

O USO DO BIM EM SISTEMAS MEP E SOLARES: PANORAMA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA RECENTE

DOI: 10.19177/rgsa.v9e012020823-845



Bruno da Silva Oliveira¹
Frederico Silva Moreira²
Mayara Dias de Souza³

RESUMO

Os problemas relacionados à sustentabilidade na construção civil podem ser vistos inicialmente pela ausência de um maior aproveitamento das informações inerentes de cada disciplina do projeto em uma edificação, afetando desde a etapa de execução com alterações de cronograma, custos e até escopo. Os sistemas conhecidos por complementares - mecânicos, elétricos e hidrossanitários (MEP) - compõem parte importante da obra, sendo foco de atenção por profissionais e empresas do setor de arquitetura, engenharia e construção (AEC). Assim também, a avaliação dos resultados energéticos a partir das características de envoltória da edificação, em

¹ Aluno do Curso de Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade (PPGEES/FAENG/ UFMS); Graduado em Engenharia Elétrica.

² Doutor em Engenharia Elétrica (UNICAMP-SP), Mestre em Engenharia Elétrica (UNICAMP-SP); Graduado em Engenharia Elétrica (UFMS-MS). Docente do programa de Eletrotécnica Industrial; Docente do Programa de Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade (PPGES/FAENG).

³ Doutora em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo (USP/SÃO CARLOS-SP); Mestre em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo (USP/SÃO CARLOS-SP) e Bacharel em Arquitetura e Urbanismo (UFPR-PR). Docente do Programa de Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade (PPGES/FAENG) e do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG/UFMS).

especial a energia solar fotovoltaica é alvo de grande apelo à indústria da construção para melhores índices ligados à sustentabilidade. É sob este contexto, que esta pesquisa objetiva analisar o panorama da produção científica sobre a utilização da modelagem da informação da construção (do inglês BIM) em sistemas solares fotovoltaicos e sistemas elétricos, nos bancos de dados Science Direct, IEEE, Scopus e Web of Science. A pesquisa é considerada de natureza descritiva, com abordagem qualitativa, ao realizar técnicas de estudo por revisão sistemática. Os resultados permitiram entender a produção científica sobre o tema, com destaque à ordenação do processo BIM, as possibilidades e barreiras encontradas e a pouca abrangência direta ao tema com destaque ao Green-BIM e coordenação MEP.

Palavras-chaves: BIM. Solar. MEP. Sistemática. Produção científica.

THE USE OF BIM IN MEP AND SOLAR SYSTEMS: RECENT SCIENTIFIC PRODUCTION LANDSCAPE

ABSTRACT

Problems related to sustainability in construction can be seen initially by the lack of greater use of the inherent information of each discipline of the project in a building affecting from the execution stage with changes in schedule, costs and even scope. The systems known as complementary - mechanical, electrical and hydrosanitary (MEP) - make up an important part of the work, being the focus of attention by professionals and companies in the architecture, engineering and construction (AEC) sector. Also, the evaluation of the energy results from the building envelope characteristics, especially the photovoltaic solar energy, is a major appeal to the construction industry for better indexes related to sustainability. It is in this context that this research aims to analyze the scientific production landscape on the use of building information modeling (BIM) in photovoltaic solar systems and electrical systems, in the Science Direct, IEEE, Scopus and Web of Science. The research is considered descriptive, with a qualitative approach, when conducting study techniques by systematic review. The results allowed us to understand the scientific production on the theme, highlighting the ordering of the BIM process, the possibilities and barriers encountered and the little direct coverage of the theme, especially Green-BIM and MEP coordination.

Keywords: BIM. Solar. MEP. Systematic. Scientific Production.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade vem ganhando destaque, ao longo do tempo, dentro da arquitetura, engenharia e construção (AEC), com crescimento na exigência, nas últimas décadas, de desenvolvimento sustentável, assim como, a qualidade, produtividade, eficiência e eficácia. O setor de construção possui desafios para a sustentabilidade, como: desperdício excessivo de materiais e processos, dependência excessiva de recursos, alto uso de energia e emissões de carbono (ORTIZ et al., 2009; KHOSHANAVA et al., 2013; DADHICH ET al., 2015; AHUJA et al., 2017). Além disso, no que diz respeito à sustentabilidade, é necessário melhorar a visão estratégica no que diz respeito à sustentabilidade, diminuindo a resistência para implementar novidades, tecnologias mais eficientes, além de logística e comunicação ineficientes (ALWAN et al., 2017)

No contexto atual, as preocupações e pressões ambientais, sociais e econômicas contribuíram para a indústria da construção assumir um papel proativo em adotar a Modelagem da Informação da Construção, ou em inglês Building Information Modeling (BIM), adaptar às edificações, fontes de geração renovável, além de integrar às instalações existentes (MEP) e analisar conjuntamente com a modelagem da energia da construção (BEM).

Muitas pesquisas, como mostra Wu et al. (2017) afirmaram o relacionamento entre BIM e construção verde, confirmando a existência de benefícios sustentáveis a partir da implementação do BIM na indústria de AEC. Deste modo, a literatura acadêmica e linhas de pesquisa exploram os impactos das práticas de sustentabilidade e instalações, potenciais sinergias do BIM, construções verdes e sua integração. Ainda segundo os autores, a abordagem permanece nos estágios iniciais, sendo necessário pesquisas futuras.

