



O BALANÇO ZERO DE ENERGIA ATRAVÉS DA ANÁLISE DO DESEMPENHO DO EDIFÍCIO NO AMBIENTE BIM: UMA REVISÃO DA LITERATURA

CRUZ, Alexandre Santana (1)

(1) Pontifícia Universidade Católica, scruzalexandre@gmail.com

RESUMO

A arquitetura que exige uma enorme demanda de energia contraria a tendência atual do design sustentável, na qual o conceito de balanço zero de energia para edifícios (ZEB) é considerado um alvo importante. Simultaneamente, em termos de microgeração de energia, a energia solar fotovoltaica (PV) tem sido considerada um dos recursos de energia renovável mais eficazes para aliviar as mudanças climáticas e reduzir os gases de efeito estufa. No entanto, pesquisas indicam que edifícios de alto desempenho não podem ser alcançados com apenas uma tecnologia. Uma possível solução é o desenvolvimento de um projeto integrado que combine estratégias de eficiência energética como, isolamento térmico e a microgeração de energia. A metodologia Building Information Modeling (BIM) pode trazer a Análise do Desempenho da Construção (BPA) para apoiar a tomada de decisão, o que é essencial para alcançar o balanço zero de energia. A presente investigação inclui uma Revisão Sistemática da Literatura (SLR) para ajudar a compreender o cenário científico atual nessas áreas. A SLR revelou que há uma lacuna em artigos que conectam BIM, BPA, NZEB e PV. Atualmente, os resultados indicam que os pesquisadores deram mais atenção em como o BPA afeta o BIM. Como a metodologia BIM estimula a interdisciplinaridade, o estudo apresentado oferece oportunidades significativas para reduzir a demanda de energia e alavancar as práticas BIM, a fim de alcançar edifícios de alto desempenho.

Palavras-chave: BIM, Análise da Performance do Edifício, Balanço Zero de Energia, Fotovoltaica, Eficiência Energética

ABSTRACT

An architecture that requires a huge energy demand goes against the current tendency of sustainable design, in which the concept of a Net Zero Energy Building (NZEB) is considered an important target. At the same time, in terms of energy microgeneration, Photovoltaic (PV) solar power has been regarded as one of the most effective renewable energy resources to alleviate the climate change and reduce greenhouse gases. However, researches indicate that high performing buildings cannot be reached with one technology alone. And one possible solution is the development of an integrated design that combines energy efficiency strategies such as thermal insulation and energy microgeneration. The Building Information Modeling (BIM) methodology can bring Building Performance Analysis (BPA) to support decision making, which is essential to achieve a successful NZEB. The present investigation includes a Systematic Literature Review (SLR) to help comprehend the current scientific scenario in these areas. The SLR revealed that there is a gap in works that connect BIM, BPA, NZEB and PV. Currently, results indicate that researchers have given more attention to how BPA affects BIM. Since BIM methodology stimulates the interdisciplinary, the presented study provides significant opportunities to reduce energy demand and leverage BIM applications in order to achieve high performing buildings.

Keywords: BIM, Building Performance Analysis, Zero Energy Building, Photovoltaics, Energy Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de energia dos edifícios não era levado em consideração no passado pois o custo da energia era insignificante e havia pouca preocupação quanto aos impactos ambientais causados. Hoje, o preço da energia acendeu e os danos causados pelo uso de combustíveis fósseis tornaram-se evidentes. Arquitetos e engenheiros podem reduzir significativamente o uso de energia incorporando estratégias de eficiência energética ao projeto de novos edifícios e realizando reformas de edifícios existentes (*Retrofit*).

O conceito edifícios com balanço zero de energia (ZEB) é uma meta da União Europeia e do Departamento de Energia dos Estados Unidos. No entanto, para alcançá-lo, alguns estudos afirmam que edifícios de alto desempenho exigem um projeto integrado combinando estratégias de eficiência energética com a geração de energia solar (FERRANTE; CASCELLA, 2016). A Modelagem da Informação (BIM) vem crescendo exponencialmente por causa do processo integrado que a metodologia fornece. Além disso, a metodologia pode trazer a Análise do Desempenho do Edifício (BPA) para apoiar a tomada de decisões no estágio inicial do projeto.

