

A modelagem da informação da construção no desempenho térmico das edificações

Atualmente, além das técnicas usualmente empregadas para possibilitar um adequado conforto térmico a uma edificação (materiais isolantes, técnicas construtivas, estratégias arquitetônicas), existe a Modelagem da Informação da Construção (BIM), que juntamente com as tecnologias de sensores ambientais são ferramentas úteis a fim de analisar e avaliar o desempenho térmico de uma construção. O BIM tem sido amplamente usado, a fim de atingir um nível mais alto de conforto térmico devido à capacidade de compartilhar e analisar informações multidisciplinares e otimizar assim o potencial de eficiência das construções. O presente estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura acerca da relação entre o desempenho, conforto térmico e eficiência energética e a Modelagem da Informação da Construção (BIM), buscando apresentar os principais aspectos relacionados a utilização do BIM para a previsão em projeto do desempenho térmico e em situação de edifício já construído a fim de conhecer as condições e os principais avanços que envolve a temática em questão. A utilização do BIM em ambas as situações é capaz de otimizar a obtenção dos dados requeridos para o estudo térmico, uma vez que, por meio desta tecnologia, é possível avaliar, de maneira eficiente, diferentes cenários e realizar análises espaciais que evitam retrabalho, facilitando a tomada de decisão pelo responsável em questão.

Palavras-chave: BIM; Conforto térmico; Eficiência energética.

Building information modeling in the thermal performance of buildings

Currently, in addition to the techniques usually used to provide adequate thermal comfort to a building (insulating materials, construction techniques, architectural strategies), there is Construction Information Modeling (BIM), which together with sensor technologies are useful tools in order to analyze and evaluate the thermal performance of a building. BIM has been used in order to achieve a higher level of thermal comfort due to the ability to share and analyze multidisciplinary information and thus optimize the efficiency potential of buildings. The present study consists of a systematic review of the literature on the relationship between performance, thermal comfort and energy efficiency and Construction Information Modeling (BIM), seeking to present the main aspects related to the use of BIM for forecasting performance design thermal and in a building situation already built in order to know the conditions and the main advances that involve a theme in question. The use of BIM in both hypotheses is able to optimize the obtaining of the data required for the thermal study, since, through this technology, it is possible to efficiently evaluate different scenarios and perform spatial analyzes that avoid rework, facilitating decision-making by the responsible person in question.

Keywords: BIM; Thermal comfort; Energy efficiency.

Topic: **Tecnologia, Modelagem e Geoprocessamento**

Received: **10/03/2023**

Approved: **20/05/2023**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Raquel Ferreira do Nascimento
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6299630411846009>
raquelfn96@hotmail.com

Leonardo de Souza Dias
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5252115500936540>
leonardodiaspb@gmail.com

Diego de Paiva Bezerra
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3610261129908017>
diegop.bezerra@hotmail.com

Denn's Santana Perônica 
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6137133841504576>
<https://orcid.org/0000-0002-1266-677X>
dennsantana.sb@gmail.com

Karina dos Santos Fernandes de Souza
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2862195360921075>
engkarinafernandes@gmail.com

Lucas Gonçalves Beserra
Instituto Federal da Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2806738311842575>
lucasg.beserra138@gmail.com

Alice Vitória Serafim Beserra
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8299831584079070>
alicevitoriasb@outlook.com

Ana Mayara Silva Negreiros 
Instituto Federal da Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4459034626092996>
<https://orcid.org/0000-0001-6243-5796>
ana.negreiros@academico.ifpb.edu.br

José Anselmo da Silva Neto 
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6012882289417475>
<https://orcid.org/0000-0002-8355-1902>
neto.anselmo00@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2237-9290.2023.002.0008

Referencing this:

NASCIMENTO, R. F.; DIAS, L. S.; BEZERRA, D. P.; PERÔNICA, D. S.; SOUZA, K. S. F.; BESERRA, L. G.; BESERRA, A. V. S.; NEGREIROS, A. M. S.; SILVA NETO, J. A.. A modelagem da informação da construção no desempenho térmico das edificações. *Natural Resources*, v.13, n.2, p.69-82, 2023. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2023.002.0008>

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil se apresenta como agente do desenvolvimento socioeconômico, posição essa atribuída devido à natureza de suas atribuições, capaz de gerar emprego e renda, bem como o fortalecimento de outras estruturas de mercado dependentes. De acordo com Achten et al. (2009), grande parte desse potencial se dá pelo uso de tecnologias que gerenciam informações e adicionam otimização e modernização na gestão de projetos na área da construção civil. Para Becerik et al. (2010), a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), encontra-se diante de transformações tecnológicas baseadas na disseminação de informações, nas práticas de sustentabilidade e performance energética, além de avanços em termos de produtividade.

Os recentes movimentos sociais e as pressões por processos produtivos sustentáveis levaram as áreas da arquitetura, engenharia e construção a ampla discussão da temática dos edifícios verdes, ambientes confortáveis com o mínimo consumo de energia. A ideia de construção verde foi originalmente concebida em reação à primeira crise de energia na década de 1970 (FURR et al., 2009). Um edifício verde complementa as deficiências dos projetos arquitetônicos anteriores em termos de benefícios econômicos, praticidade, durabilidade e conforto, focando não apenas no edifício em si, mas também nos materiais de construção e métodos de construção (LIN et al., 2019).

Em paralelo a estas questões ambientais, uma tecnologia e processo vem ganhando espaço e se desenvolvendo, Building Information Modeling (BIM), que tem sido considerado por muitos como uma ferramenta promissora para melhorar a indústria de AEC (LU et al., 2017). O BIM fornece informações necessárias para diversos enfoques como manutenção preventiva, tomada de decisão, análise do sistema de construção, planejamento e estratégias responsivas, entre outras (LU et al., 2017) (TEICHOLZ, 2013) (LIN et al., 2019).