1.1 Fundamentação Teórica

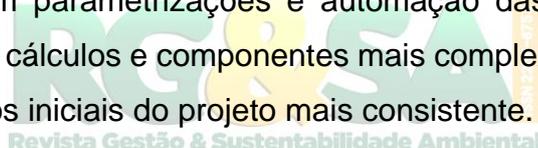
1.1.1 Modelagem da Informação da Construção

Com o conceito de modelo 3D inteligente, o BIM tem crescido exponencialmente dando aos profissionais ferramentas de tecnologia de informação eficientes que fornecem melhor atendimento das diversas etapas de uma edificação, como: Planejamento, design, construção e gerenciamento de facilidades, permitindo

maior proatividade nos processos de decisão, com qualidade e documentação produzida, tendo como seus princípios o fácil acesso a informações centralizadas e de fácil troca (HAMDI E LEITE, 2012; SACKS ET AL., 2009).

Durante o ciclo da edificação, mudanças são inevitáveis mesmo durante a etapa de construção. O gerenciamento das mudanças é fundamental para uma entrega eficiente, sendo a integração dos processos de concepção, construção, operação e dos projetos em geral, medidas de grande impacto no resultado final (BEHZAD et al., 2015).

Conforme Chen e Luo (2014) mostram, o BIM tem evidente potencial de suportar as transformações do projeto e processos de construção, considerando que permite redução de trabalho, eliminação de conflitos, assim como sua característica mais visível que é a percepção mais acurada devido à facilidade de visualização da edificação, auxiliando na coordenação, evitando emissões e erros, melhorando a produtividade, dando suporte ao cronograma, sem deixar de lado os fatores de segurança, custo e gerenciamento da qualidade do empreendimento. A natureza do BIM em trabalhar com parametrizações e automação das informações facilita no momento de lidar com cálculos e componentes mais complexos, tornando o processo de decisão em estágios iniciais do projeto mais consistente.



1.1.2 Mecânica, Elétrica e Hidrossanitário

No processo de coordenação MEP, é possível que durante o projeto não ocorra troca de informações, podendo ocorrer incompatibilidades. Pelo processo de sobreposição e comparação sequencial de desenhos, os projetos mecânicos, elétricos e hidrossanitários são coordenados, para detectar e eliminar interferências espaciais e funcionais entre os sistemas, se tornando demorados e caros.

Como componentes principais do BIM, os sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos (MEP) de um edifício afetam a prática de criar estruturas e usar processos que sejam ambientalmente responsáveis e eficientes em termos de recursos ao longo de todo o ciclo de vida de um edifício. Para os elementos do sistema MEP, eles são construídos virtualmente nos modelos BIM.

Os recursos de design e especificações dos elementos do sistema MEP nos modelos BIM são descritos pelas propriedades dos elementos. Tais propriedades

incluem atributos de desempenho quantitativos, como conteúdo de compostos orgânicos voláteis (VOC), consumo de energia, refletividade ou ganho solar.

Melhor orientação do edifício ou sala, layout de sistemas, melhores escolhas para compor a envoltória da construção e seleção dos materiais que trazem melhor apoio à saúde e o bem-estar dos ocupantes, são produtos dos sistemas BIM MEP (EASTMAN et al., 2011).

1.1.3 BIM, sustentabilidade e aplicação fotovoltaica

O BIM dentro da sustentabilidade é conhecido como Green-BIM na tradução literal, BIM verde. Existem duas entidades associadas a esse conceito, ou seja, BIM e edifícios verdes.

Em termos de edifícios verdes, duas dimensões importantes, nomeadamente as “fases do projeto” e “atributos verdes” são adotadas para descrever edifícios verdes. A dimensão “fases do projeto” captura a perspectiva do ciclo de vida do projeto (LU et al., 2017).

Qualquer projeto verde passa por um processo de ciclo de vida que começa com o projeto, através da construção, operação, manutenção e termina com a fase de demolição. A dimensão “atributos verdes” inclui considerações de sustentabilidade que podem ser abordadas usando o software BIM, como energia, conforto térmico, emissões de carbono, água, resíduos de material, iluminação diurna, ventilação natural e análise acústica.

Dentro desse aspecto, evidenciam-se os termos Building Integrated Photovoltaic (BIPV) e Building Applied Photovoltaic (BAPV). O BIPV compreende integrar os sistemas fotovoltaicos à envoltória do edifício, enquanto que o BAPV compreende os mesmos em sobreposição aos elementos de construção.

1.2 Escopo da pesquisa

Muitos pesquisadores têm pesquisado os conceitos separadamente e alguns deles em pares. Mesmo com o aumento de pesquisas nesses campos, há poucos ou nenhum estudo relacionando os 3 conceitos ou como aplicar essa sinergia na indústria.

Considerando as possíveis sinergias que as combinações desses princípios apresentam em pares, o objetivo desta revisão é cobrir o que foi estudado em relação a essas sinergias, destacando tópicos bem explorados e limitações encontradas.

Assim, este estudo propõe uma revisão sistemática da literatura para encontrar e analisar as interações de BIM, Elétrica e Solar na indústria de arquitetura, engenharia e construção. Assim, buscando sintetizar as intenções de entendimento acerca da temática, foram consideradas às seguintes questões norteadoras:

Questão 1: Como BIM, Elétrica e Solar interagem no domínio do AEC?

Questão 2: Como as funcionalidades do BIM, Elétrica e Solar podem desenvolver/resolver desafios do setor de construção civil?

Assim, especificamente, a contribuição desta pesquisa é de aprimorar o conhecimento das interrelações de BIM, Elétrica e Solar, analisando como interagem no setor de AEC, avaliando os pontos de vista social, econômico e operacional.

O restante do artigo se estrutura em: Metodologia da pesquisa realizada, apresentada na seção explicitando quais palavras-chave foram utilizadas, o procedimento adotado para encontrar artigos e os critérios de inclusão / exclusão utilizados para formar a base dos artigos revisados. Posteriormente, se resume os resultados encontrados dentro do escopo das pesquisas, prosseguindo na próxima seção para as discussões e então às considerações finais.

2 METODOLOGIA

Com o objetivo de identificar as lacunas e direcionar mais pesquisas sobre o mesmo assunto, foi desenvolvido o conceito de revisões sistemáticas da literatura.