O presente estudo concentra-se na correlação da Modelagem da Informações da Construção (BIM), Análise de Desempenho do Edifício (BPA), Balanço Zero de Energia (ZEB) e Energia Fotovoltaica (PV). Foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura para compreender o estágio de desenvolvimento científico nessa área. Ao correlacionar os quatro temas principais, verificou-se que poucos trabalhos integram claramente as quatro áreas.

2 METODOLOGIA

Com o objetivo de identificar lacunas na literatura e direcionar novas pesquisas sobre o tema selecionado, este estudo realizou uma Revisão Sistemática da Literatura (SLR). Faria (2017) sugere que uma revisão estruturada seja organizada em cinco estágios diferentes: formulação de perguntas, localização de artigos, seleção e avaliação de trabalhos, análise e síntese, e conclusão. Para auxiliar a execução da SLR, algumas ferramentas foram utilizadas, como: Microsoft Word, Microsoft Excel e VOSviewer. Os bancos de dados em que a pesquisa foi realizada foram: Engineering Village, Web of Science, Scopus e ScienceDirect. O quadro 1 ilustra as fases da pesquisa e suas atividades durante a revisão.

Quadro 1 – Etapas da Revisão Sistemática de Literatura

Etapa	Atividade
Formulação da questão	Formulação das questões que a pesquisa pretende responder
Localização de artigos	Formulação de palavras chaves para pesquisa de artigos
Seleção e avaliação de Artigos	Aplicação de filtros. Primeiro passo - ler os títulos e os resumos: Possível resposta? 1) Sim - vá para a próxima etapa OU 2) Não - descartar. Segunda Etapa - leitura das metodologias e conclusões: Possível resposta? 1) Sim - vá para o próximo passo OU 2) Não - descartar. Terceiro passo - leitura do artigo completo
Análise e síntese	Análise e síntese dos artigos
Conclusão	Relatar as principais barreiras, lacunas e conclusões

2.1 Formulação da questão

A pesquisa considerou a seguinte questão: Como a Arquitetura e Energia Solar podem interagir em um ambiente BIM considerando o BPA para atingir o ZEB?

3 RESULTADOS

3.1 Localização de Artigos

O primeiro passo para localizar estudos foi formular as palavras-chave que direcionariam a SLR. As palavras-chave foram divididas em dois grupos, o primeiro é o grupo principal e o segundo é o grupo composto por palavras derivadas, como pode ser visto no quadro 2. Em seguida, usando os operadores "AND" e "OR", essas palavras-chave foram combinadas em uma sequência de pesquisa e usadas para filtrar documentos nos bancos de dados. O primeiro filtro de pesquisa experimentado foi composto por quatro grupos principais e suas palavras derivadas, caracterizando trabalhos que envolveram os quatro temas: BIM, BPA, ZEB e PV. Nesta primeira tentativa, apenas um artigo foi encontrado; portanto, a primeira conclusão da SLR é que existe uma lacuna no conhecimento e essa combinação de áreas precisa de mais estudos.

O próximo passo foi confirmar a existência dessa lacuna. Foi necessário combinar as palavras em pares. Durante a busca, foram encontrados diversos estudos relacionando BIM e BPA (207 artigos), porém poucos relacionando BIM e PV (23 artigos), como é o caso de BIM e ZEB também (18 artigos). À primeira vista, é possível concluir que existe uma lacuna relevante. Assim, nesse contexto, as contribuições da pesquisa se tornam claras e apropriadas.