Diante dessa necessidade de alcançar edifícios mais eficientes e sustentáveis, os projetos estão cada vez mais procurando maneiras de minimizar o impacto ambiental e o consumo de energia dos edifícios, entre as possibilidades melhorar o desempenho térmico das edificações é uma das formas mais eficazes de evitar o uso excessivo de energia para aquecimento e arrefecimento e de manter as condições de conforto térmico ideais para os ocupantes. E nesse contexto o BIM tem sido amplamente usado, a fim de atingir um nível mais alto de conforto térmico devido à capacidade de compartilhar e analisar informações multidisciplinares e otimizar assim o potencial de eficiência das construções (CARVALHO et al., 2021) (VALINEJADSHOUBI et al., 2021) (NATEPHRA et al., 2017).

Diante desse contexto, o presente estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura acerca da relação entre o desempenho, conforto térmico e eficiência energética e a Modelagem da Informação da Construção (BIM), buscando apresentar os principais aspectos relacionados a utilização do BIM para a previsão em projeto do desempenho térmico e em situação de edifício já construído a fim de conhecer as condições e os principais avanços que envolve a temática em questão.

DISCUSSÃO TEÓRICA

Desempenho e conforto térmico

O desempenho térmico é uma característica essencial para toda edificação, pois além de refletir no conforto direto das pessoas no ambiente, também é considerado nas questões energéticas uma vez que diminui a necessidade do uso de condicionadores de ar. O desempenho térmico depende de várias características do local da edificação - topografia, temperatura, umidade, direção e velocidade do vento - do tipo de edificação – materiais constituintes, número de pavimentos, tamanho dos cômodos, pé direito e orientação das fachadas (CBIC, 2013).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) – “Edificações habitacionais – Desempenho” é constituída por um conjunto normativo dividido em seis partes e define o desempenho das edificações a partir de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais traduzem as exigências dos usuários e permitem a mensuração do seu cumprimento. Dentre os desempenhos avaliados pela norma, encontram-se o térmico. Além dessa, outra norma que também se relaciona com a questão do desempenho térmico das edificações é a NBR 15520 (ABNT, 2005).

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), as construções residenciais devem possuir atributos que atendam ao desempenho térmico de acordo com a região bioclimática em que está localizada, devido à grande extensão territorial brasileira e os diferentes climas em cada região. A NBR 15220 (ABNT, 2005) apresenta o zoneamento em oito zonas distintas e suas porcentagens em relação à área total do território brasileiro.

A partir dos dados de posicionamento geográfico e dos parâmetros térmicos definidos pelos dias típicos de inverno e de verão das cidades zoneadas, é possível analisar o desempenho térmico através de procedimentos descritos na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), cujo processo mais simplificado leva em consideração os valores de transmitância térmica e capacidade térmica. A transmitância térmica é uma característica que está associada à condutividade e a capacidade de conduzir energia dos materiais constituintes e sua espessura. Esta propriedade representa a possibilidade de passagem de energia de materiais por unidade de área e de diferença de temperatura (LAMBERTS et al., 2014). Já a capacidade térmica é uma propriedade que representa a quantidade de energia necessária para variar em 1 °C a temperatura de um ambiente (GUILHERME, 2019).

Segundo Silveira (2014), para se obter um desempenho térmico adequado às necessidades dos usuários de um edifício, deve-se levar em consideração, durante a etapa de projeto, diversos aspectos que vão desde variáveis técnico-construtivas a fatores de ordem climática onde se insere o edifício de análise. A combinação e a aplicação correta destas variáveis resultarão na condição de conforto térmico adequada no interior da edificação que pode ser obtida através da utilização de materiais de construção isolantes no momento da execução, de técnicas construtivas como a alteração das dimensões de elementos e sistema, e da aplicação de estratégias arquitetônicas que envolvem os estudos da geometria solar e do fluxo de vento, a fim de posicionar os ambientes de forma correta. A utilização de elementos como brises, cobogós e

venezianas também se constituem em uma medida bastante empregada (FROTA et al., 2003).

Atualmente, além das técnicas usualmente empregadas para possibilitar um adequado conforto térmico a uma edificação, existe a Modelagem da Informação da Construção (BIM), que juntamente com as tecnologias de sensores ambientais são ferramentas úteis a fim de analisar e avaliar o desempenho térmico de uma construção. Devido à capacidade de compartilhar informações multidisciplinares, o BIM tem potencial para apoiar e aumentar a eficiência de análise do desempenho térmico dos edifícios, embora ainda apresente certas limitações (NATEPHRA et al., 2017).

O uso de procedimentos de eficiência energética é uma prática típica no processo de construção de edifícios que cria uma enorme quantidade de dados relativos ao edifício. Os padrões popularmente utilizados em todo o mundo para avaliar a taxa de transferência de calor dos edifícios fazem uso de métodos de cálculos manuais e envolvem funções com várias variáveis e coeficientes que precisam ser considerados, tornando o processo demorado e mais passível de erros. O emprego do BIM, por sua vez, é capaz de reduzir o tempo necessário para derivar coeficientes de medição (NATEPHRA et al., 2018).

Assim, a tecnologia BIM é particularmente válida em estruturas que incluem colaborações complexas, como por exemplo, ventilação, aumentos baseados na luz solar, adições internas e massa quente. Além disso, pode ser utilizado a fim de melhorar a eficiência energética da edificação, objetivando prever níveis de conforto com base em aquecimento, ventilação, ar-condicionado, desempenho de sistemas construtivos, condições ambientais e comportamento dos ocupantes. A Modelagem de Informação (BIM) fornecerá dados para apoiar o cálculo para traçar níveis de metas de um desempenho do edifício em relação aos sistemas de classificação (GARCIA et al., 2019).