Este estudo pode ser classificado como uma revisão sistemática, seguindo a seguinte estrutura: (1) ser conduzida por sistema ou método sistemático; (2) apresentar um método transparente e explícito; (3) ser replicável e atualizável; e (4) resumir e sintetizar as evidências sobre a questão da revisão. Além disso, partiu da definição de um protocolo de avaliação, especificando a questão de pesquisa a ser

abordada e os métodos utilizados para realizar tal avaliação (GUANILO, TAKAHASHI; BERTOLOZI, 2011, p.1261).

2.1 Localização dos estudos

A cadeia de pesquisa inicial foi definida usando o operador booleano “AND” conforme especificado na Tabela 1, mas quase nenhum resultado foi encontrado, tornando ainda mais claro que existe uma lacuna de pesquisa que precisa ser preenchida. Assim, a *string* de pesquisa foi alterada visando um termo mais que agregasse mais resultados, sendo trocado assim o termo “ELECTRICAL” por “MEP”, conforme especificado na segunda coluna da Tabela 1. Esta revisão não considerou a busca de cada conceito individualmente, uma vez que a intenção da mesma é a sinergia entre ambas.

Tabela 1 - Strings de busca

String Inicial	String utilizada
SOLAR* AND BIM* ELECTRICAL*	SOLAR* AND BIM* AND MEP*

Fonte: Elaborado pelos autores.

O local do estudo foi conduzido considerando as sequências de pesquisa em várias bases de dados para encontrar os artigos mais relevantes. Scopus (scopus.com), Elsevier (scencedirect.com), IEEE (ieeexplore.ieee.org) e Web of Science foram escolhidos. Para centralizar, organizar e controlar os resultados obtidos, foi utilizado o gerenciador de referência Start, permitindo anotações, busca em documentos e fácil remoção de duplicatas.

2.2 Seleção dos estudos e avaliação

O período de pesquisa de 2008 a 2018 foi escolhido pois, por ser um tema amplamente ligado à tecnologia, um período maior que dez anos poderia trazer resultados não satisfatórios ou não aplicáveis à situação tecnológica atual. Alguns artigos não puderam ser considerados porque seus textos completos não estavam

disponíveis. O grupo resultante de artigos encontrados foram refinados através de três etapas:

Um primeiro passo inclui a leitura de títulos e resumos de cada estudo encontrado e avaliar se inicialmente atende ou não aos critérios de inclusão.

A segunda etapa compreende a leitura do texto com foco nas seções de metodologia e conclusão e a verificação se o artigo atende aos critérios exigidos.

Para os estudos restantes, extrair todas as informações através da leitura atenta do texto completo.

Critérios de inclusão e exclusão devem ser implementados de forma objetiva, explícita e consistente, de modo que a decisão de inclusão ou exclusão seja clara e, se outro pesquisador passasse pelo mesmo processo, ele ou ela tomaria a mesma decisão. Essa abordagem visa minimizar possíveis vieses do autor. A Tabela 2 resume os critérios utilizados nesta pesquisa.

Tabela 2 – Critérios de aceitação dos artigos

Inclusão	Exclusão
Combina menos de dois conceitos	Estuda apenas solar ou elétrica
Aplicado na indústria AEC ou conceitos gerais	Aplicado em outras áreas, mencionando qualquer das disciplinas sem aplicabilidade na integração entre elas

Fonte: elaborado pelos autores

O resultado da seleção inicial retornou 57 textos na lista. Após a remoção de duplicatas e posterior filtragem, o valor foi reduzido para 27, os quais foram organizados por grau de importância por, respectivamente, “muito baixo” (0), “baixo” (10), “alto” (14) e “muito alto” (5).

3 RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados são estruturados da seguinte forma: primeiro, uma breve consideração dos resultados quantitativos. Em seguida, uma análise descritiva dos principais objetivos das pesquisas de cada um dos autores considerados neste estudo.

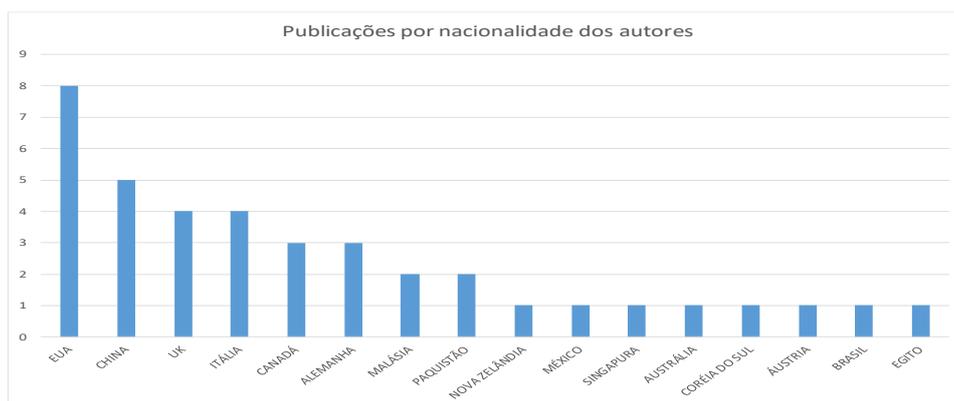
3.1 Análise descritiva

Embora as publicações estejam ligeiramente dispersas, há uma tendência crescente de pesquisa, especialmente para os tópicos de BIM e sustentabilidade, BIM e MEP, com a solar sendo desenvolvida independentemente das outras. Ele também mostra que, apesar do fato de que esta revisão considerou publicações desde o ano de 2008, as pesquisas que atendiam aos critérios se iniciavam em 2011, aonde o tema Green-BIM já vinha sendo abordado, o qual seria revisado sistematicamente em 2017. Já estudos entre BIM e MEP faziam parte do mundo acadêmico, conforme mostrado pelo estudo de Wang *et al.* (2016) que apresenta faz um levantamento da literatura sobre MEP e BIM, mostrando as contribuições dos estudos e categorizando os mesmos.