Quadro 2 – Grupo de Palavras: Principal e Derivado

Grupo Principal	Grupo Derivado
<i>Building Information Modeling (BIM)</i>	<i>Green BIM, Workflow, Parametric Modeling, Interoperability</i>
<i>Building Performance (BPA)</i>	<i>Thermal comfort, Energy Efficiency, Computational Fluid Dynamics</i>
<i>Zero Energy Building (ZEB)</i>	<i>Zero Net Energy, Net Zero Building, Zero Carbon Building</i>
<i>Photovoltaic (PV)</i>	<i>BIPV, Solar Energy, Solar Architecture</i>

3.2 Seleção e Avaliação de Artigos

Na primeira e segunda fase de tentativas, a pesquisa focou na aplicação de filtros apropriados para restringir alguns artigos com base em algumas condições de inclusão/exclusão. Ao fazer isso, a amostra se torna mais coerente. Os filtros aplicados ao mecanismo de pesquisa foram: apenas artigos de revista, de 2011 a 2019 e da área AEC.

Saieg et al. (2018) sugerem que a seleção do estudo deve ser feita em três etapas: a primeira etapa é ler os títulos e os resumos de cada estudo encontrado e avaliá-los. O segundo passo inclui a leitura da metodologia e a conclusão do estudo aprovado na primeira avaliação. E o último passo é ler o texto completo que passaram pelo segundo passo. Durante essa etapa, apenas os trabalhos que responderam de alguma forma a uma dessas três perguntas foram capazes de passar para a próxima etapa: (1) Como o BPA pode ser inserido na Metodologia BIM? (2) Qual impacto a metodologia BIM gera em um projeto ZEB? (3) Como o projeto fotovoltaico pode acontecer em um ambiente BIM?

Para ilustrar e entender melhor essas etapas, o quadro 3 apresenta a aplicação dos filtros. Combinando os artigos selecionados e eliminando os artigos “duplicados”, 52 artigos foram selecionados para realizar a análise qualitativa. O quadro 4 apresenta a referência de todos os artigos escolhidos.

Quadro 3 – Evolução no número de artigos usando análise qualitativa

Combinações dos termos	Sem filtro Aplicado	Com filtro Aplicado	Análise do Título/Resumo	Análise Metodologia/ Conclusão
BIM + BPA	584	207	79	38
BIM + PV	65	23	12	9
BIM + ZEB	39	18	10	5

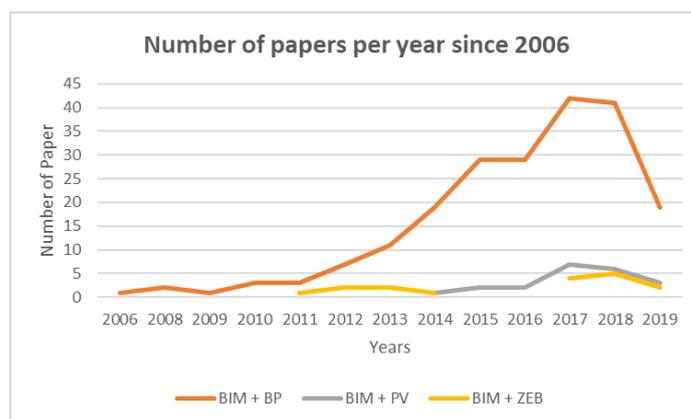
Referência da lista fina de artigos selecionados	
BIM + BPA	(SHOUBI et al., 2014), (JALAEI; JRADE, 2014a), (HARMATHY et al., 2016), (ZANNI et al., 2013), (KOTA et al., 2014), (KUMAR; BABU, 2015), (YAN, 2015) (KE; YAN, 2014), (JABI, 2016), (GUO; WEI, 2016), (CHARDON et al., 2016), (PAN et al., 2016), (GUNARANI; CHOWDARY, 2017), (PATIÑO-CAMBEIRO et al., 2017), (SAMUEL et al., 2017), (ZANNI et al., 2017), (CHOI et al., 2016), (LOPES et al., 2016), (ABANDA; BYERS, 2016), (CHEN et al., 2017), (PETRI et al., 2017), (JUAN; HSING, 2017), (HABIBI, 2017), (KHAIRULZAMAN; USMAN, 2018), (ARAYICI et al., 2018), (SCHLUETER; GEYER, 2018), (OLAWUMI; CHAN, 2018), (KIM et al., 2018), (CHOI et al., 2018), (AHSAN et al., 2019), (SANDBERG et al., 2019), (KOTISURYAM; SHARANAPPA, 2019), (FORCAEL et al., 2019), (WEERASURIYA et al., 2019), (STEGNAR; CEROVŠEK, 2019), (NAJJAR et al., 2019), (JEON et al, 2018) e (MACIEL; CARVALHO, 2019)
BIM + PV	(RADMEHR et al., 2014), (ELINWA et al., 2017), (XU; YUAN, 2018), (KUO et al., 2016), (NING et al., 2018), (FITRIATY et al., 2017), (FITRIATY; SHEN, 2018), (AMORUSO et al. 2018) e (JIN et al., 2018)
BIM + ZEB	(SLEIMAN et al., 2017), (MYTAFIDES et al., 2017), (SHADRAM; MUKKAVAARA, 2018) (MELGAR et al., 2018), (KAEWUNRUEN et al., 2019)

