)                                  | <i>Built Environment Project and Asset Management</i>                               |
| Cemesova, Hopfe e McLeod (2015)                         | <i>Automation in Construction</i>   |
| Jeong et al. (2015)                                     | <i>Journal of Building Performance Simulation</i>                                   |
| Lim (2015)  | <i>American Journal of Environmental Sciences</i>                                   |
| Göçer, Hua e Göçer (2015)                               | <i>Building and Environment</i>   |
| Hamedani e Smith (2015)                                 | <i>Procedia Engineering</i>   |
| Hu, Shen e Gu (2015)                                    | <i>Procedia Engineering</i>   |
| Niknam e Karshenas (2015)                               | <i>Procedia Engineering</i>   |
| Rahmani Asl et al. (2015)                               | <i>Energy and Buildings</i>   |
| Remmen et al. (2015)                                    | <i>14th Conference of International Building Performance Simulation Association</i> |
| Ronzino et al. (2015)                                   | <i>Energy Procedia</i>  |
| Shi et al. (2015)                                       | <i>Symposium on simulation for architecture &amp; urban design</i>                  |
| Shoubi et al. (2015)                                    | <i>Ain Shams Engineering Journal</i>  |
| Stundon et al. (2015)                                   | <i>31st Annual ARCOM Conference</i>   |
| Wang e Cho (2015a)                                      | <i>Procedia Engineering</i>   |
| Wang e Cho (2015b)                                      | <i>Procedia Engineering</i>   |
| Alwan (2016)  | <i>Structural Survey</i>  |
| Göçer, Hua e Göçer (2016)                               | <i>Building Simulation</i>  |
| Jeong e Kim (2016)                                      | <i>Sustainability</i>   |
| Kanellos et al. (2016)                                  | <i>SPIE Defense + Security</i>  |
| Migilinskas et al. (2016)                               | <i>Journal of Civil Engineering and Management</i>                                  |
| Oduyemi e Okoroh (2016)                                 | <i>International Journal of Sustainable Built Environment</i>                       |
| Oti et al. (2016)                                       | <i>Automation in Construction</i>   |
| Pasini et al. (2016)                                    | <i>Smart Cities Conference (ISC2)</i>   |
| Solla, Ismail e Yunus (2016)                            | <i>ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences</i>                             |
| Wen e Hiyama (2016)                                     | <i>Procedia Engineering</i>   |
| Zainudin et al. (2016)                                  | <i>2016 International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM)</i>       |
| Zanni, Soetanto e Ruikar, 2016                          | <i>Architectural Engineering and Design Management</i>                              |
| Abanda et al. (2017)                                    | <i>Journal of Building Engineering</i>  |
| Abdelalim, O'Brien e Shi (2017)                         | <i>Automation in Construction</i>   |

| <b>Autor</b>                    | <b>Periódico/ Conferência</b>  |
|---------------------------------|--|
| Bottaccioli et al. (2017)       | <i>IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference</i>  |
| Chen et al. (2017)              | <i>Computer-Aided Design and Applications</i>  |
| Gerrish et al. (2017)           | <i>Energy and Buildings</i>  |
| Habibi (2017)                   | <i>Energy and Buildings</i>  |
| Juan e Hsing (2017)             | <i>Applied Sciences</i>  |
| Leitão, Branco e Cardoso (2017) | <i>22nd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)</i> |
| Maltese et al. (2017)           | <i>Procedia Engineering</i>  |
| Mitterhofer et al. (2017)       | <i>Building and Environment</i>  |
| Natephra et al. (2017)          | <i>Building and Environment</i>  |
| Patiño-Cambeiro et al. (2017)   | <i>Energies</i>  |
| Pruvost e Scherer (2017)        | <i>Procedia Engineering</i>  |
| Suprabhas e Dib (2017)          | <i>Computing in Civil Engineering 2017</i>   |
| Zani et al. (2017)              | <i>Procedia Engineering</i>  |
| Zhang e Ong (2017)              | <i>Computing in Civil Engineering 2017</i>   |

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Seguindo o método descrito, foram localizadas publicações de 2006 a 2017. Uma das publicações mais antigas já falava sobre a melhoria da qualidade dos edifícios por meio da avaliação contínua e o uso de modelo de informação de construção (TURKASLAN-BULBUL; AKIN, 2006). Por meio da leitura dos artigos percebeu-se que existem quatro abordagens principais em que as ferramentas BIM foram usadas na análise de características do desempenho das edificações, como é discutido a seguir.

### Publicações que utilizaram ferramentas BIM e ferramentas de simulação de desempenho

Foi constatado que mais da metade das publicações que discutem sobre as tecnologias e ferramentas BIM e o desempenho das edificações o fazem por meio do uso de ferramentas BIM seguido do uso de ferramentas de simulação de desempenho. A publicação mais antiga encontrada foi de 2006 na qual Chaisuparasmikul (2006) já discutia sobre o uso de modelos BIM e *softwares* de simulação energética. Logo, a mais de uma década atrás já era discutido como a então “inovadora tecnologia de intercâmbio digital” poderia auxiliar a analisar visualmente o desempenho. Situação semelhante a Schlueter e Thesseling (2009), na qual é descrita uma ferramenta prototípica integrada em um *software* de modelagem BIM, permitindo cálculos instantâneos de energia e a visualização gráfica dos índices de desempenho resultantes.

Dentre os artigos encontrados que focavam no uso das ferramentas BIM-simulação, 38 fizeram algum tipo de aplicação. Outras publicações tratavam do assunto de forma teórica (ATTIA et al., 2009; AZHAR; BROWN, 2009; SMITH, 2009; FOUCHAL; HASSAN; FIRTH, 2014; LIM, 2015; OTI et al., 2016; WEN; HIYAMA, 2016). As 38 publicações que desenvolveram aplicações para a integração do modelo BIM com as ferramentas de simulação estão listadas no Quadro 1. O quadro mostra também quais ferramentas BIM e de simulação foram usadas em cada pesquisa assim como quais delas fizeram simulações energéticas (E), de iluminação ou solares (I) e térmicas (T), os três tipos de simulação mais frequentes.