O Gráfico 1 demonstra a grande disparidade de publicações os países, com predominância dos Estados Unidos que atua nos temas BIM e MEP, Green-BIM, além da correção entre BIM e BEM. Considerando os países que apresentaram pelo menos um artigo dentro dos critérios de inclusão deste estudo, vê-se que China, Reino Unido e Itália se equiparam em quantidade de artigos, por autores, tendo como tema mais abordado a análise energética assim como sustentabilidade. Outros países seguem com uma quantidade menor de publicações e temáticas variando entre os 3 principais temas desse estudo, assim como atendendo apenas o BIM, com informações relevantes à análise, como estudo econômico do impacto e entrevista com atores do setor de AEC, levantando a opinião dos profissionais sobre o assunto.

É interessante notar que, embora os Estados Unidos apresente um volume maior de artigos publicados, é o Reino Unido que vem crescendo significativamente, o que pode estar diretamente relacionado à iniciativa do BIM Task Group (2013), que exige o uso do BIM para qualquer projeto relacionado ao governo e também tem o objetivo de reduzir em 50% as emissões de gases de efeito estufa até 2025.

Gráfico 1 – Nacionalidade dos autores



Fonte: elaborado pelos autores, com base nos dados de pesquisa

Os achados foram resumidos conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – apresenta os artigos por ordem cronológica de publicação, os autores, títulos e país de origem dos autores de todos os artigos selecionados.

<p>A BIM-enabled information infrastructure for building energy Fault Detection and Diagnostics</p>	<p>É abordada a efetividade do Diagnóstico e Detecção de Falhas (FDD) e sua efetividade na redução do consumo na fase de manutenção e operação em edificações, além da implementação desafiadora devido a complexidade algorítmica, fluxo de trabalho relevante e o requerimento de troca de informações da construção, apontando a necessidade de uma estrutura para facilitar a mesma. Também mostra o estado da arte em construções com o uso do FDD e aborda a troca de informação entre essa metodologia e o BIM, comentando sobre os formatos Industry foundation classes (IFC) e green building Extensible Markup Language (gbXML) para transferência de informações geométricas e específicas de performance da construção. Por fim mostra as fragilidades dessa intercomunicação apontando que há falhas nos formatos de troca de arquivo, com perda de informações no processo.</p>
<p>A framework for the utilization of Building Management System data in building information models for building design and operation</p>	<p>Analisa a interação entre BIM e BEM, apresentando barreiras e oferecendo uma forma de melhorar essa integração por meio de um plugin específico feito para isso. Comenta no final o benefício que o BIM pode trazer para melhorar a informação a ser utilizada nos modelos BEM.</p>

<p>A Standard Design Process for Sustainable Design</p>	<p>Trabalha com uma pesquisa exploratória qualitativa dentro de revisões literárias, casos de estudo e entrevistas, com foco no entendimento do conhecimento e aplicação de conceitos IDP, BIM e BES, trazendo um panorama sobre a forma de projeto tradicional, avançando para os processos emergentes, aonde trata temas como BIM, Simulação Energética da Construção (da singla em inglês BES) e o Processo Integrado de Design (IDP). O Processo de Design para sustentabilidade (DEPROSU) é apresentado representando uma síntese dos resultados obtidos pela pesquisa e sendo detalhado dentro de todas as suas etapas.</p> <p>O estudo conclui que o DEPROSU compreende as melhores práticas a partir dos dados obtidos, incluindo aspectos ecológicos e de projeto, além de propor diferentes alternativas de uso de softwares e cálculos normativos para etapas específicas do processo, refletindo melhores práticas para atender as demandas de um mercado mais dinâmico.</p>
<p>Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IBMS) for inspecting post-construction energy efficiency</p>	<p>É feita uma revisão de artigos que apresentam os conceitos de BIM desde o 3D até o 7D, citando diferentes referências que utilizaram dos mesmos, testando e aplicando. Também aborda outros conceitos como RA, FUZZY para BMS, impressão 3D e outros.</p> 
<p>Applied horizontal and vertical geothermal heat exchanger with heat pump system to provide air conditioning for an academic facility in Mexico</p>	<p>Faz uma análise de consumo de energia calorífica, levantando as informações de consumo de energia no REVIT e dimensionando o sistema de refrigeração em outro software.</p>
<p>BIM-based Energy Analysis Using Edilclima EC770 Plug-in, Case Study Archimede Library EEB Project</p>	<p>Utilizando um estudo de caso para analisar o uso do BIM, aliado a um software de análise energética (Edilclima EC770), buscaram entender possíveis benefícios dessa intercomunicação.</p> <p>O artigo conclui que ainda precisa melhorar a comunicação IFC e XML, dando maior confiabilidade nos resultados. Dentro do estudo de caso, a diferença não foi tão grande quanto no caso</p>