Quadro 4 – Referência da lista fina de artigos selecionados

3.3 Análise e síntese dos artigos

Os resultados da SLR estão organizados em três combinações de termos em pares. A combinação BIM e ZEB forneceu a menor quantidade de trabalhos publicados (total de 18 artigos) quando comparada às outras duas combinações. A combinação BIM e PV apresenta 23 artigos, enquanto 207 foram encontrados com a combinação BIM e BPA.

Com os dados extraídos do SLR, é possível observar que, desde 2006, engenheiros e arquitetos estudam o desempenho do edifício em uma velocidade amena, uma vez que apenas 10 artigos foram publicados em 7 anos. O interesse em pela Análise do Desempenho do Edifício tornou-se mais evidente em 2012, provavelmente por causa das crescentes preocupações com questões ambientais, surgimento de *software* de simulação e aumento do preço da energia. É importante destacar que nos últimos 9 anos; quase 200 artigos foram publicados relacionados à Análise do Desempenho do Edifício. Além disso, na Figura 1, é possível ver que há uma tendência de crescente de artigos produzidos na área de Desempenho de Edifícios (BPA). O número de artigos relacionados ao BIM



e BPA é um contraste comparado com as outras duas combinações de BIM. E por fim, é importante ressaltar que a popularização do BIM ocorreu em 2010 e logo após as pesquisas que combinam BIM e BPA crescem rapidamente.

Figura 1 – Número de Artigos publicados desde 2006

No entanto, a quantidade de pesquisas que relacionam o BIM e ZEB não aumentou ao longo dos anos. A Figura 1 também mostra que as pesquisas sobre o grupo BIM e PV estão no mesmo ritmo e o cenário não mudou nos últimos 5 anos. Atualmente, os pesquisadores têm dado mais atenção a como o BPA afeta o BIM do que como BIM e ZEB ou BIM e PV interagem no processo de design. Com base nesses números anteriores, é possível concluir que existe uma lacuna de conhecimento em potencial na pesquisa combinando BIM com ZEB e PV, uma vez que a metodologia BIM estimula a interdisciplinaridade e os dois tópicos devem interagir durante a fase de design. Também é possível analisar os principais termos dos artigos selecionados durante a SLR usando o VOSviewer, um software gerenciador de artigos. O software foi utilizado para entender melhor a conexão entre as publicações pesquisadas. Utilizando esta ferramenta, verificou-se a ocorrência de termos nos títulos e resumos de todos os trabalhos, bem como sua coocorrência. Para fazer isso, alguns parâmetros no software foram ser definidos e a escolha dos parâmetros pode variar dependendo do número de artigos. Foi estabelecido, para a amostra de 52 artigos, a ocorrência mínima do termo de três vezes, no tipo binário (presença ou ausência) e, portanto, o termo deve aparecer pelo menos em três artigos. Além disso, foram analisados termos relevantes, eliminando termos comuns como "trabalho", "caso", que resultaram em 40% dos termos relevantes (37 termos).

O resultado dessa análise é ilustrado na Figura 2, em que azul e vermelho representam zero ocorrências e maior presença, respectivamente. A proximidade entre os termos representa as conexões entre eles (coocorrência); isso reafirma a conclusão inicial de que existem questões diferentes relacionadas ao tópico energia que não são discutidas paralelamente. O problema de energia aparece relacionado ao BIM, interoperabilidade, eficiência energética, conforto e envelope de

construção. No entanto, a área da integração/design aparece sem uma conexão clara com as outras áreas, especialmente a arquitetura. Isso confirma a lacuna identificada anteriormente. Assim, são necessários mais estudos para permitir uma melhor integração entre eles.