Como pode ser observado, a maior parte das simulações que foram desenvolvidas eram energéticas. Para isso diversos *softwares* de simulação foram utilizados como o IES-VE, o EnergyPlus e o Autodesk Ecotect. Em seguida vieram as simulações de iluminação e solares, desenvolvidas por meio do uso de *softwares* como IES-VE, Radiance e Daysim. As simulações térmicas foram as terceiras mais frequentes e foram desenvolvidas com o uso de *softwares* como o Autodesk Green Building Studio e da linguagem Modelica. Simulações de tempo de evacuação em situação de fogo foram desenvolvidas em duas pesquisas (KANELLOS et al.; 2016; JUAN; HSING, 2017).

Ademais, Chen et al. (2017) e Juan e Hsing (2017) desenvolveram simulações de ventilação e Azhar, Brown e Sattineni (2010) de orientação da edificação. Apesar de não haver um consenso entre os *softwares* de simulação utilizados, a ferramenta BIM Autodesk Revit foi amplamente usada nos estudos das publicações em questão.

Alguns autores utilizaram outros recursos além das ferramentas de simulações convencionais. Em alguns casos foi utilizada o Modelica, linguagem de modelagem orientada a objetos que permite a modelagem de sistemas complexos (YAN et al., 2013; JEONG et al., 2015; JEONG; KIM, 2016), em um caso também foi utilizado o Rhino 3D, *software* proprietário de modelagem tridimensional baseado na tecnologia NURBS, e o Octopus para realizar a análise do padrão de ocupação por algoritmos generativos (ZANI et al., 2017).

Algumas publicações discutiram sobre BIM e as simulações de desempenho com outras propostas (KIM et al., 2011; EGUARAS-MARTÍNEZ; VIDAURRE-ARBIZU; MARTÍN-GÓMEZ, 2014; GUDNASON et al., 2014; HIYAMA et al., 2014), como Hiyama et al. (2014) que desenvolvem um sistema que gera configurações padrão para simulações no qual BIM é usado com forma de compilar os dados do sistema.

**Quadro 1:** Publicações que utilizaram ferramentas BIM e ferramentas de simulação, ferramentas utilizadas e indicação das simulações energéticas (E), térmicas (T), de iluminação e solar (I)

**Fonte:** Os autores (2019).

| Autor                              | Ferramenta                        |  |   |   |   |
|------------------------------------|-----------------------------------|--|---|---|---|
|                                    | BIM                               | Simulação                              | E | I | T |
| Chaisuparasmikul (2006)            | Revit                             | DOE-2                                  | E |   |   |
| Barch, Gillard e Littlewood (2009) | Archicad                          | Ecotect                                |   | I |   |
| Schlueter e Thesseling (2009)      | Revit                             | <i>Design Performance Viewer (DPV)</i> | E |   |   |
| Azhar, Brown e Sattineni (2010)    |                                   | IES-VE                                 | E | I | T |
| Corry et al. (2011)                |                                   |  | E | I |   |
| Raheem, Issa e Olbina (2011)       | DesignBuilder                     |  | E |   |   |
| Cho, Chen e Woo (2012)             | Revit                             | Energy Plus; IES-VE                    | E |   |   |
| Lee (2012)                         | Revit                             | GBS; Ecotect                           | E | I |   |
| Díaz-Vilariño et al. (2013)        | Modelo gerado por scanner a laser | Ecotect                                | E | I |   |
| O'Donnell et al. (2013)            | SimModel (proposta do estudo)     | EnergyPlus                             | E |   |   |
| Yan et al. (2013)                  | Revit                             | Radiance; Daysim                       | E | I | T |
| Baumgärtel e Scherer (2014)        |                                   | Virtual Energy Laboratory (VEL)        | E |   |   |
| Kota et al. (2014)                 | Revit                             | Radiance; Daysim                       |   | I |   |
| Göçer, Hua e Göçer (2015)          |                                   | EnergyPlus, DOE-2, TRNSYS              | E | I | T |
| Hamedani e Smith (2015)            | SketchUp                          | Ecotect; Sefaira                       | E |   |   |
| Hu, Shen e Gu (2015)               | SURrogate MOdeling (SUMO) Toolbox | EnergyPlus                             | E |   |   |
| Jeong et al. (2015)                | Revit                             |  |   |   | T |

| Autor                           | Ferramenta                                  |   |   |   |   |
|---------------------------------|---|---|---|---|---|
|                                 | BIM   | Simulação                                       |   |   |   |
| Rahmani Asl et al. (2015)       | Revit                                       | Optimo  | E | I |   |
| Ronzino et al. (2015)           | Revit                                       | Edilclima EC770;<br>DesignBuilder               | E |   |   |
| Shi et al. (2015)               | Revit                                       | EnergyPlus                                      | E |   |   |
| Shoubi et al. (2015)            | Revit                                       | Ecotect   | E |   |   |
| Stundon et al. (2015)           | Revit                                       | IES-VE; GBS                                     | E |   |   |
| Wang e Cho (2015a)              | Modelo gerado por<br><i>scanner a laser</i> | GBS   | E |   |   |
| Wang e Cho (2015b)              | Modelo gerado por<br><i>scanner a laser</i> | GBS; Ecotect                                    | E |   |   |
| Jeong e Kim (2016)              | Revit                                       |   |   |   | T |
| Kanellos et al. (2016)          | Revit                                       | PYRONES   |   |   |   |
| Migilinskas et al. (2016)       | Revit                                       | DesignBuilder                                   | E |   |   |
| Oduyemi e Okoroh (2016)         | Revit                                       | Ecotect   | E | I | T |
| Zainudin et al. (2016)          | Revit                                       | GBS   |   | I |   |
| Abdelalim, O'Brien e Shi (2017) | Revit                                       | EnergyPlus; GBS                                 | E |   | T |
| Bottaccioli et al. (2017)       | Revit                                       | EnergyPlus                                      | E |   |   |
| Chen et al. (2017)              | Revit                                       | Vasari; GBS                                     |   | I |   |
| Habibi (2017)                   | Revit                                       | Ecotect; IES-VE; Daysim                         | E | I | T |
| Juan e Hsing (2017)             | Revit                                       | Vasari; Ecotect; <i>Fire Dynamics Simulator</i> |   | I |   |
| Patiño-Cambeiro et al. (2017)   | Revit                                       | DesignBuilder                                   | E |   |   |
| Pruvost e Scherer (2017)        |   |   | E |   |   |
| Zani et al. (2017)              | SketchUp                                    | EnergyPlus                                      | E |   |   |
| Zhang e Ong (2017)              | Revit                                       | GBS   | E |   |   |

### Interoperabilidade entre ferramentas

Como observado no Quadro 1, existem diversas possibilidades de escolha de ferramentas BIM e ferramentas de simulação. Com isso surge um desafio técnico quanto aos formatos de arquivos. Algumas publicações não desenvolveram simulações práticas optando por discutir sobre a interoperabilidade entre essas ferramentas, como mostra o Quadro 2.