BIM associado ao desempenho e conforto térmico

Segundo Eastman et al. (2014), BIM é uma ferramenta de modelagem que envolve a interligação de processos para elaborar, analisar e comunicar as informações das construções. Já Jernigan (2008), conceitua o BIM como um conjunto de sistemas que trabalham em um modelo único e paramétrico, onde o processo do projeto é feito de forma contínua sem fases separadas, com as elaborações e modificações interligadas entre si para resultar em agilidade e eficiência nas etapas da construção, reduzindo significativamente o acontecimento de possíveis erros.

A *National Building Information Modeling Standard* (NBIMS, 2007), apresenta o BIM sob a ótica de três níveis de concepção: produto, ferramenta e processo. O BIM como produto está relacionado à modelagem da construção, que resulta em um modelo virtual com todas as informações para a elaboração e operação. O entendimento do BIM como ferramenta faz referência aos softwares de modelação de edificações. Já o BIM como processo faz menção ao estímulo a colaboração possibilitado pela ferramenta.

A inserção do BIM nas práticas da indústria AEC pode ter um papel decisivo no desenvolvimento e crescimento do setor. De acordo com Jacoski et al. (2002), com essas metodologias é possível aumentar o fluxo de informações de projeto entre todos os componentes, já que os documentos são disponíveis para

acesso de todos em todas as etapas do processo construtivo. Dessa forma, CICRP (2012) mostra a divisão dos mais importantes usos do BIM nas fases de projeto, construção e operação, representada na Tabela 1.

Tabela 1: Importantes usos do BIM.

FASES		USOS
Projeto	Concepção	Diagnóstico de eficiência energética
	Documentação	Análises de engenharia
	Visualização	Quantitativos
	Compatibilização	Atualização e revisão de projetos
Construção	Sustentabilidade	
	Organização do canteiro de obras	Administração 3D
	Controle e programação 4D	Pré-fabricação
	Gerenciamento de custos	Prototipagem
Operação	Planejamento de manutenção	Gestão dos espaços
	Estudo dos sistemas da edificação	Projeto de evacuação
	Gestão do edifício	Protótipo final

Fonte: CICRP (2012).

Nesse contexto as ferramentas e metodologias BIM superam as representações tridimensionais do espaço ou objeto, essa envolve inúmeras etapas de projeto com dados gerados no decorrer de toda a vida da edificação, que incluem acessibilidade, economia energética, sustentabilidade, custos da obra, conforto térmico e acústico, entre outros.

A evolução dessas ferramentas e usos dão ao processo de projetar a edificação novas possibilidades e contribuem para a melhoria da qualidade das construções em vários aspectos, como é o caso das características e procedimentos que avaliam e simulam o desempenho térmico de uma obra (SANTOS et al., 2020). No qual, podemos destacar alguns softwares para elaboração desse tipo de projeto: a) ECOTECT: É um software de construção de edifícios sustentável, sendo de propriedade da Autodesk. Ele possibilita o desenvolvimento de análises e simulações que envolve o desempenho acústico, energético, lumínico e térmico da construção. Essa ferramenta permite a elaboração de modelagens simples por meio de superfícies parametrizadas, inserindo informações aos objetos, com os conceitos de classes e herança, além de aceitar a importação de modelos de outras ferramentas (TAHARA et al., 2013); B) Green Building Studio: É uma ferramenta da Autodesk baseado em nuvem que possibilita a execução de simulações de desempenho de edificações para otimizar a eficiência energética, como também termoenergético, no processo de projeto (TONSO et al., 2015); C) IES VE: Trata-se de um conjunto de ferramentas de análise integradas para o projeto e Retrofit de edifícios. É uma ferramenta de construção digital que possibilita a modelagem e a simulação do objeto em diferentes condições proporcionando análises de incidência solar, conforto térmico, consumo de energia, entre outras; D) CYPETHERM EPlus: É um software privado que permite a construção e simulação energética da edificação modelada a partir de um motor de cálculo o EnergyPlus, seguindo a norma ASHRAE 140 para a execução da simulação dinâmica (SOFTWARECYPE INGENIEROS, 2018) (SANTOS et al., 2020)

De acordo com Tondo (2017), os softwares são ferramentas que permitem a comparação e simulação de diferentes configurações de uma modelagem auxiliando no processo de tomada de decisão, e conseqüentemente, na qualidade final da edificação. No entanto, existe um problema que circunda e tem sido enfrentado para análise de desempenho térmico por meio de ferramentas BIM que corresponde ao

acesso a informações e características das propriedades dos materiais construtivos a serem utilizados, o que leva a erros ou relatórios de baixa precisão (SANTOS et al., 2020) (TAHARA et al., 2013).

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão sistemática da literatura, um método que auxilia a formular explicações abrangentes do fenômeno observado a partir de diferentes abordagens metodológicas. Para tanto, foi estabelecido um protocolo para o levantamento de pesquisas científica em bases de dados selecionadas, apresentado na Figura 1.