	tradicional com relação aos resultados energéticos obtidos, porém a possibilidade de facilitar o processo é grande com o uso do BIM, desde que a comunicação se torne mais adequada.
Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions	Revisa diversos artigos sobre o tema Green-BIM, delineando suas abordagens de estudo e conceitualizando as interações entre construções verdes e BIM a partir de uma taxonomia chamada “Green BIM Triangle”. Os autores concluem que o estudo serve de guia para pesquisas futuras sobre o tema, com uma abordagem sistemática para entender o campo de conhecimento, podendo responder lacunas de conhecimento não atendidas no artigo.
Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure - Literature review, applications, challenges, and recommendations	Revisão que trabalha aspectos de projeto dentro do escopo da infraestrutura, com a maior quantidade de estudos abrangendo pontes e a menor viadutos. 
Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects	Aborda uma forma de se utilizar o BIM em setores públicos. Apresenta alguns conceitos relacionados ao BIM, tais quais, Nível de Aplicação, LOD, interoperabilidade e modelos de aplicação (modelo de design e modelo de construção). Posteriormente, apresenta um fluxograma de trabalho para utilização do BIM nas licitações públicas, trazendo como considerações finais que o modelo apresentado pode vir a auxiliar equipes de projeto a vencer desafios técnicos, de processos e organizacionais.
Building Information Modeling and simulation for the mechanical, electrical, and plumbing systems	Aborda sobre o BIM, sua aplicabilidade e usa o tema do MEP mais a fundo para comentar sobre as fases de pré-obra (pouco explorado), durante a obra e pós-obra dentro do BIM. Finaliza dizendo de maneira mais ampla que é bem aplicável em hospitais por causa da possibilidade de verificação de clash e impacto energético de HVAC.

Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis	Aborda uma estrutura para estabelecimento de relação entre BIM e LEED com a correlação entre os tipos de análises e os créditos LEED. A validação foi feita por um caso de estudo em edificação pertencente a uma universidade por meio do software Virtual Environment (VE), escolhido dentre outros programas, tais quais: Autodesk Ecotect, Autodesk Green Building Studio (GBS) e Integrated Environmental Solutions (IES). Os autores concluem que há uma relação parcial para a certificação LEED, podendo atender 17 créditos, dos quais apenas 5 foram avaliados a fins de confirmação durante o período do estudo, sendo a verificação dos resultados aconselhada pelo artigo pois há imprecisão nos modelos de informação. Por fim é levantada a vantagem de utilização do software devido à agilidade de levantamento de informação.
Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability	Faz um levantamento da literatura sobre MEP e BIM, mostrando as contribuições dos estudos e categorizando os mesmos. Posteriormente, levantam uma metodologia de aplicação do MEP em 4 etapas, as quais aplicam em um caso de estudo e apresentam os resultados no final, demonstrando ganhos no uso do BIM e apresentando o impacto da experiência dos projetistas, assim como a diferença de resultados ao se utilizar as diferentes etapas que o estudo apresenta.
Building Information Modelling for analysis of energy efficient industrial buildings - A case study	Mostra um caso de estudo do uso de BIM para análise de refrigeração industrial. No caso, é feita a modelagem no revit, transportado o arquivo para Sketchup, sendo utilizado um plug-in para passar as informações para o programa BEM (Energy Plus). Foram usados dois casos de estudo, sendo um novo e um antigo. Ambos tiveram suas dificuldades, aonde o primeiro tinha pouca informação e já estava construído enquanto o segundo possuía maior detalhamento arquitetônico e estava em etapa de projeto. Os dois casos trouxeram dificuldades, seja em inconsistências geométricas e falta de informações dos materiais (caso 1), assim como geometria muito complicada causando problemas de leitura no Energy Plus.
Digital revolution in efficient self-organization of buildings: towards intelligent robotics	Faz uma abordagem sobre as tecnologias emergentes na construção civil, falando sobre BIM, BMS e impressão digital.

Energy-efficiency Retrofitting and Transformation of the FIU-college of Architecture + The Arts into a Net-Zero-Energy-Building by 2018	Trabalha a relação entre BIM e construções NET-zero tomando como caso de estudo um complexo educacional, sendo a análise conduzida com Autodesk REVIT MEP, eQuest e GBS, além de ferramentas adicionais como Ecotec, Vasari e o código de cálculo de carga de aquecimento dado pela norma ISSO 12831. A partir dos resultados, o autor aborda os passos principais para atingir os objetivos de trazer o conceito de Construção de Energia Zero (Net-zero-Energy-Building), começando pela redução das demandas de água e energia através de métodos passivos evitando transferência excessiva de calor, além de um sistema de sensores integrados para melhor controle de luzes, ar condicionado e cronograma de ocupação. Posteriormente, é avaliada a instalação de geração distribuída por painéis solares fotovoltaicos monocristalinos, atingindo uma produção de 1.280.000,00 kWh/ano.
Holistic system architecture for energy efficient building operation	Avalia a relação entre análise BIM e BEM, por meio da integração dos dados extraídos do modelo de informação (elaborado no software Revit) e os valores obtidos pelo sensoriamento, os quais são encaminhados a um plugin programado em java que destina a correlação das informações para banco de dados e posteriormente interfaces gráficas para o usuário. Como conclusão, é visto que a iteração analisada fornece competências avançadas de gerenciamento e análise de informações multidimensionais, com o sistema conseguindo melhor desempenho do edifício, implementação de medidas de diagnóstico de falhas e desenvolvimento de rotinas de controle inteligente.
Integrated Project Delivery (IPD) for Maximizing Design and Construction Considerations Regarding Sustainability	Aborda o conceito de trabalho integrado como conceito central do BIM, citando as possibilidades de resultado quando utilizado desde o início do projeto. É feita uma pesquisa com 93 empresas, sendo 54 dos Estados Unidos e 39 do Reino Unido, obtendo assim os 18 maiores problemas em projetos tradicionais na visão de seus membros: contratantes e profissionais de engenharia e arquitetura. As informações obtidas mostram dificuldades que podem ser sanadas pelo trabalho colaborativo, que, segundo conclusão do autor, pode resolver problemas de projeto e construção em estágios iniciais do processo de design.