Segundo Moon et al. (2011), um dos obstáculos para o uso limitado do BIM no domínio da análise ambiental é a falta de interoperabilidade entre os modelos BIM e os programas de análise de desempenho. Os autores ressaltam que existem várias ferramentas disponíveis sendo que a maioria delas necessita que o modelo esteja em um formato particular. Ademais, mudanças entre formatos pode acarretar perdas de informações. Moon et al. (2011) avaliaram a interoperabilidade entre um modelo arquitetônico baseado em BIM e programas de análise de desempenho (EnergyPlus, eQUEST, Ecotect, IES-VE) com base no protocolo gbXML.

Srinivasan et al. (2012) também argumentam que há uma falta de conectividade entre BIM e as ferramentas de desempenho. Os autores propõem um banco de trabalho de código aberto, o B-BIM *Workbench*, que fornece um quadro para realizar avaliações integradas de desempenho dentro do BIM. A proposta foi testada inicialmente no Revit mas visa abranger qualquer ferramenta BIM. Calquin, Wandersleben e Castillo (2014)

apresentam estudos de caso sobre a interoperabilidade de ferramentas, sendo elas o Revit e os programas de simulação Ecotect, DesignBuilder, TAS e Vasari. São testados os protocolos gbXML, DXF, RVT e ifcXML. Como resultado é apresentado um novo mapa de interoperabilidade entre os *softwares* BIM, os formatos dos arquivos e os *softwares* de desempenho. Já Kota et al. (2014) discutem a incorporação da análise de iluminação natural em um ambiente BIM, seus desafios e benefícios. O artigo visa integrar a ferramenta BIM Revit com as ferramentas de simulação de iluminação natural Radiance e Daysim por meio do protótipo desenvolvido, *Revit2Radiance*.

Segundo Leitão, Branco e Cardoso (2017), em muitos casos, as ferramentas de análise de desempenho requerem modelos de construção mais simplificados do que os modelos reais. Os autores propõem uma análise baseada em algoritmos por meio de um método de design generativo que, utilizando uma única representação baseada em algoritmos de um edifício, pode gerar tanto o modelo tradicional BIM, quanto os modelos especializados para uso em diferentes tipos de análise. Com uma abordagem similar, Remmen et al. (2015) apresentam uma estrutura aberta para a geração automática de modelo Modelica a partir de uma fonte de dados BIM.

Gerrish et al. (2017) apresentam um fluxo de transferência de dados, extração e visualização que engloba as ferramentas IES-VE e Revit com o uso do Dynamo, para extrair a geometria do edifício do Revit para o formato JSON, um formato mais leve, e também o uso da linguagem Python para monitoramento do desempenho.

Ainda sobre interoperabilidade e formatos de arquivo, alguns artigos estudaram sobre a relação do BIM com dados de energia (CEMESOVA; HOPFE; REZGUI, 2013; CEMESOVA; HOPFE; MCLEOD, 2015; OTI et al., 2016; ABANDA et al., 2017).

**Quadro 2:** Ferramentas utilizadas e propostas de interoperabilidade testadas nos estudos

**Fonte:** Os autores (2019).

| Autor                                   | Modelo BIM                             | Ferramentas de desempenho           | Proposta/ protocolo                              |
|---|--|-------------------------------------|--|
| Moon et al. (2011)                      | Revit                                  | EnergyPlus, eQUEST, Ecotect, IES-VE | gbXML  |
| Srinivasan et al. (2012)                | Revit                                  | D-BIM <i>Workbench</i>              | Código aberto (Graphics Rendering Engine (ÓGRE)) |
| Calquin, Wandersleben e Castillo (2014) | Revit                                  | Ecotect, DesignBuilder, TAS, Vasari | gbXML, DXF, RVT e ifcXML                         |
| Kota et al. (2014)                      | Revit                                  | <i>Radiance</i> , Daysim            | <i>Revit2Radiance</i>                            |
| Leitão, Branco e Cardoso (2017)         | Rosetta                                | <i>Radiance</i> , Daysim            | Análise baseada em algoritmos                    |
| Remmen et al. (2015)                    | Revit, SimModel (modelo intermediário) | Modelica                            | IFC, SimXML, Python                              |
| Gerrish et al. (2017)                   | Revit                                  | IES-VE, Dynamo                      | JSON, Python                                     |

### Publicações que buscaram integrar BIM com dados de sensores

Foram identificadas publicações que integravam dados reais, originados de sensores físicos, e ferramentas BIM. Nesse cenário os dados reais eram as informações que abasteciam a ferramenta, podendo assim melhorar a gestão de um edifício (PASINI et al., 2016). O Quadro 3 expõe estas publicações assim como os tipos de dados utilizados em conjunto com as ferramentas BIM e como estes dados foram adquiridos. Como pode ser observado, diversos artigos utilizaram sensores posicionados nas edificações para obter dados térmicos e também dados relativos a qualidade do ar. Além disso, diversas publicações que integraram os modelos BIM com dados reais

preocupavam-se com questões energéticas (FOUCHAL; HASSAN; FIRTH, 2014; WU; YANG; FAN, 2014; RONZINO et al., 2015; BOTTACCIOLI et al., 2017; PATIÑO-CAMBEIRO et al., 2017; ZHANG et al., 2014).