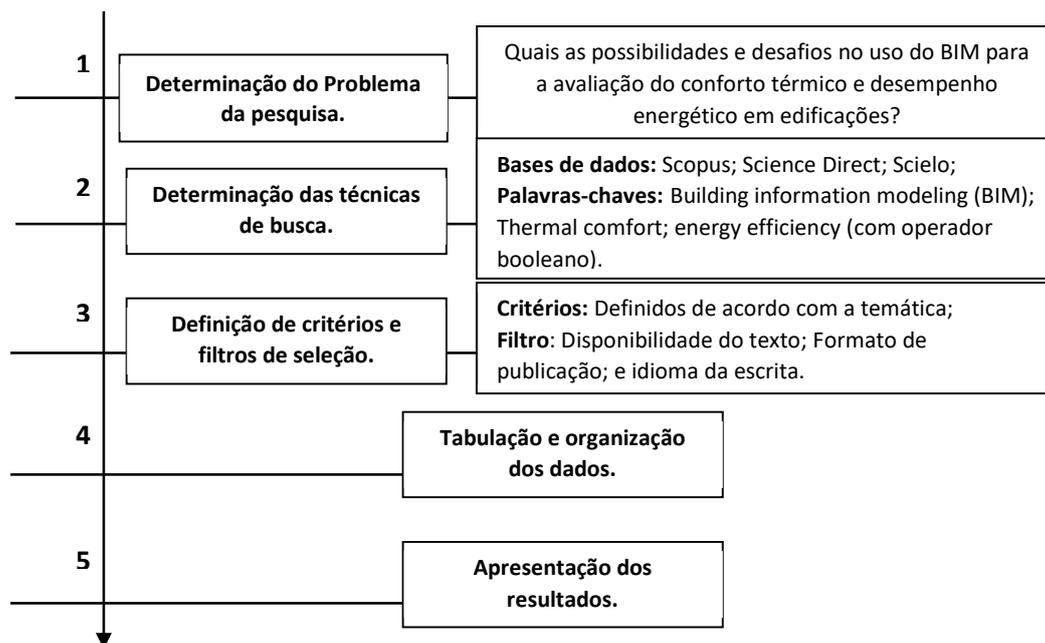


Figura 1: Protocolo para realização da revisão sistemática.

RESULTADOS

No tocante as características gerais da busca, um total de 35 publicações foram retornadas pelas bases, sendo esse montante levado posteriormente para rastreabilidade de duplicatas e análise pelos critérios de seleção, como apresentado em resumo na Tabela 2. Nenhum trabalho foi encontrado na base de pesquisa Scielo para as strings de busca selecionadas e por essa razão não há dados computados.

Tabela 2: Triagem dos estudos encontrados nas bases.

Etapa	Quantidade de trabalhos por bases	
	ScienceDirect	Scopus
Valor final de estudos como resposta a string definida.	6	29
Observação de relevância na área da engenharia civil e do formato do estudo.	6	25
Retirada de trabalhos duplicados.	6	14
Aplicação dos critérios de seleção específicos do tema com a leitura dos títulos e resumos.	6	6
Total de estudos	12	

No primeiro momento foram retirados trabalhos que não possuíam relação com a área em estudo, seja por meio de filtros disponíveis ou por uma leitura prévia dos títulos, como aqueles que apresentavam em sua totalidade as palavras-chaves, mas tinham foco em áreas da arquitetura ou design, além de trabalhos

que não fizessem parte do formato estabelecido.

Retiradas as duplicações de estudos entre as bases e após uma leitura dos títulos e resumos de forma a observar os critérios específicos estabelecidos no protocolo da pesquisa, um total de 12 trabalhos foram selecionados na triagem para posterior sumarização, sendo a distribuição de publicações ao longo dos anos apresentada na Figura 2.

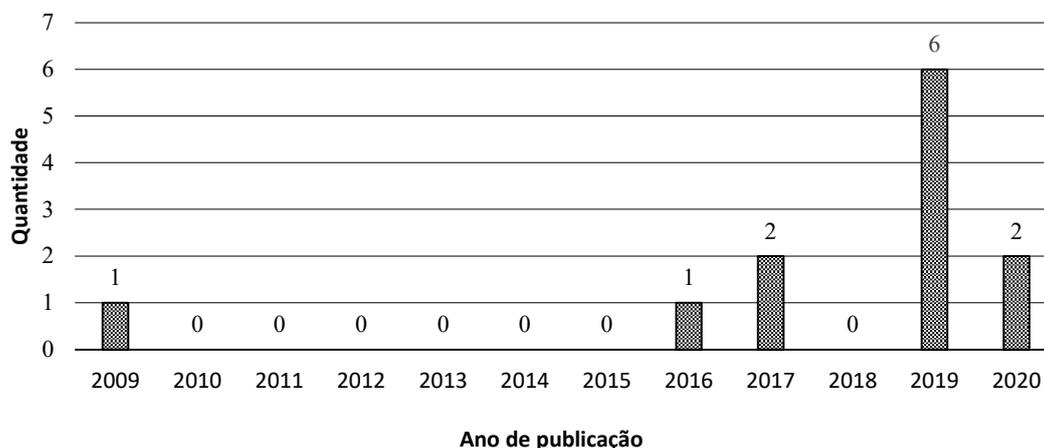


Figura 2: Distribuição anuas das publicações selecionadas.

Como mencionado, a presente revisão não limitou uma extensão temporal, sendo alcançada pela busca uma faixa de publicação de 12 anos, contendo trabalhos que abordam a temática delimitada e que estão presentes nas bases escolhidas. Observando a Figura 2 é notória a concentração de estudos nos anos de 2017, 2019 e 2020, com destaque para o aumento expressivo em 2019, representando 50% das pesquisas, sendo desses aproximadamente 40% oriundos de conferências e os outros 60% artigos indexados em periódicos.

A distribuição por país de origem dos estudos selecionados é apresentada na Figura 3, sendo essa contribuição associada apenas a filiação do primeiro autor, uma vez que a identificação do local de desenvolvimento da pesquisa não é possível na grade maioria dos trabalhos.