Figura 2 – Análise VOS viewer

4 DISCUSSÕES

Nesta seção, alguns dos 52 artigos foram selecionados a partir da SLR e comentários resumidos e breves sobre suas respectivas propostas e resultados de pesquisa são apresentados. Para facilitar o entendimento estão divididos em três tópicos de artigos: BIM e ZEB, BIM e PV e, finalmente, BIM e BPA.

4.1 BIM e ZEB

O tópico ZEB é geralmente associado à redução do consumo de energia em um edifício. Mytafides et al., (2017) sugeriu o *retrofit* de um edifício universitário no clima mediterrâneo. O estudo investigou a revitalização da edificação através do aumento do isolamento térmico do envelope (Paredes, telhado e piso) utilizando o *software* Green Building Studio. Concluiu-se que o edifício é capaz de produzir a mesma quantidade de energia que consome com um retorno de 8 anos dos investimentos necessários para revitalização. Kaewunruen et al. (2019) destacaram a viabilidade técnica e financeira da transformação de um edifício existente em NZEB. Um modelo digital foi criado usando o Revit e melhorias no isolamento térmico também foram apontadas. A análise energética foi realizada através do *software* Green Building Studio e as economias foram calculadas com base nos preços de energia do Reino Unido. O estudo concluiu que a tecnologia fotovoltaica e as turbinas eólicas eram necessárias para atender à demanda de energia do edifício. Porém, o

custo adicional associado à melhoria da eficiência energética da casa possui um período de retorno de 23 anos.

4.2 BIM e PV

Radmehr et al. (2014) e Elinwa et al., (2017) exploram as preferências das pessoas em relação à integração de módulos fotovoltaica a edifícios existentes no norte de Cyprus. O resultado mostra que o BIM ajudou a tomada de decisão devido a melhor compreensão financeira e estética das alternativas de revitalização. Fitriaty et al., (2017) e Fitriaty; Shen (2018) estudaram a revitalização energética de residências localizadas em Palu, Indonésia através de instalações fotovoltaicas. A localização ideal dos módulos foi analisada por meio do software Autodesk Revit para quantificar a radiação solar incidente. Os resultados indicaram o telhado como melhor abordagem e fachadas orientadas no eixo Leste-Oeste. Além disso, conclui-se que a produção fotovoltaica desses edifícios residenciais poderia garantir o consumo atual de energia e a demanda futura.

4.3 BIM e BPA

Shoubi et al. (2014), Ahsan et al. (2019) e Ke; Yan (2014) utilizaram diferentes abordagens de isolamento térmico nas propostas de retrofit em estudo utilizando os softwares Autodesk Revit e o Ecotect. Najjar et al., (2019) observou uma melhoria de 15% no consumo de energia de edifícios devido à diminuição da razão janela-parede em suas respectivas simulações no Green Building Studio. Schlueter; Geyer (2018) apresentou uma proposta de revitalização das fachadas com vidros triplos altamente isolados. Os resultados encontrados a partir das simulações no software IDA ICE apontam uma redução no consumo de 75% em comparação ao caso base. Maciel; Carvalho, (2019) investigou o benefício energético de fachadas ventiladas opacas em comparação com fachadas de revestimento em edifícios residenciais com vários andares, no Brasil. Para este fim, foram realizadas simulações computacionais no Green Building Studio. O estudo avaliou 16 cidades localizadas em nove zonas climáticas diferentes, de acordo com a classificação de Köeppen-Geiger. Esta pesquisa mostra que a fachada ventilada proporciona uma melhoria em termos de resfriamento passivo do edifício quando comparado às fachadas de revestimento. Além disso, o resfriamento passivo pode oferecer economia de energia elétrica de 8% a 43% ao ano configurando uma excelente estratégia para revitalização de edifícios existentes.