| <b>Autor</b>                   | <b>Tipo de dados</b>  | <b>Fonte dos dados</b>   |
|--------------------------------|---|--|
| Wang e Cho (2012)              | Geometria   | <i>Scanner a laser</i>   |
| Díaz-Vilariño et al. (2013)    | Geometria   | <i>Scanner a laser</i>   |
| Fouchal, Hassan e Firth (2014) | Consumo energético  | Sensores e monitoramento   |
| Laing et al. (2014)            | Geometria   | <i>Scanner a laser</i>   |
| Zhang et al. (2014)            | Consumo energético  | RFID   |
| Wu, Yang e Fan (2014)          | Geometria, temperatura, dados de energia, pressão e ruído                             | <i>Scanner a laser</i> / rede de sensores sem fio                      |
| Ronzino et al. (2015)          | Geometria, temperatura e irradiação solar   | Fotogrametria/ sensores  |
| Wang e Cho (2015a)             | Geometria   | <i>Scanner a laser</i>   |
| Wang e Cho (2015b)             | Geometria   | <i>Scanner a laser</i>   |
| Göçer, Hua e Göçer (2016)      | Geometria, consumo energético, temperatura, umidade e concentração de CO <sub>2</sub> | Técnica de correspondência de fotos, medições, visitas e <i>survey</i> |
| Pasini et al. (2016)           | Temperatura e umidade   | Sensores   |
| Bottaccioli et al. (2017)      | Geometria, temperatura, umidade, consumo energético, ocupação                         | Dados meteorológicos e rede de sensores sem fio                        |
| Natephra et al. (2017)         | Temperatura e umidade   | Sensores   |
| Patiño-Cambeiro et al. (2017)  | Geometria, temperatura, umidade, iluminação e ocupação                                | Sensores IMAS ( <i>Indoor Multi-Sensor Acquisition System</i> )        |
| Suprabhas e Dib (2017)         | Iluminação  | Rede de sensores sem fio   |

**Quadro 3:** Tipos de dados reais utilizados e fonte dos dados

**Fonte:** Os autores (2019).

O Quadro 3 também mostra publicações que utilizaram técnicas de extração da geometria da edificação para que, posteriormente, essas informações possibilitassem a elaboração de um modelo BIM e a condução de uma avaliação de desempenho da edificação.

A maioria dos artigos que escolheram essa abordagem optaram pelo uso de *scanners a laser*. Esse é o caso de Wang e Cho (2012), Wang e Cho (2015a) e Wang e Cho (2015b), que combinaram o modelo gerado pelo *scanner a laser* com simulações e estudos energéticos. Wang e Cho (2015a) e Wang e Cho (2015b) ainda demonstraram que o uso de *scanners a laser* pode ser uma solução em *retrofits*, uma vez que edifícios antigos não possuem modelos para serem usados em outros estudos de desempenho, situação repetida em Alwan (2016).

Díaz-Vilariño et al. (2013) apresentam uma metodologia para geração automática de modelos BIM por meio de uso de *scanners a laser*, capazes de identificar superfícies de sombra para então ser feita a análise solar do edifício. Laing et al. (2014), também utilizaram *scanners a laser* e fotogrametria para construir um modelo BIM, usando a ferramenta Revit. Em seguida, os autores demonstraram como o modelo pode ser usado, mesmo dentro do próprio Revit, para o desenvolvimento de análises solares.

Outras ferramentas também foram utilizadas para extrair a geometria das construções como o uso da técnica de correspondência de foto (GÖÇER; HUA; GÖÇER, 2016) e uma revisão das técnicas relacionadas a reconstrução automática de modelos de informações de construção a partir de nuvens de pontos digitalizadas a *laser* (TANG et al., 2010).

## Publicações que discutiram a integração de ferramentas BIM com sistemas de classificação de construção sustentável

Sistemas de classificação de construção sustentável estão sendo cada vez mais adotados para avaliar o desempenho de sustentabilidade tanto do projeto quanto da construção de edifícios. Nesse contexto, uma outra aplicação detectada para as tecnologias BIM foi o uso destas na classificação de sustentabilidade de um edifício, uma vez que elas possibilitem capturar informações completas de projeto (WONG; KUAN, 2014). Nesta seção são discutidas as publicações em que tiveram como objetivo central o uso das ferramentas BIM na geração da documentação de sistemas de classificação de construção sustentável, como pode ser visto no Quadro 4.

Nesse cenário, a classificação mais frequente foi o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), sendo que as publicações sobre BIM-LEED foram de 2010 até 2017. Além disso a ferramenta BIM predominantemente utilizada foi o Revit (WONG; KUAN, 2014; ZHANG et al., 2014; SOLLA; ISMAIL; YUNUS, 2016; ZAINUDIN et al., 2016; MALTESE et al., 2017). Diante de resultados positivos da integração do BIM com o LEED, Wong e Kuan (2014) testam o funcionamento com o sistema de classificação de construção sustentável *Building Environmental Assessment Method* (BEAM) Plus de Hong Kong. Para isso os autores agruparam os potenciais créditos BEAM Plus que poderiam ser alcançados usando o *software* BIM para depois testar em um estudo de caso. Como resultado, quinze créditos BEAM Plus poderiam ser documentados na ferramenta BIM Revit. Wong e Kuan (2014) concluem que, apesar dos resultados positivos, a integração BIM-LEED permite a obtenção de dois créditos a mais diretamente do Revit. Os mesmos resultados foram encontrados em Solla, Ismail e Yunus (2016), que ainda discutiram sobre BIM-Green Star, sendo que essa certificação seria a que mais créditos poderiam ser alcançados.

**Quadro 4:** Certificações

**Fonte:** Os autores (2019).

| Autor                           | Certificação                                       |
|---------------------------------|--|
| Azhar, Brown e Sattineni (2010) | LEED   |
| Wong e Kuan (2014)              | BEAM Plus  |
| Zhang et al. (2014)             | LEED   |
| Alwan e Gledson (2015)          | BREEAM; LEED                                       |
| Solla, Ismail e Yunus (2016)    | LEED; Beam Plus; Green Star                        |
| Zainudin et al. (2016)          | LEED; <i>Malaysia's Green Building Index</i> (GBI) |
| Maltese et al. (2017)           | LEED, BREAM, CESBA                                 |

A integração de ferramentas BIM com outras certificações também foi estudada como o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) que esteve presente nos estudos de Alwan e Gledson (2015) e Maltese et al. (2017), que também estudaram a integração com o *Common European Sustainable Building Assessment* (CESBA).

## CONCLUSÕES

Por meio da leitura dos artigos percebeu-se que existem quatro abordagens principais em que as ferramentas BIM são usadas na análise de características do desempenho das edificações: utilização das ferramentas BIM em conjunto com ferramentas de simulações de desempenho; discussão sobre a interoperabilidade de ferramentas BIM e ferramentas de simulação; integração do BIM com dados de sensores; e integração de ferramentas BIM com sistemas de classificação de construção sustentável.