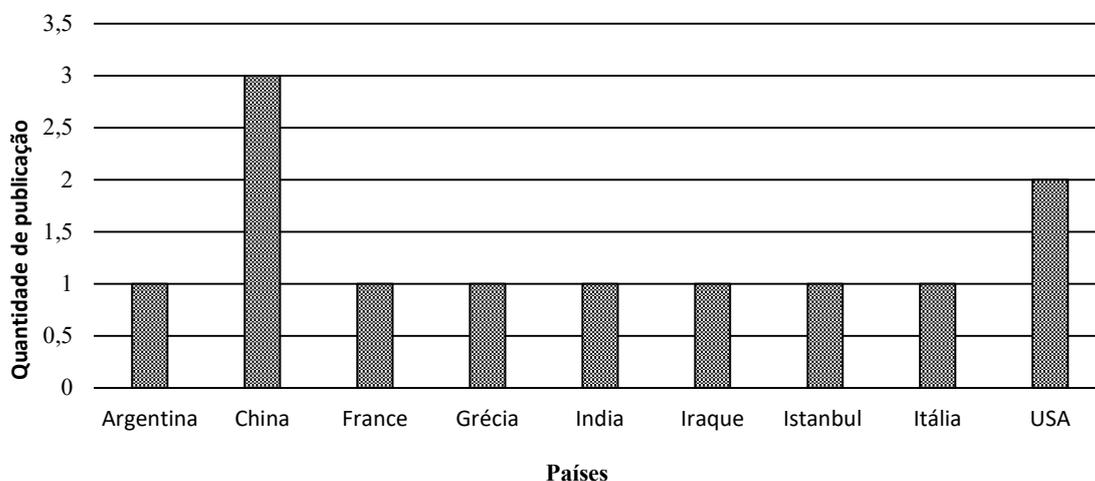


Figura 3: Contribuição de publicações por país de origem.

Observa-se na Figura 3 que a grande maioria dos continentes possuem publicações no tema em questão. Além disso, entre os países selecionados dois acabam se destacando pelo volume de estudos realizadas, sendo eles China e Estados Unidos da América, que juntos contribuem com 41,67% do total de trabalhos publicados ao longo dos anos.

Análise de desempenho e eficiência energética com enfoque no planejamento

A busca pela otimização do desempenho dos edifícios e o seu enquadramento em padrões de sustentabilidade é cada vez mais constante, sendo esse um processo complexo devido ao envolvimento de vários critérios e informações necessárias para implementação. Independente do objetivo, seja com foco no consumo de energia, desempenho acústico, conforto térmico, qualidade do ar interno, entre outros, a fase de projeto se torna fundamental e chave no alcance máximo dos resultados.

Boa parte das práticas e estudos da literatura científica tem seu foco no conforto térmico ou na conservação de energia utilizando ventilação. Em alguns casos, a utilização de ventilação natural pode reduzir o consumo de energia, mas não ser suficiente para manter o conforto térmico adequado.

A correlação entre conforto térmico e o desempenho energético devido ao efeito da ventilação natural é um problema desafiador, os resultados da simulação são muito afetados pela geometria do edifício, propriedade térmica do material, condição ambiental externa e a sala ocupação. A incorporação de forma não abrangente de todos esses fatores na simulação, que pode impor uma grande incerteza sobre os resultados, devendo ser necessárias ferramentas que possam fornecer e/ou permitir integrar dados físicos e funcionais das características dos edifícios, como no caso do BIM.

Um estudo que foca nessa relação foi desenvolvido por Gan et al. (2019), em que foi desenvolvido uma estrutura BIM para analisar o efeito da ventilação natural sobre a correlação entre conforto térmico e desempenho energético em edifícios. A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas, como apresentado na Figura 4: (1) Criação do modelo BIM; (2) simulação de CFD; (3) BES modelagem; e (4) interpretação e análise dos resultados, que serão discutidos.

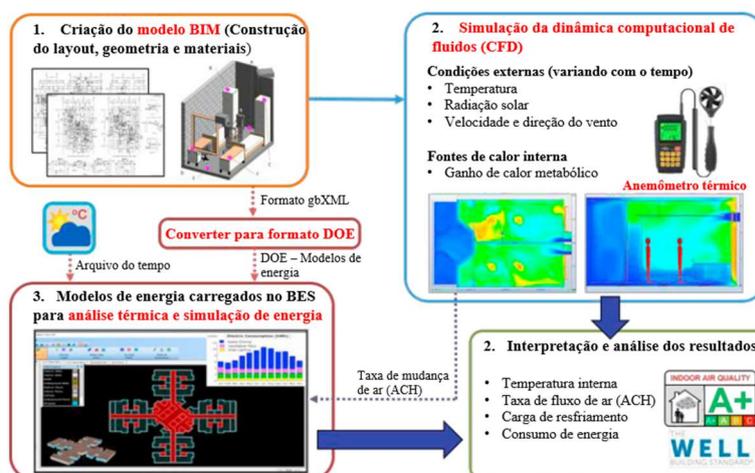


Figura 4: Fluxograma da metodologia de concepção e análise do modelo BIM. **Fonte:** GAN et al. (2019).

De acordo com os autores, a ventilação natural no período da noite, no mês de estudo, pode reduzir

a temperatura interna para cerca de 20-21º C, que atende a faixa sugerida de 21-26º C. No entanto, a ventilação natural nem sempre conseguiu alcanças as médias mínimas, como é o caso das temperaturas do ar interno no meio-dia que foram superiores ao valor máximo sugerido de 26º C, em que os ocupantes se sentem desconfortáveis e a ventilação mecânica deve ser usada para controle das taxas internas. Nessas situações, percebesse a necessidade de um sistema misto de climatização uma vez que a temperatura interior na noite poderia ser mantida em um nível desejável, utilizando ventilação natural, e o mecanismo mecânico o sistema de ventilação pode ser desligado, que levando a uma economia horária no consumo de eletricidade de 0,04 kWh.

O uso de computadores e ferramentas gráficas na elaboração de simulações e desenvolvimento de projetos são peças-chaves para o alcance das otimizações da modelagem eletrônica e conseqüentemente das edificações executadas. Com a finalidade de facilitar o designer de maneira eficiente, Charalambides (2009) aborda em um estudo de caso um algoritmo que funciona dentro de pacotes CAD/BIM disponíveis comercialmente. O programa desenvolvido possibilitou como vantagem a geração de uma entrada inicial por si só na interface CAD em vez de avaliar retroativamente um formulário pré-existente. Ele determina as aberturas e sombreamento ideais dispositivos para um determinado espaço em qualquer latitude específica e gera interativamente modelos para o usuário, com enfoque nos parâmetros de conforto térmico e controle de luz. O autor destaca que, embora não seja previsto que o controle solar passivo proporcione conforto térmico em todos os cenários possíveis, o algoritmo oferece o uso ideal da energia solar.