5 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão da Revisão Sistemática da Literatura (SLR) é que existe uma lacuna relevante devido à ausência de combinação das áreas de pesquisadas. Além disso, nas pesquisas selecionadas observa-se que as múltiplas alternativas de *retrofit* estão sempre relacionadas a aspecto

econômico de custo construtivo e economia de energia. Pouco se observa quanto a interação que a eficiência energética pode ter com a geração de energia. Paralelamente, existem estudos focados apenas na geração de energia que indicam a localização ideal dos painéis fotovoltaicos exclusivamente. O interesse pela Análise do Desempenho do Edifício (BPA) tornou-se mais evidente provavelmente por causa das crescentes preocupações com questões ambientais, surgimento de *softwares* de simulação e aumento do preço da energia. Baseando-se nos artigos selecionados, quanto a *softwares* de simulação, destacam-se Ecotect e Green Building Studio devido a fácil integração com o Autodesk Revit. Como a metodologia BIM estimula a interdisciplinaridade, o estudo apresentado sugere a integração dos temas: BIM, BPA, ZEB e PV para alavancar a prática BIM em busca de edifícios de alto desempenho.

REFERÊNCIAS

ABANDA, F. H.; BYERS, L. An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling). **Energy**, v. 97, p. 517–527, 2016.

AHSAN, M. M. et al. Reducing the Operational Energy Consumption in Buildings by Passive Cooling Techniques Using Building Information Modelling Tools. **International Journal of Renewable Energy Research**, v. 9, p. 343–353, 2019.

AMORUSO, F. M.; DIETRICH, U.; SCHUETZE, T. Development of a Building Information Modeling-parametric work flow based renovation strategy for an exemplary apartment building in Seoul, Korea. **Sustainability**, v. 10, p. 4494–4524, 2018.

ARAYICI, Y. et al. Interoperability specification development for integrated BIM use in performance based design. **Automation in Construction**, v. 85, p. 167–181, 2018.

BATTISTA, G. et al. Energy Performance and Thermal Comfort of a High Efficiency House: RhOME for denCity, Winner of Solar Decathlon Europe 2014. **Sustainability**, v. 7, p. 9681–9695, 2015.

CHARDON, S. et al. Construction cost and energy performance of single family houses : From integrated design to automated optimization. **Automation in Construction**, v. 70, p. 1–13, 2016.

CHEN, C. et al. Green BIM-based building energy performance analysis Green BIM-based building energy performance analysis. **Computer-Aided Design & Applications**, v. 14, n. 5, p. 1–11, 2017.

CHOI, J. et al. Development of openBIM-based energy analysis software to improve the interoperability of energy performance assessment. **Automation in Construction**, v. 72, n. 1, p. 52–64, 2016.

CHOI, M. et al. Design framework for variable refrigerant flow systems with enhancement of interoperability between BIM and energy simulation †. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 32, n. 12, p. 6009–6019, 2018.

ELINWA, U. K.; RADMEHR, M.; OGBEBA, J. E. Alternative Energy Solutions Using BIPV in Apartment Buildings of Developing Countries: A Case Study of North Cyprus. **Sustainability**, v. 9, p. 1–14, 2017.

FARIA, P. S. **Evaluating the Interplay between BIM , Lean and Sustainability Concepts in Building Design** Pedro Saieg Faria **Evaluating the Interplay between BIM , Lean and Sustainability Concepts in Building Design**. [s.l.: s.n.].

FERRANTE, A.; CASCELLA, M. T. Zero energy balance and zero on-site CO 2 emission housing development in the Mediterranean climate. **Energy & Buildings**, v. 43, n. 8, p. 2002–2010, 2016.

FITRIATY, P. et al. 3D Insolation Colour Rendering for Photovoltaic Potential: Evaluation on Equatorial Residential Building Envelope. **International review for spatial planning and sustainable development**, v. 5, n. 4, p. 73–88, 2017.

FITRIATY, P.; SHEN, Z. Predicting energy generation from residential building attached Photovoltaic Cells in a tropical area using 3D modeling analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 1422–1436, 2018.