Sobre as abordagens identificadas, destaca-se que a primeira foi a que apresentou o maior número de estudos e também englobou as publicações mais antigas da RSL. Apesar disso, as quatro abordagens detectadas podem ser consideradas como tendências no panorama BIM-desempenho uma vez que em todos os casos foram identificadas publicações recentes. Dessa forma, é possível concluir que estudos que relacionam o uso do BIM e o desempenho das edificações vem aumentando, sendo um assunto atual, como confirmado pelo estudo bibliométrico.

Ademais, a proposta seguida pela publicação pode variar de acordo com a fase do ciclo de vida da edificação. No caso de uma edificação em fase de concepção, o uso do modelo BIM em simulações de desempenho poderia auxiliar nas decisões de design e escolha de materiais. O estudo da interoperabilidade das ferramentas BIM-simulações de desempenho poderia anteceder todo o projeto sendo uma questão a ser considerada antes mesmo do desenvolvimento do modelo BIM. A terceira abordagem, BIM-dados físicos, é adequada a partir da fase de construção até a pós-ocupação, podendo auxiliar no dia-a-dia da edificação e sua manutenção, com monitoramentos e integração dos dados direto em modelos BIM, até em *retrofits*, com a geração de modelos BIM que permitam o desenvolvimento de avaliações de desempenho. Por fim, a última abordagem, BIM-certificações de sustentabilidade, poderia auxiliar na fase pós-construção na geração de documentos para a certificação ambiental.

Ainda sobre as publicações do terceiro grupo, a aplicação das tecnologias BIM integradas com informações obtidas por sensores, mostrou-se um uso, apesar de menos frequente do que o primeiro grupo, simples e aplicável ao dia-a-dia da construção civil.

Diante das várias ferramentas de simulação disponíveis não foi possível identificar a predominante, mesmo entre simulações de desempenho com a mesma finalidade. Isso pode justificar as dificuldades de interoperabilidade encontradas nas pesquisas, foco do segundo grupo identificado. Por outro lado, a ferramenta BIM mais utilizada nos artigos levantados é a Autodesk Revit, independentemente do objetivo da pesquisa.

Algumas publicações discutiram sobre algum dos quatro tópicos porém com outro objetivo central (MITCHELL, 2011; MOTAWA; CARTER, 2013; ZANNI; SOETANTO; RUIKAR, 2016). Em Mitchell (2011), por exemplo, são mapeados os desafios da indústria na adoção do BIM sendo que o autor apenas cita as simulações de desempenho. Outras publicações não têm relação direta com os quatro tópicos mas podem vir, futuramente, a fazer parte de uma nova abordagem ainda não delimitada (MOTAWA; JANARTHANAM; ALMARSHAD, 2014; NIKNAM; KARSHENAS, 2015; MITTERHOFER et al., 2017).

Dentro do escopo da pesquisa, foram ainda identificadas lacunas a serem preenchidas por publicações futuras. Apesar de ser discutido sobre a interoperabilidade entre as ferramentas, carecem ainda de estudos que definam como essa interoperabilidade pode ser feita, como um manual, por exemplo. Existem alguns modelos, mas não foram encontrados estudos comparativos entre as diferentes propostas de interoperabilidade entre as ferramentas. Assim, caberia ao pesquisador testar qual seria a mais apropriada para sua pesquisa, o que pode levar a uma decisão equivocada além do desperdício de tempo gasto neste processo.

Ademais, pesquisas futuras poderiam tentar quantificar o impacto do uso do BIM no desempenho das edificações, seja quantitativamente por meio de redução de prazos e aumento na qualidade de algum fator, ou mesmo qualitativamente, por meio da aplicação de questionários e entrevistas com agentes envolvidos.

Por fim, as ferramentas BIM estão sendo utilizadas na busca por um melhor desempenho das edificações e também na investigação do desempenho real das edificações.

## REFERÊNCIAS

- ABANDA, F. H.; OTI, A. H.; TAH, J. H. M. Integrating BIM and new rules of measurement for embodied energy and CO2 assessment. **Journal of Building Engineering**, v. 12, p. 288-305, 2017. doi: 10.1016/j.jobe.2017.06.017.
- ABDELALIM, A.; O'BRIEN, W.; SHI, Z. Data visualization and analysis of energy flow on a multi-zone building scale. **Automation in Construction**, v. 84, p. 258-273, 2017. doi: 10.1016/j.autcon.2017.09.012
- AGHA-HOSSEIN, M.; BIRCHALL, S.; VATAL, S. **Building Performance Evaluation in Non-domestic Buildings - A guide to effective learning**. 2015.
- ALWAN, Z. BIM performance framework for the maintenance and refurbishment of housing stock. **Structural Survey**, v. 34, n. 3, p. 242-255, 2016. doi: 10.1108/SS-03-2015-0018.
- ALWAN, Z.; GLEDSON, B. J. Towards green building performance evaluation using asset information modelling. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 5, n. 3, p. 290-303, 2015. doi: 10.1108/BEPAM-03-2014-0020.
- ATTIA, S.; BELTRÁN, L.; DE HERDE, A.; HENSEN, J. "Architect friendly": A comparison of ten different building performance simulation tools. In: INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION CONFERENCE AND EXHIBITION, 11, 2009, Glasgow, Scotland. **Proceedings...** Glasgow, Scotland: International Building Performance Simulation Association (IBPSA), 2009. p.204-211.
- AZHAR, S.; BROWN, J. BIM for Sustainability Analyses. **International Journal of Construction Education and Research**, v. 5, n. 4, p. 276-292, 2009. doi: 10.1080/15578770903355657.
- AZHAR, S.; BROWN, J. W.; SATTINENI, A. A case study of building performance analyses using building information modeling. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION (ISARC 2010), 27, 2010, Bratislava, Slovakia. **Proceedings...** Bratislava, Slovakia: 2010. p.213-222.
- BARCH, J. A. M. C.; GILLARD, A.; LITTLEWOOD, J. R. The atlantic college case study - Measuring performance to evaluate building simulation and enhance student learning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN VISUALISATION, 2, 2009, Barcelona, Spain. **Proceedings...** Barcelona, Spain: 2009. p.102-107.
- BAUMGÄRTEL, K.; SCHERER, R. J. Automatic ontology-based Green Building Design Parameter Variation and Evaluation in Thermal Energy Building Performance Analyses. **Simulation**, v. 2012, n. 27, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Ken\\_Baumgaertel/publication/308075631\\_Automatic\\_ontology-based\\_Green\\_Building\\_Design\\_Parameter\\_Variation\\_and\\_Evaluation\\_in\\_Thermal\\_Energy\\_Building\\_Performance\\_Analyses/links/57d909a708ae0c0081eec9dd.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ken_Baumgaertel/publication/308075631_Automatic_ontology-based_Green_Building_Design_Parameter_Variation_and_Evaluation_in_Thermal_Energy_Building_Performance_Analyses/links/57d909a708ae0c0081eec9dd.pdf). Acesso em 15/01/2018.
- BOTTACCIOLI, L.; ALIBERTI, A.; UGLIOTTI, F.; et al. Building Energy Modelling and Monitoring by Integration of IoT Devices and Building Information Models. In: IEEE ANNUAL COMPUTER SOFTWARE AND APPLICATIONS CONFERENCE (COMPSAC), 41, 2017, Torino, Italy. **Proceedings...** Torino, Italy: IEEE Computer Society, 2017. v. 1, p.914-922.
- CALQUIN, D. A. L.; WANDERSLEBEN, G.; CASTILLO, L. S. Interoperability map between BIM and BPS software. In: COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2014, Orlando, Florida. **Proceedings...** Orlando, Florida: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2014. p.601-608.
- CEMESOVA, A.; HOPFE, C. J.; MCLEOD, R. S. PassivBIM: Enhancing interoperability between BIM and low energy design software. **Automation in Construction**, v. 57, p. 17-32, 2015. doi: 10.1016/j.autcon.2015.04.014.
- CEMESOVA, A.; HOPFE, C. J.; REZGUI, Y. An approach to facilitating data exchange between BIM environments and a low energy design tool. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 13, 2013, Chambéry, France. **Proceedings...** Chambéry, France: 2013. p. 3234-3241.
- CHAI SUPARASMIKUL, P. Bidirectional Interoperability Between CAD and Energy Performance Simulation Through Virtual Model System Framework. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTER-AIDED DESIGN IN ARCHITECTURE (ACADIA), 25, 2006, Louisville, Kentucky. **Proceedings...** Louisville, Kentucky: 2006. p.232-250.
- CHEN, C.-J.; CHEN, S.; LI, S.; CHIU, H. Green BIM-based building energy performance analysis. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 14, n. 5, p. 650-660, 2017. doi:

10.1080/16864360.2016.1273582.

CHO, C.; CHEN, D.; WOO, S. Building Information Modeling (BIM) - Based Design of Energy Efficient Buildings. **Journal of KIBIM**, v. 2, n. 1, p. 1-6, 2012. Disponível em: [http://www.korea-science.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=HBOOB1\\_2012\\_v2n1\\_1](http://www.korea-science.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=HBOOB1_2012_v2n1_1). Acesso em 15/01/2018.

CORRY, E.; KEANE, M.; O'DONNELL, J.; COSTA, A. Systematic development of an operational BIM utilising simulation and performance data in building operation. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 12, 2011, Sydney, Australia. **Proceedings...** Sydney, Australia: 2011. p.1422-1429.

DÍAZ-VILARIÑO, L.; LAGÜELA, S.; ARMESTO, J.; ARIAS, P. Semantic as-built 3d models including shades for the evaluation of solar influence on buildings. **Solar Energy**, v. 92, p. 269-279, 2013. doi: 10.1016/j.solener.2013.03.017.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P. ; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015. 181 p.

EGUARAS-MARTÍNEZ, M.; VID-AURRE-ARBIZU, M.; MARTÍN-GÓMEZ, C. Simulation and evaluation of Building Information Modeling in a real pilot site. **Applied Energy**, 2014. doi: 10.1016/j.apenergy.2013.09.047.

FOUCHAL, F.; HASSAN, T. M.; FIRTH, S. K. Maintenance, retrofit and operation decision support tool for both domestic and non-domestic buildings. In: COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2014, Orlando, Florida. **Proceedings...** Orlando, Florida: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2014. p.1699-1706.

GERRISH, T.; RUIKAR, K.; COOK, M.; et al. BIM application to building energy performance visualisation and management: Challenges and potential. **Energy and Buildings**, v. 144, p. 218-228, 2017. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.03.032.

GÖÇER, Ö.; HUA, Y.; GÖÇER, K. Completing the missing link in building design process: Enhancing post-occupancy evaluation method for effective feedback for building performance. **Building and Environment**, v. 89, p. 14-27, 2015. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.02.011.

GÖÇER, Ö.; HUA, Y.; GÖÇER, K. A BIM-GIS integrated pre-retrofit model for

building data mapping. **Building Simulation**, v. 9, n. 5, p. 513-527, 2016. doi: 10.1007/s12273-016-0293-4.

GUDNASON, G.; KATRANUSCHKOV, P.; BALARAS, C.; SCHERER, R. J. Framework for Interoperability of Information Resources in the Building Energy Simulation Domain. In: COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2014, Orlando, Florida. **Proceedings...** Orlando, Florida: 2014. p. 617-624.

HABIBI, S. The promise of BIM for improving building performance. **Energy and Buildings**, v. 153, p. 525-548, 2017. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.08.009.

HAMEDANI, M. N.; SMITH, R. E. Evaluation of Performance Modelling: Optimizing Simulation Tools to Stages of Architectural Design. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 774-780, 2015. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.513.

HIYAMA, K.; KATO, S.; KUBOTA, M.; ZHANG, J. A new method for reusing building information models of past projects to optimize the default configuration for performance simulations. **Energy and Buildings**, v. 73, p. 83-91, 2014. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.01.025.

HU, J.; SHEN, E.; GU, Y. Evaluation of Lighting Performance Risk Using Surrogate Model and EnergyPlus. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 522-529, 2015. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.471.

JEONG, W. S.; KIM, J. B.; CLAYTON, M. J.; HABERL, J. S.; YAN, W. A framework to integrate object-oriented physical modelling with building information modelling for building thermal simulation. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 9, n. 1, p. 50-69, 2015. doi: 10.1080/19401493.2014.993709.

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. 1-27, 2016. doi: 10.3390/su8070648.

JUAN, Y. K.; HSING, N. P. BIM-based approach to simulate building adaptive performance and life cycle costs for an open building design. **Applied Sciences**, v. 7, n. 837, p. 1-12, 2017. doi: 10.3390/app7080837.