Vale destacar também a perspectiva do gerenciamento de dados no processo de planejamento, em que dois trabalhos possuem o foco no uso dessas informações, principalmente as vinculadas ao uso e ocupação, associadas a sistemas de inteligências artificiais e de automação, como no trabalho de: Habibi (2016) que explora a aplicação de um sistema de monitoramento em tempo real para alcançar a qualidade do ambiente interno. Ele se concentra em aplicações de tecnologia da informação e comunicação (TIC) e modelagem de informações de construção (BIM) fazendo uma correlação entre o comportamento dos usuários e sistemas de construção para melhorar a eficiência energética e o conforto; Já Ma et al. (2019) propuseram um sistema baseado BIM e Rede Neural Artificial (RNA) considerando três parâmetros ambientais (temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento ao redor da pessoa), três parâmetros de estado humano (taxa de metabolismo humano, resistência térmica da roupa e a posição do corpo) e quatro parâmetros corporais (sexo, idade, altura e peso) como dados de entrada. Em operação a integração das informações com o método foi capaz de fornecer sugestões de otimização de economia de energia simulando diferentes esquemas de design do espaço interior.

Como foi possível perceber a maioria das estratégias aplicadas durante o processo de projeto do edifício exige uma consideração cuidadosa de vários parâmetros e gerenciamento de dados, que para isso, a modelagem de informações de construção (BIM) pode ser empregada como base. Nesse sentido um ponto a importante diz respeito a interoperabilidade dos programas assim utilizados que precisa ser identificada e seguida, já que isso ainda não está claramente definido na literatura para esses métodos de análise

complexos. Utkucu et al. (2020), realizaram um estudo de caso que visa melhorar o processo de projeto do edifício, analisando a interoperabilidade dos programas utilizados para avaliar o desempenho energético e o conforto interno de um edifício por meio da abordagem BIM e observando os limites de interoperabilidade durante a troca de dados. Para tal, foram desenvolvidos e avaliados três modelos principais de análise: A arquitetura do edifício que foi desenvolvida com o modelo de construção 3D conforme especificado pelas condições físicas do edifício; as condições de conforto interno geradas com auxílio da dinâmica de fluidos computacional (CFD) da ventilação natural conforme especificado pela temperatura, umidade e velocidade do ar; e o desempenho energético com um modelo de energia especificado pela arquitetura do edificação e seus sistemas. Em seguida, todos são integrados por meio de uma plataforma BIM, em que se pode concluir que a complexidade da integração de software é eliminada pela metodologia proposta baseada em BIM.

Análise de desempenho e eficiência energética em edificações terminadas

A avaliação de conforto e desempenho térmico, bem como o estudo da eficiência energética são alvos de análise não apenas em projetos de simulação para uma futura construção, mas também em edificações que já se encontram concluídas. Tal avaliação é realizada, em grande parte, a fim de identificar possíveis melhorias de conforto que podem ser realizadas ou apenas para entender, em aspectos gerais, como está o desempenho térmico de determinada edificação.

Lin et al. (2019), Macher et al. (2019), Kotisuryam et al. (2019), Gan et al. (2019) e Mytafides et al. (2017), utilizaram a tecnologia BIM a fim de auxiliar a determinação do desempenho térmico de edificações já existentes e de grande relevância para a sociedade local. Ainda nesse contexto, Garcia et al. (2019), partem para uma investigação de desempenho térmico em sistema de construção pré-fabricados.

O estudo desenvolvido por Lin et al. (2019), teve como foco o consumo de energia e conforto ambiental do tradicional Mercado Público Central de Varejo de Xindian -Taiwan. O mesmo, estabelecido há mais de 30 anos, apresenta um papel crucial na vida diária dos residentes. Assim, o consumo de energia e o nível de conforto do mercado são assuntos de grande preocupação. Usando a modelagem de informações de construção (BIM), os autores exploraram a situação de eficiência energética e nível de conforto do mercado. Um modelo BIM do mercado e área circundante foi construído no Autodesk Revit. Posteriormente, nove itens relativos ao consumo de energia e conforto ambiental foram selecionados para realizar a simulação. Com base nos resultados, a radiação de calor foi identificada como uma das principais causas de consumo de energia no mercado. Além disso, os resultados indicaram problemas de ventilação e insolação insuficiente na localidade.

Mediante a simulação realizada, Lin et al. (2019) propuseram planos de otimização para vários itens analisados. De acordo com os resultados da análise BIM, o ar-condicionado da câmara fria consumiu muito mais energia. Portanto, melhorar esta lacuna alcançaria economia de energia significativa. A análise revelou ainda que a redução do consumo de energia do edifício pode ocorrer através da melhoria do isolamento térmico do telhado (por exemplo, adicionando painéis solares solar) e de paredes externas. O consumo anual

de energia do mercado antes e depois da melhoria foi de 526,51 e 341,43 MWh, respectivamente, rendendo cerca de 35% maior eficiência energética.

Segundo os mesmos autores, a introdução e a aplicação da abordagem BIM verde proporcionam maior chance de promover o nível de conforto de ambiente humano, e facilita a realização de uma arquitetura sustentável, tendo em vista a possibilidade de se fazer uma análise avançada, abrangente e complexa, como cálculos por hora em luz natural do dia e assim por diante, que podem ser simulados para adquirir informações mais benéficas em consumo de energia e estratégias de melhoria correspondentes.

Macher et al. (2019) investigaram a combinação de informações térmicas e geométricas para interiores de edifícios captadas através de uma câmara térmica. O objetivo do projeto foi criar nuvens de pontos termográficos 3D com base em dados adquiridos por um scanner a laser e uma câmera térmica. Com base nessas nuvens de pontos, os modelos BIM podem ser enriquecidos com informações térmicas por meio do processo de digitalização para BIM. Os resultados são promissores, pois as imagens de infravermelho obtidas com a câmera térmica podem ser usadas para texturizar dados de varredura a laser, explorando imagens RGB, no entanto ainda são necessários avanços na área da texturização para melhor compreensão dos dados.