<p>Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the Architectural, Engineering and Construction industry: A systematic review</p>	<p>Levanta diversos estudos buscando encontrar o nexo Lean, BIM e sustentabilidade. Os autores mostram que os estudos acerca de construções limpas (Lean) tiveram grande crescimento, assim como sua relação com o BIM. A mesma realidade pode ser vista entre os temas sustentabilidade e BIM. Foram encontradas 21 formas teóricas de correlacionar os três temas, durante a fase de projeto e no processo de construção.</p>
<p>Is BIM Adoption Advantageous for Construction Industry of Pakistan?</p>	<p>Visaram levantar a opinião de profissionais sobre BIM no Paquistão avaliando os resultados de maneira quantitativa, concluindo que 27% das organizações AEC utilizam ou estão envolvidas com o BIM, sendo uma realidade em transição devido à uma maior consciência quanto aos benefícios que a plataforma pode trazer. Também cita-se a possibilidade de crescimento a partir de iniciativas de inclusão do BIM à grade curricular das universidades.</p>
<p>Life cycle assessment of energy conservation measures during early stage office building design: A case study in London, UK</p>	<p>É feito um estudo de caso com aplicação do BIM. São avaliadas informações energéticas e até a aplicação de solar em edifício comercial, com abordagem mais focada em resultados não demonstrando tecnicamente a análise solar fotovoltaica.</p> <p style="text-align: center;"><small>Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental</small></p>
<p>Lifecycle evaluation of building sustainability using BIM and RTLS</p>	<p>Para atender o objetivo de implementar LEED em uma edificação existente, fizeram a modelagem do local e inseriram informações em forma de tag, para posteriormente fazer a leitura por meio de softwares dentro da plataforma BIM. Foi desenvolvido um plugin para fazer a leitura destas tags de maneira a identificá-los no modelo e fazer o cálculo dos créditos ganhos do design e performance da edificação. Os autores trazem como trabalho futuro a coleta de dados durante as fases de construção e operação para refletir uma situação de construção sustentável na fase de “como construído” (as-built).</p>
<p>Modeling the performance of sustainable sanitation systems using building</p>	<p>O objetivo é aplicar BIM, Modelagem da Performance da Edificação (BMS) e Simulação Computacional (CS) em um sistema sanitário sustentável e avaliar o uso de sistema fotovoltaico para reduzir custos com energia elétrica. O estudo apresenta a forma como foi utilizado o software de modelagem</p>

information modeling	REVIT e o de análise energética GBS (Green Building Studio) e dá um organograma de como intercomunicar ambos.
Multi-dimensional energy monitoring, analysis and optimization system for energy efficient building operations	Foi desenvolvido um sistema multi dimensional para analisar e otimizar sistemas para operações de eficiência energética. O objetivo do sistema desenvolvido é armazenar, integrar, analisar conjuntos de dados complexos a partir de múltiplas fontes de dados e informações, como dispositivos sensores com fio / sem fio (sensores e medidores) e ferramentas BIM. Os dados coletados dos dispositivos de detecção são classificados e categorizados pelas informações extraídas das ferramentas BIM e agregados para executar a análise multidimensional dos dados de desempenho do edifício para fornecer informações acionáveis para as ferramentas desenvolvidas personalizadas e apoiar os processos de tomada de decisão.
Structural sustainability appraisal in BIM	Verifica trabalhos que utilizam Interface de Programação de Aplicações (API) em programas de facilidades como extensão de ferramentas BIM. É apresentada uma proposta de extensão BIM para prover suporte a decisões de cunho estrutural e sustentável.
The Energy Efficiency Management at Urban Scale by Means of Integrated Modelling	Tem como objetivo identificar o gerenciamento de eficiência energética em escala urbana a partir do BIM, por meio de modelagem de sistemas MEP (a partir do software Revit MEP) uma edificação multiresidencial que terá seus dados exportados por gbXML para dois softwares de Modelo de Análise de Energia. O primeiro faz a análise da performance energética simplificada (Edilclima EC770), enquanto o segundo parte de um modelo detalhado (DesignBuilder) para calcular a performance em um regime transiente.
Utilization of building information modeling (BIM) in planning an adaptive reuse project of a Traditional Malay House (TMH)	Estudou-se o reuso de uma casa malaia tradicional com o planejamento de sua adaptação com modelagem a partir do software Revit para exportação das informações de envoltória ao programa GBS, que avalia 19 requerimentos LEED e mostra resultados com enfoque na luz solar e consumo energético a partir da rotação da edificação. Como aspectos positivos, a forma de apresentação dos resultados obtidos pelo programa GBS permitem que o operador da simulação verifique as informações analisadas pelo software para maior confiabilidade dos resultados.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 O BIM para instalações elétricas e solares

Embora os assuntos pertinentes a cada estudo dentro do espectro envolvendo instalações elétricas, BIM e geração solar fotovoltaica possam ter diferentes enfoques e resultados que não necessariamente abordem a integração das três modalidades projetuais, é possível observar a partir dos diferentes dados que existem caminhos a serem percorridos para o atendimento desta necessidade.

Iniciando pela modelagem, desde Eastman *et al.* (2011), já se anunciavam estudos de caso com parametrização da informação em modelos de construção, seja na transição do desenho em CAD 2D para o 3D parametrizado, como no projeto já iniciando em BIM. Certas dificuldades na modelagem são encontradas devido à limitações de software (Revit, Archicad e outros), não havendo o perfeito aproveitamento das informações inseridas durante a etapa de projeto, sendo assim necessário o desenvolvimento de *plug-in* ou uso de ferramentas para automação de atividades tais como *Dynamo* ou *Grasshopper 3D*.

No tocante ao planejamento da obra, existe comunicação entre softwares de gerenciamento de projetos (MS Project) e programas BIM 4D, sendo possível avaliar as diferentes etapas da obra, assim como representar de maneira gráfica o decorrer da obra.