FORCAEL, E. et al. Architectural and Management Strategies for the Design , Construction and Operation of Energy Efficient and Intelligent Primary Care Centers in Chile. **Sustainability**, v. 11, p. 1–18, 2019.

GUNARANI, G. I.; CHOWDARY, L. S. C. Reduction of operational electricity consumption and carbon dioxide emissions of a small residential building using BIM tool and IES VE with Green Materials. **International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)**, v. 8, n. 5, p. 949–959, 2017.

GUO, S.; WEI, T. Cost-effective energy saving measures based on BIM technology: Case study at National Taiwan University. **Energy & Buildings**, v. 127, p. 433–441, 2016.

HABIBI, S. The promise of BIM for improving building performance. **Energy & Buildings**, v. 153, p. 525–548, 2017.

HARMATHY, N.; MAGYAR, Z.; FOLIC, R. Multi-criterion optimization of building envelope in the function of indoor illumination quality towards overall energy performance improvement. **Energy**, v. 114, p. 302–317, 2016.

JALAEI, F.; JRADE, A. Integrating Building Information Modeling (BIM) and energy analysis tools with green building certification system to conceptually design sustainable buildings. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 19, p. 494–519, 2014a.

JALAEI, F.; JRADE, A. Integrating Building Information Modeling (BIM) and energy analysis tools with green building certification system to conceptually design sustainable buildings. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 19, n. 2010, p. 494–519, 2014b.

JEON, J.; LEE, J.; HAM, Y. Quantifying the impact of building envelope condition on energy use. **Building Research & Information**, v. 47, n. 4, p. 1–17, 2018.

JIN, R. et al. Project-based pedagogy in interdisciplinary building design adopting BIM. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 25, n. 10, p. 1376–1397, 2018.

JUAN, Y.; HSING, N. BIM-Based Approach to Simulate Building Adaptive Performance and Life Cycle Costs for an Open Building Design. **Applied Sciences**, v. 7, n. 837–849, 2017.

KAEWUNRUEN, S.; RUNGSKUNROCH, P.; WELSH, J. A Digital-Twin Evaluation of Net Zero Energy Building for Existing Buildings. **Sustainability**, v. 11, n. 1, p. 159–181, 2019.

KE, Z.; YAN, X. Application Research on Energy Saving of Small High Rise Office Building based on BIM Model. **International Journal of Simulation - Systems, Science & Technology**, v. 16, n. 4, p. 12–58, 2014.

KHAIRULZAMAN, H. A.; USMAN, F. Automation in Civil Engineering Design in Assessing Building Energy Efficiency. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 7, n. 4.35, p. 722–727, 2018.

KIM, J. et al. Development of A BIM-Based Maintenance Decision-Making Framework for the Optimization between Energy Efficiency and Investment Costs. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2480–2495, 2018.

KOTA, S. et al. Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. **Energy & Buildings**, v. 81, p. 391–403, 2014.

KOTISURYAM, M.; SHARANAPPA, G. Investigating HVAC Thermal Comfort and Energy Efficiency in Commercial Buildings. **International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development**, v. 9, n. 1, p. 319–328, 2019.

KUMAR, A.; BABU, N. Numerical Simulation of Thermal Comfort Performance in a Room with Different Insulating Materials using Computational Fluid Dynamics. **Key Engineering Materials**, v. 650, p. 29–37, 2015.

KUO, H. et al. A verification study for energy analysis of BIPV buildings with BIM. **Energy & Buildings**, v. 130, p. 676–691, 2016.

LOPES, M. A. R. et al. Estimating energy savings from behaviours using building performance simulations. **Building Research & Information**, v. 45, n. 3, p. 303–3019, 2016.

MACIEL, A. C. F.; CARVALHO, M. T. Operational energy of opaque ventilated façades in Brazil. **Journal of Building Engineering**, v. 25, p. 100775–100795, 2019.

MELGAR, S. G.; BOHÓRQUEZ, M. Á. M.; MÁRQUEZ, J. M. A. uhuMEB: Design, Construction, and Management Methodology of Minimum Energy Buildings in Subtropical Climates Sergio. **Energies**, v. 11, n. 10, p. 2745–2779, 2018.