Kotisuryam et al. (2019), por sua vez, utilizaram a Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) para modelar e simular as condições internas e distribuição de energia e o Software Pro-E para Modelagem de Informações de Construção (BIM), a fim de integrar todas as informações de padrões de um edifício comercial que foi o objeto da análise. A ideia básica da pesquisa foi proporcionar conforto térmico aos usuários e conservação de energia por meio do controle inteligente das duas saídas de ar HVAC instaladas no teto do escritório. A inteligência é baseada em sua consciência dos ocupantes presentes na sala e sua localização para decidir qual sistema HVAC (aquecimento, ventilação, ar-condicionado) deve ser mantido ligado ou desligado. A consciência é facilitada por um sistema de localização dos usuários em tempo real que são registradas no modelo BIM.

O sistema utilizado pelos autores para a análise facilitou a tomada de decisão para fornecer conforto térmico em tempo real, dependendo do número e localização dos ocupantes. Um cenário comum e dois extremos em termos de localização e número de ocupantes foram testados. Os resultados revelam até 50% de economia de energia em cenários extremos e com parâmetros de conforto térmico entre faixas aceitáveis. Esses resultados foram incorporados em um modelo BIM junto com os padrões LEED. Isso fornece uma maneira eficiente de avaliar diferentes cenários e realizar análises espaciais durante o projeto para evitar retrabalho e melhorar o grau verde, bem como permitir ao gerente ou ao proprietário prever e diagnosticar o consumo de energia a fim de se obter eficiência energética adequada.

Gan et al. (2019) desenvolveram um estudo de caso em um apartamento residencial em Hong Kong em diferentes estações do ano com o objetivo de investigar a ventilação natural e a sua influência na correlação entre conforto térmico e desempenho energético da localidade. Para tanto, utilizaram a modelagem de informações de construção (BIM) que fornece modelos 3D de construção com informações

geométricas e materiais detalhadas, bem como a localização e o tipo de construção que ajudam a determinar a condição ambiental externa e a ocupação, melhorando assim a precisão da simulação da ventilação natural. De forma semelhante a Kotisuryam et al. (2019), os autores também utilizam a Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) para avaliar a temperatura interna e o campo de fluxo, a fim de avaliar a temperatura de conforto do ocupante diferentes períodos. Além dessas tecnologias, utilizou-se o programa BES para modelar a transferência de calor da ventilação natural e outras fontes de calor na previsão da carga térmica e consumo de energia.

Os resultados mostram que a utilização de ventilação natural nem sempre pode proporcionar conforto térmico. Ventilação natural traz ar fresco no final da primavera (abril), durante o qual a temperatura interna pode ser controlada em um nível confortável e a energia usada para ventilação mecânica pode ser reduzida.

O trabalho de Mytafides et al. (2017), avaliou os métodos de economia de energia de uma construção universitária em clima mediterrâneo. Através de softwares da Modelagem da Informação da Construção (Revit e GBS) e da Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) foram realizados estudos considerando a contribuição das técnicas de aquecimento e resfriamento passivo, a fim de minimizar o consumo de energia em busca de condições desejáveis de conforto térmico interior. Os resultados revelam que após a atualização energética integrada, o consumo específico de energia do edifício é de até $-8 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{ano}$. Em conclusão, é demonstrado que a modernização energética do ambiente construído trará benefícios ambientais e econômicos significativos, ao mesmo tempo, melhorando as condições internas das edificações, com benefícios significativos na produtividade e na saúde do ocupante.

Garcia et al. (2019), apresentam um trabalho de investigação sobre desempenho térmico de sistemas de construção pré-fabricados desenvolvidos por uma empresa argentina. Neste contexto, a Modelagem de Informação da Construção (BIM) forneceu os dados para apoiar o cálculo para traçar os níveis de metas de desempenho do edifício em relação aos sistemas de classificação. Os dados foram coletados de um projeto no Uruguai referente aos sistemas construtivos e à eficiência energética do edifício. Os resultados gerados podem ser generalizados para um conjunto de edifícios, de acordo com o objetivo a atingir no que se refere ao desempenho térmico da edificação.

Outra temática envolvendo as questões do conforto térmico e energético frente ao ambiente construído diz respeito ao processo de recuperação de patrimônios arquitetônicos com a utilização dos chamados materiais dinâmicos inteligentes, como fotovoltaico e Eletrocromico, a fim de restaurar os projetos e melhorar o desempenho do edifício. No estudo desenvolvido por Alqalami (2020) buscou-se identificar o papel de tecnologias avançadas e a escolha de materiais de envidraçamento inteligentes, sendo possível observar por meio de simulações a possibilidade de reviver a qualidade do conforto térmico de uma forma que não apenas sustentasse a identidade dos elementos de fachada social e culturalmente, mas que também é responsivo às mudanças das condições climáticas.

CONCLUSÕES

O presente artigo consistiu em uma revisão sistemática da literatura acerca da relação entre o desempenho, conforto térmico e eficiência energética e a Modelagem da Informação da Construção (BIM), apresentando os principais aspectos relacionados a utilização do BIM para a previsão em projeto do desempenho térmico e em situação de edifício já construído a fim de conhecer as condições de conforto e propor melhorias.

A utilização do BIM em ambas as situações é capaz de otimizar a obtenção dos dados requeridos para o estudo térmico, uma vez que, por meio desta tecnologia, é possível avaliar, de maneira eficiente, diferentes cenários e realizar análises espaciais que evitam retrabalho, facilitando a tomada de decisão pelo responsável em questão.