KANELLOS, T.; DOULGERAKIS, A.; GEORGIU, E.; et al. PYRONES: pyro-modeling and evacuation simulation system. In: SPIE Defense + Security, 2016, Baltimore, Maryland, United States. **Proceedings...** Baltimore, Mary-

- land, United States: 2016. v. 984216. doi: 10.1117/12.2223162.
- KIM, S.-A.; CHOE, Y.; JANG, M.; SEOL, W. Design process visualization system integrating BIM data and performance-oriented design information. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION (ISARC), 28, 2011, Seoul, Korea. **Proceedings...** Seoul, Korea: 2011. p. 728–733.
- 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, 2014. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.06.043.
- LAING, R.; LEON, M.; MAHDJOUBI, L.; SCOTT, J. Integrating Rapid 3D Data Collection Techniques to Support BIM Design Decision Making. **Procedia Environmental Sciences**, v. 22, p. 120–130, 2014. doi: 10.1016/j.proenv.2014.11.012.
- LEAMAN, A.; STEVENSON, F.; BORDASS, B. Building evaluation: Practice and principles. **Building Research and Information**, v. 38, n. 5, p. 564–577, 2010. doi: 10.1080/09613218.2010.495217.
- LEE, Y. S. Using Building Information Modeling for Green Interior Simulations and Analyses. **Journal of Interior Design**, v. 37, n. 1, p. 35–50, 2012. doi: 10.1111/j.1939-1668.2011.01069.x.
- LEITÃO, A.; BRANCO, R. C.; CARDOSO, C. Algorithmic-based analysis: Design and Analysis in a Multi Back-end Generative Tool. In: International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), 22, 2017, Suzhou, China. **Proceedings...** Suzhou, China: 2017. p. 137–146.
- LIM, Y.-W. Building Information Modeling for Indoor Environmental Performance Analysis. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 11, n. 2, p. 55–61, 2015. doi: 10.3844/ajessp.2015.55.61.
- MALTESE, S.; TAGLIABUE, L. C.; CECCONI, F. R.; et al. Sustainability Assessment through Green BIM for Environmental, Social and Economic Efficiency. **Procedia Engineering**, v. 180, p. 520–530, 2017. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.211.
- MIGILINSKAS, D.; BALIONIS, E.; DZIUGAITE-TUMENIENE, R.; SIUPSINSKAS, G. An advanced multi-criteria evaluation model of the rational building energy performance. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 22, n. 6, p. 844–851, 2016. doi: 10.3846/13923730.2016.1194316.
- MITCHELL, J. BIM & building simulation. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 12, 2011, Sydney, Australia. **Proceedings...** Sydney, Australia: 2011. p. 1–7.
- MITTERHOFER, M.; SCHNEIDER, G. F.; STRATBÜCKER, S.; SEDLBAUER, K. An FMI-enabled methodology for modular building performance simulation based on Semantic Web Technologies. **Building and Environment**, v. 125, p. 49–59, 2017. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.08.02.
- MOON, H. J.; CHOI, M. S.; KIM, S. K.; RYU, S. H. Case studies for the evaluation of interoperability between a BIM based architectural model and building performance analysis programs. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 12, 2011, Sydney, Australia. **Proceedings...** Sydney, Australia: 2011. p.1521–1526.
- MOTAWA, I.; CARTER, K. Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 74, p. 419–428, 2013. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.03.015.
- MOTAWA, I.; JANARTHANAM, S.; ALMARSHAD, A. Live Capture of Energy-related Knowledge into BIM Systems. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2014, Atlanta, Georgia, USA. **Proceedings...** Atlanta, Georgia, USA: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2014. p. 249–258.
- NATEPHRA, W.; MOTAMED, A.; YABUKI, N.; FUKUDA, T. Integrating 4D thermal information with BIM for building envelope thermal performance analysis and thermal comfort evaluation in naturally ventilated environments. **Building and Environment**, v. 124, p. 194–208, 2017. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.08.004.
- NIKNAM, M.; KARSHENAS, S. Sustainable Design of Buildings using Semantic BIM and Semantic Web Services. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 909–917, 2015. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.530.
- O'DONNELL, J.; MAILE, T.; SETTLEMYRE, K.; HAVES, P. A. A visualization environment for analysis of measured and simulated building performance data. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 13, 2013, Chambéry, France. **Proceedings...** Chambéry, France: 2013. p.2651–2657.
- ODUYEMI, O.; OKOROH, M. Building performance modelling for sustainable