Já nas etapas de listagem dos materiais e orçamentação, os resultados se mostram satisfatórios, com itens sendo catalogados ao longo de sua inserção dentro do modelo e suas informações podem ser lidas em outros softwares da cadeia BIM, a partir da exportação em IFC. Há a possibilidade de criação, dentro da etapa de modelagem, de certos parâmetros que serão utilizados para posterior leitura dentro das ferramentas de orçamentação, guiadas pela Estrutura Analítica de Projeto (EAP) da obra. Esta informação é levantada e correlacionada com os valores de cada item dentro do escopo da obra para obtenção do custo final.

O foco sustentável do empreendimento, verificado na etapa BIM 6D, possui algumas mazelas na comunicação entre modelo de construção e software de análise do desempenho da edificação, tendo como principal protocolo de troca o gbXML. Devido à grande carga de informações criadas durante a fase de delineamento das características da construção, vê-se necessário operar com modelos energéticos que

em síntese reduzem os dados ao mínimo entregável para etapas de verificação de índices diversos (iluminação, energia e etc). É nesse momento que se torna possível uma análise da geração solar fotovoltaica mais acurada, de olho no impacto de vizinhanças possam causar ao sistema, assim como alterações nos resultados dos equipamentos devido às angulações e orientações distintas devido ao posicionamento das placas na edificação.

Por fim, durante a etapa de gerenciamento das instalações, na fase pós-obra, há a conversação entre BIM e Modelos de Energia (BEM), com sensoriamento dos diversos elementos dinâmicos (líquidos, gases, energia, entre outros), dando mais recursos aos gerentes dos empreendimentos.

Deste modo, permite-se avaliar metodologias de trabalho dentro do BIM, com as variações dentro de softwares existentes no mercado. Eastman *et al.* (2011), apresenta soluções em tecnologia para atender modelagem, cronograma, orçamentação e verificação de interferências.

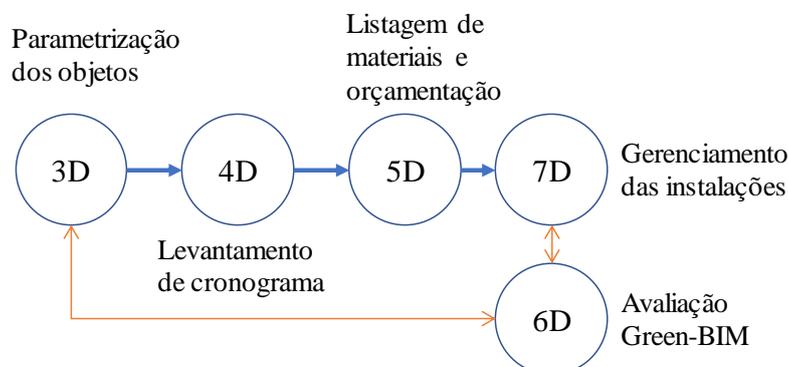
Dentro da esfera Green-BIM, a pesquisa de Wu *et al.* (2017), apresenta um arcabouço de softwares que visam atender os requisitos de sustentabilidade, de modo a se apresentar no aspecto 6D.

Por fim, apresenta-se, na Figura 1, um procedimento de trabalho para a troca das informações do modelo no BIM, dentro do âmbito das instalações elétricas e solares fotovoltaicas que iniciam na modelagem tanto dos componentes elétricos, quanto solares fotovoltaicos de maneira integrada à edificação durante a etapa de projeto. As parametrizações são inseridas nos objetos visando atender à EAP específica para a entrega da obra, deste modo tendo a utilidade de ser contabilizada na listagem de materiais e orçamentação. Deve-se tomar as etapas da execução da obra dentro da modelagem, para que durante a elaboração do cronograma de obras e planejamento por meio de softwares BIM, seja facilmente identificável e integrável à orçamentação por sequência da obra.

Em paralelo ao procedimento de ideação da edificação, deve-se criar modelos energéticos para exportação à programas de análise Green-BIM que permitem melhores tomadas de decisão no processo de *design*, com realimentação do modelo às conclusões obtidas durante as verificações. O gerenciamento de instalações então

é realizado concomitantemente com os resultados do 6D para reavaliação em relação à envoltória e características da edificação.

Figura 1 – Ordenação do processo BIM



Fonte: elaborado pelos autores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa, baseada em uma revisão sistemática foi elaborada afim de verificar como os estudos no período de 2008-2018 (outubro) têm abordado a problemática em torno da integração da elétrica e Sistemas Solares no BIM. Buscou-se entender quais são os métodos de trabalho aplicados, como as informações se correlacionam e quais softwares podem atender às necessidades tanto de um quanto de outro.

Constatou-se que há grande abrangência margeando o tema, com poucas abordagens diretas para correlacionar os sistemas elétricos e sistemas solares fotovoltaicos, tendo como principal foco a análise energética, sem avançar nos tópicos de orçamentação e escopo. Os avanços nesses artigos são pouco sucintos quanto à operação dos programas, tendo a necessidade de identificar melhor como ocorre o processo.

De outro lado, artigos mostram possibilidades e barreiras em pontos distintos durante a troca de informação entre modelagem e softwares de outras etapas (4D, 5D e 6D), assim como transcende no uso de BIM em infraestruturas, uso de informação para planejamento de cidades e sensoriamento para gerenciamento de facilidades.

Por fim, é feita uma análise das possibilidades apresentadas pelos artigos e estrutura-se formas de trabalhar dentro do BIM os sistemas solares fotovoltaicos e elétricos de maneira integrada, passando pelas diversas etapas do projeto.

Para novas pesquisas, vê-se a possibilidade de utilização de estudos de caso, evidenciando o processo de trabalho dentro das ferramentas computacionais, assim como deixando evidente o processo de trabalho para uma correlação direta entre BIM, Elétrica e Solar.

REFERÊNCIAS:

AZHAR, Salman., CARLTON, Wade A., OLSEN, Darren. and AHMAD, Irtishad. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis, **Automation in construction**, V.20, n. 2, p. 217-224, mar, 2011.