Em decorrência da otimização resultante da tecnologia BIM na área do desempenho térmico e da eficiência energética é possível, entre outras coisas: Obter o conforto térmico em tempo real dos ocupantes, a depender da localização dos mesmos; Reduzir o consumo de energia e aumentar a eficiência energética com base em um sistema de operação que indique o equipamento adequado, promovendo maior nível de conforto e cooperando para o estabelecimento de uma arquitetura sustentável, tendo em vista a possibilidade de se fazer uma análise avançada, abrangente e complexa; Obter dados de desempenho térmico e eficiência energética de sistemas de construção pré-fabricados, podendo esses resultados serem utilizados como base para um dado conjunto de edifícios, de acordo com ao objetivo a atingir no que se refere ao desempenho térmico da edificação; Recuperar patrimônios arquitetônicos a partir do estudo e da utilização dos chamados materiais dinâmicos inteligentes, como fotovoltaico e Eletrocromico, a fim de restaurar os projetos e melhorar o desempenho do edifício.

Em suma, a utilização do BIM trará benefícios ambientais e econômicos significativos, ao mesmo tempo, melhorando as condições internas das edificações, com benefícios significativos na produtividade e na saúde do ocupante.

REFERÊNCIAS

ALQALAMI, T. A.. Dynamic transparency in design: the revival of environmental sustainability in design elements of Iraqi buildings. *Heliyon*, v.6, n.11, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05565>

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575**: Edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

CARVALHO, J. P.; BRAGANÇA, L.; MATEUS, R.. Sustainable building design: Analysing the feasibility of BIM platforms to support practical building sustainability assessment. *Computers in Industry*, v.127, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103400>

CBIC. Câmara brasileira da indústria da construção. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.

Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CHANG, S.. Framework for evaluating and optimizing algae façades using closed-loop simulation analysis integrated with BIM. *Energy Procedia*, v.143, p.237-244, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.677>

CHARALAMBIDES, J.. Improving energy efficiency in building through automated computer design process. construction research congress 2009. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2009. **Anais**. Seattle: American Society of Civil Engineers, 2009

CICRP. Computer Integrated Construction Research Program. **Planning Guide for Facility Owners**. 2012.

EASTMAN, C.. **Manual de Bim**: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K.. **BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**, John Wiley & Sons. Hoboken, 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R.. **Manual do conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FURR, J. E.; KIBERT, N. C.; MAYER, J. T.; SENTMAN, S. D.. **Green building and sustainable development: the practical legal guide**, American Bar Association: Chicago: 2009.

GARCIA, L. C.; KAMSU-FOGUEM, B.. BIM-oriented data mining for thermal performance of prefabricated buildings. **Ecological Informatics**, v.51, p.61-72, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.02.012>

GAN, V. J. L.. BIM-based framework to analyze the effect of natural ventilation on thermal comfort and energy performance in buildings. **Energy Procedia**, v.158, p.3319-3324, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.971>

GUILHERME, D. D. P.. **Estudo do desempenho térmico e mecânico em argamassas de revestimento com substituição do agregado natural pela vermiculita expandida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

HABIBI, S.. Smart innovation systems for indoor environmental quality (IEQ). **Journal of Building Engineering**, v.8, p.1-13, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2016.08.006>

JACOSKI, C. A.; LAMBERTS, R. A.. A interoperabilidade como fator de integração de projetos na construção civil. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS. **Anais**. Porto Alegre, 2002.

JERNIGAN, F.. **Big BIM little bim: the practical approach to building information modeling integrated practice done the right way**. 2 ed. Salisbury: Finith Jernigan, 2008.

KOTISURYAM, M.; SHARANAPPA, G.. Investigating hvac thermal comfort and energy efficiency in commercial buildings. **International Journal of Mechanical and Production**, 2019.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R.. **Conforto e stress térmico**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

LIN, P. H.. Green BIM assessment applying for energy consumption and comfort in the traditional public market: a case study. **Sustainability**, v.11, n.17, p.4636, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11174636>

LU, Y.; WU, Z.; CHANG, R.; LI, Y.. Building information modeling (BIM) para edifícios verdes: uma revisão crítica e direções futuras. **Autom. Constr.**, v.83, p.134-148, 2017.

MACHER, H.. Combination of thermal and geometric information for BIM enrichment. **International Archives of**

the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v.42, p.719-725, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-719-2019>

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.

NATEPHRA, W.. 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.

NATEPHRA, W.; YABUKI, N.; FUKUDA, T.. Optimizing the evaluation of building envelope design for thermal performance using a BIM-based overall thermal transfer value calculation. **Building and Environment**, v.136, p.128-145, 2018.

NBIMS. National Building Information Modeling Standard. **Overview, Principles and Methodologies**. 2007.

SANTOS, R. D.; DUTRA, A. T. S.. BIM aplicado para avaliação do Desempenho Térmico em uma residência unifamiliar popular. **Braz. J. of Develop.** v.6, n.12, p.96073-96092, 2020.

SILVEIRA, F. M.. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15.575 e ASHRAE 55**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

TAHARA, A.; FREIRE, M. R.; AMORIM, A. L.. Estudo da Ferramenta Ecotect na Avaliação do Desempenho Térmico no Contexto BIM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, VI ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 3. **Anais**. Campinas: 2013.

TEICHOLZ, P.. **BIM for facility managers**, John Wiley & sons: Hoboken, 2013.

TONDO, G. H.. **Influência das estratégias bioclimáticas no desempenho em edificações escolares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2017.

TONSO, L. G.; NARDELLI, E. S.. **BIM para a análise de desempenho térmico em edificações do Programa Minha Casa Minha Vida**. São Paulo: Blucher, 2015.

UTKUCU, D.; SÖZER, H.. Interoperability and data exchange within BIM platform to evaluate building energy performance and indoor comfort. **Automation in Construction**, v.116, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103225>

VALINEJADSHOUBI, M.. Development of an IoT and BIM-based automated alert system for thermal comfort monitoring in buildings. **Sustainable Cities and Society**, v.66, n.1, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102602>