- building design. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 5, n. 2, p. 461-469, 2016. doi: 10.1016/j.ijsbe.2016.05.004.
- OTI, A. H. H.; KURUL, E.; CHEUNG, F.; TAH, J. H. M. H. M. A framework for the utilization of Building Management System data in building information models for building design and operation. **Automation in Construction**, v. 72, p. 195-210, 2016. doi: 10.1016/j.autcon.2016.08.043.
- PASINI, D.; MASTROLEMO VENTURA, S.; RINALDI, S.; et al. Exploiting internet of things and building information modeling framework for management of cognitive buildings. In: SMART CITIES CONFERENCE (ISC2), 2, 2016, Trento, Italy. **Proceedings...** Trento, Italy: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2016. p.1-6.
- PATIÑO-CAMBEIRO, F.; BASTOS, G.; ARMESTO, J.; PATIÑO-BARBEITO, F. Multidisciplinary energy assessment of tertiary buildings: Automated geomatic inspection, building information modeling reconstruction and building performance simulation. *Energies*, v. 10, n. 7, p. 17, 2017. doi: 10.3390/en10071032.
- POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, v. 1, n. 2358-5420, p. 1-14, 2013. Disponível em: <http://creapr16.creapr.org.br/revista/Sistema/index.php/revista/article/view/14>. Acesso em 15/01/2018.
- PRUVOST, H.; SCHERER, R. J. Analysis of Risk in Building Life Cycle Coupling BIM-based Energy Simulation and Semantic Modeling. *Procedia Engineering*, v. 196, p. 1106-1113, 2017. doi: 10.1016/j.proeng.2017.08.068.
- RAHEEM, A. A.; ISSA, R. R. A.; OLBINA, S. Environmental performance analysis of a single family house using BIM. In: COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2011, Miami, Florida, USA. **Proceedings...** Miami, Florida, USA: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2011. p.842-849.
- RAHMANI ASL, M.; ZARRINMEHR, S.; BERGIN, M.; YAN, W. BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization. **Energy and Buildings**, v. 108, p. 401-412, 2015. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.09.011.
- REMMEN, P.; CAO, J.; EBERTSHÄUSER, S.; et al. An open Framework for Integrated BIM-Based Building Performance Simulation using Modelica. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 14, 2015, Hyderabad, India. **Proceedings...** Hyderabad, India: International Building Performance Simulation Association, 2015. p. 379-386.
- RONZINO, A.; OSELLO, A.; PATTI, E.; et al. The energy efficiency management at urban scale by means of integrated modelling. **Energy Procedia**, v. 83, p. 258-268, 2015. doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.180.
- SCHLUETER, A.; THESSELING, F. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 153-163, 2009. doi: 10.1016/j.autcon.2008.07.003.
- SHI, Z.; ABDELALIM, A.; O'BRIEN, W.; et al. Digital campus innovation project: Integration of Building Information Modelling with building performance simulation and building diagnostics. In: SYMPOSIUM ON SIMULATION FOR ARCHITECTURE & URBAN DESIGN, 2015, Alexandria, Virginia, USA. **Proceedings...** Alexandria, Virginia, USA: The Society for Modeling and Simulation International, 2015. v. 47, p.51-58.
- SHOUBI, M. V.; SHOUBI, M. V.; BAGCHI, A.; BAROUGH, A. S. Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 6, n. 1, p. 41-55, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2014.09.006>.
- SMITH, D. K. Ensuring building performance through simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2009, Austin, TX, USA. **Proceedings...** Austin, TX, USA: 2009. p.2672-2678.
- SOLLA, M.; ISMAIL, L. H.; YUNUS, R. Investigation on the potential of integrating BIM into green building assessment tools. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 11, n. 4, p. 2412-2418, 2016.
- SRINIVASAN, R.; KIBERT, C.; THAKUR, S.; et al. Preliminary research in dynamic-BIM (D-BIM) Workbench development. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2012, Berlin, Germany. **Proceedings...** Berlin, Germany: 2012. p.1-12.
- STUNDON, D.; SPILLANE, J.; LIM, J. P. B.; TANSEY, P.; TRACEY, M. Building Information Modelling Energy Performance Assessment on Domestic Dwellings: A Comparative Study. In: ANNUAL ARCOM CONFERENCE, 31, 2015, Lincoln, UK. **Proceedings...** Lincoln, UK: 2015. p.671-679..

- SUPRABHAS, K.; DIB, H. N. Integration of BIM and utility sensor data for facilities management. In: COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2017, Seattle, Washington. **Proceedings...** Seattle, Washington: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017. p.26–33.
- TANG, P.; HUBER, D.; AKINCI, B.; LIPMAN, R.; LYTLE, A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. **Automation in Construction**, v. 19, n. 7, p. 829–843, 2010. doi: 10.1016/j.autcon.2010.06.007.
- TURKASLAN-BULBUL, M. T.; AKIN, O. Computational support for building evaluation: Embedded Commissioning Model. **Automation in Construction**, v. 15, n. 4, p. 438–447, 2006. doi: 10.1016/j.autcon.2005.06.010.
- WANG, C.; CHO, Y. Automated 3D Building Envelope Recognition from Point Clouds for Energy Analysis. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2012, West Lafayette, Indiana, USA. **Proceedings...** West Lafayette, Indiana, USA: 2012. p.1155–1164.
- WANG, C.; CHO, Y. K. Performance Evaluation of Automatically Generated BIM from Laser Scanner Data for Sustainability Analyses. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 918–925, 2015a. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.531.
- WANG, C.; CHO, Y. K. Application of As-built Data in Building Retrofit Decision Making Process. **Procedia Engineering**, v. 118, p.902–908, 2015b. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.529.
- WEN, L.; HIYAMA, K. A Review: Simple Tools for Evaluating the Energy Performance in Early Design Stages. **Procedia Engineering**, v. 146, p.32–39, 2016. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.349.
- WONG, J. K. W.; KUAN, K. L. Implementing “BEAM Plus” for BIM-based sustainability analysis. **Automation in Construction**, v. 44, p. 163–175, 2014. doi: 10.1016/j.autcon.2014.04.003.
- WU, W.; YANG, X.; FAN, Q. GIS-BIM based virtual facility energy assessment (VFEA) - Framework development and use case of California State University, Fresno. In: COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2014, Orlando, Florida. **Proceedings...** Orlando, Florida: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2014. p.339–346.
- YAN, W.; CLAYTON, M.; HABERL, J.; et al. Interfacing BIM with building thermal and daylighting modeling. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 13, 2013, Chambéry, France. **Proceedings...** Chambéry, France: 2013. p.3521–3528.
- ZAINUDIN, H.; HARON, N. A.; BACHEK, S. H.; JUSOH, A. Utilization of building information modeling (BIM) in planning an adaptive reuse project of a Traditional Malay House (TMH). INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL SYSTEM & MULTIMEDIA (VSMM), 22, 2016, Kuala Lumpur, Malaysia. **Proceedings...** Kuala Lumpur, Malaysia: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2016. p.1–7.
- ZANI, A.; TAGLIABUE, L. C.; POLI, T.; et al. Occupancy Profile Variation Analyzed through Generative Modelling to Control Building Energy Behavior. **Procedia Engineering**, v. 180, p.1495–1505, 2017. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.312.
- ZANNI, M. A.; SOETANTO, R.; RUIKAR, K. Towards a BIM-enabled sustainable building design process: roles, responsibilities, and requirements. **Architectural Engineering and Design Management**, 2016. doi:10.1080/17452007.2016.1213153.
- ZHANG, C.; CHEN, J.; SUN, X.; HAMDAD, A. LIFECYCLE EVALUATION OF BUILDING SUSTAINABILITY USING BIM AND RTLS. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2014, Savannah, GA, USA. **Proceedings...** Savannah, GA, USA: 2014. p.3236–3247.
- ZHANG, C.; ONG, L. Investigating building sustainability by applying sensitivity analysis of impact factors during design stage. In: COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2017, Seattle, Washington. **Proceedings...** Seattle, Washington: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017. p.149–156.

**Drielle Sanchez Leitner**

drielle.dsl@gmail.com

**Sergio Scheer**

sergioscheer@gmail.com

**Adriana de Paula Lacerda Santos**

adrianapls@ufpr.br