MYTAFIDES, C. K.; DIMOUDI, A.; ZORAS, S. Transformation of a university building into a zero energy building in Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, v. 155, p. 98–114, 2017.

NAJJAR, M. K. et al. Integrating Parametric Analysis with Building Information Modeling to Improve Energy Performance of Construction Projects. **Energies**, v. 12, n. 8, p. 1515–1527, 2019.

NING, G. et al. e-BIM: a BIM-centric design and analysis software for Building Integrated Photovoltaics. **Automation in Construction**, v. 87, n. August 2017, p. 127–137, 2018.

OLAWUMI, T. O.; CHAN, D. W. M. Delphi Survey of International Experts PT SC. **Sustainable Cities and Society**, v. 40, p. 16–27, 2018.

PAN, W.; QIN, H.; ZHAO, Y. Challenges for energy and carbon modeling of high-rise buildings: The case of public housing in Hong Kong. "**Resources, Conservation & Recycling**", v. 123, p. 208–218, 2016.

PATIÑO-CAMBEIRO, F. et al. Multidisciplinary Energy Assessment of Tertiary Buildings: Automated Geomatic Inspection , Building Information Modeling Reconstruction and Building. **Energies**, v. 10, n. 7, p. 1032–1049, 2017.

PETRI, I. et al. Optimizing Energy Efficiency in Operating Built. **Energies**, v. 10, n. 8, p. 1167–1184, 2017.

RADMEHR, M.; WILLIS, K.; ELINWA, U. A framework for evaluating WTP for BIPV in residential housing design in developing countries: A case study of North Cyprus. **Energy Policy**, v. 70, p. 207–216, 2014.

SAIEG, P. et al. Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the Architectural, Engineering and Construction industry: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 788–806, 2018.

SAMUEL, E. I.; JOSEPH-AKWARA, E.; RICHARD, A. Assessment of energy utilization and leakages in buildings with building information model energy. **Frontiers of Architectural Research**, v. 6, n. 1, p. 29–41, 2017.

SANDBERG, M. et al. Multidisciplinary Optimization of Life-Cycle Energy and Cost Using a BIM-Based Master Model. **Sustainability**, v. 11, n. 1, p. 286–305, 2019.

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, 2018.

SHADRAM, F.; MUKKAVAARA, J. An integrated BIM-based framework for the optimization of the trade-off between embodied and operational energy. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1189–1205, 2018.

SHOUBI, M. V. et al. 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, 2014.

SLEIMAN, H. A.; HEMPEL, S.; TRAVERSARI, R. An Assisted Workflow for the Early Design of Nearly Zero Emission Healthcare Buildings. **Energies**, v. 10, n. 7, p. 993–1010, 2017.

SPIEGELHALTER, T. Towards Zero Net Energy Buildings - Briding The Gap between parametric 3D/4D-BIM Design an The AIA 2030 Challenge. **ASES American Solar Energy Society**, v. 2, p. 1–8, 2019.

STEGNAR, G.; CEROVŠEK, T. Information needs for progressive BIM methodology supporting the holistic energy renovation of office buildings. **Energy**, v. 173, n. 15, p. 317–331, 2019.

WEERASURIYA, A. U. et al. A holistic framework to utilize natural ventilation to optimize energy performance of residential high-rise buildings. **Building and Environment**, v. 153, p. 218–232, 2019.

XU, Z.; YUAN, J. A BIM-Based Study on the Sunlight Simulation in Order to Calculate Solar Energy for Sustainable Buildings with Solar Panels. **IntechOpen**, 2018.

ZANNI, M. A.; SOETANTO, R.; RUIKAR, K. Defining the sustainable building design process: methods for BIM execution planning in the UK. **International Journal of Energy Sector Management**, v. 8, n. 4, p. 562–587, 2013.

ZANNI, M. A.; SOETANTO, R.; RUIKAR, K. Towards a BIM-enabled sustainable building design process: roles , responsibilities , and requirements. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 13, n. 2, p. 101–129, 2017.