ALCANTAR. Daniel Martinez., M, Crisanto, Covarrubias., GONZÁLEZ, Javier Pedraza Oskar Javier., PACHECO, Jesús Ibarra J., RANGEL, Arista Jorge Alberto. Applied horizontal and vertical geothermal heat exchanger with heat pump system to provide air conditioning for an academic facility in Mexico. *In*: IEEE INTERNATIONAL AUTUMM MEETING ON POWER, ELECTRONICS AND COMPUTING (ROPEC), 11, 2016, Mexico. **Anals.** México, 2016. Disponível <https://ieeexplore.ieee.org/document/7830598/authors#authors>. Acesso: 2019.

AHMAD, T.; THAHEEM, M. J. Economic sustainability assessment of residential buildings: A dedicated assessment framework and implications for BIM. **Sustainable Cities and Society**, jan. 2018.

AZZOUZ, A.; BORCHERS, M.; MOREIRA, J.; MAVROGIANNI, A. Life cycle assessment of energy conservation measures during early stage office building design: A case study in London, UK. **Energy and Buildings**, V.139, p 547-568, jan. 2017.

RONZINO, A., OSELLO, A., PATTI, E., BOTTACCIOLI, L., DANNA, C., LINGUA, A., ACQUAVIVA, A., MACII, E., GROSSO, M., MESSINA, G. AND RASCONÀ, G. The energy efficiency management at urban scale by means of integrated modelling, **Energy Procedia**, Vol.83, p. 258-268, dez, 2015.

CHEN, L., LUO, H. A. BIM-based construction quality management model and its applications, **Automation in Construction**, V.46, p. 64–73, out, 2014.

COSTIN, A., ADIBFAR, A., HU, H. AND CHEN, S.S. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations, **Automation in construction**, V.94, p. 257-281, out, 2018.

DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, M. C., TAKAHASHI, R. F., BERTOLOZZI, M. R. Revisão sistemática: noções gerais, **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, Vol. 45, p.1260-1266, dez, 2011.

DONG, B., O'NIELL, Z. and LI, Z. A BIM – Enabled information infrastructure for building energy fault detection and diagnostics, **Automation in construction**, Vol.44, p. 197-211, ago, 2014.

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R. AND LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**, Wiley, 2008.

GHEFFARIANHOSEINI, A., ZHANGA, T., NWADIGO, O., GHAFARIANHOSEINI, A., NAISMITH, N., TOOKEY, J. AND RAAHEMIFAR, K. Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-ICKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, V.72, p. 935-949, mai, 2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**, Atlas, 2010.



GOURLIS, G. AND KOVACIC, I. Building Information Modelling for analysis of energy efficient industrial buildings – A case study, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, V.68, p. 953-963, fev, 2017.

GÖKÇ, H. U. and GÖKÇE, K. U. Multidimensional energy monitoring, analysis and optimization system for energy efficient building operations”, **Sustainable Cities and Society**, V.10, p. 161-173, fev, 2014.

HAMDI, O., Leite, F. BIM and Lean interactions from the bim capability maturity model perspective: a case study. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 01, 2012,EUA. **Anals.** EUA, 2012. Disponível em: <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-ea0d7906-966e-4714-a8d9-a18a445e0059.pdf> Acesso: 2019.

JONES, B. Integrated project delivery (IPD) for maximizing design and construction considerations regarding sustainability, **Procedia Engineering**, V.95, p. 528-538, 2014.

LU, Y., WU, Z., CHANG, R. and Li, Y. Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A Critical Review and Future Directions, **Automation in construction**, V.83, p. 134-148, nov, 2017.

MARCONI, M. A. AND LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**, Atlas, 2017.

MARZOUK, M. AND OTHMAN, A. Modeling the performance of sustainable sanitation systems using building information modeling, **Journal of Cleaner Production**, V.141, p. 1400-1410, 2017.

MASOOD, R., KHARAL, M.K.N. AND NASIR, A.R.C. Is BIM Adoption Advantageous for Construction Industry of Pakistan?, **ScienceDirect**, V.77, p. 229-238, 2014.

MOCERINO, C. Digital revolution in efficient self-organization of buildings: towards intelligent robotics, In: *Energy and Sustainability for Small Developing Economies (ES2DE)*, 07, 2018, Portugal. **Anal.** Portugal, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8494237> Acesso: 2019.

OTI, A. H., TIZANI, W., ABANDA, F. H., JALY-ZADA, A. and Tah, J. H. M. Structural sustainability appraisal in BIM, **Automation in Construction**, V.69, p. 44-58, 2016.

OTIA, A. H., KURULA, E., CHEUNGB, F. and Tah, J. 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.

SPIEGELHALTER, T. Energy-Efficiency Retrofitting and Transformation of the FIU-College of Architecture + The Arts into a Net-Zero Energy-Building by 2018, **ScienceDirect**, V.57, p. 1922-1930, 2014.

PORWAL, A. AND HEWAG, K. N. Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects, **Automation in construction**, V.31, p. 204-214, 2013.

RUSSELL-SMITH, S. V., LEPECH, M. D., FRUCHTER, R. and Meyer, Y. B. Sustainable target value design: integrating life cycle assessment and target value design to improve building energy and environmental performance, **Journal of Cleaner Production**, V.88, p. 43-51, 2015.

SACKS, R., TRECKMANN, M., ROZENFELD, O. Visualization of work flow to support lean construction, **Journal of Construction Engineering and Management**, V.135, p. 1307-1315, 2009.

SAIEG, P., SOTELINO, E. D., NASCIMENTO, D. and Caiado, R. G. G. 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.

STIP, F. J. F. A Standard Design Process for Sustainable Design”, **Sustainable Cities and Society**, V.52, p. 746-753, 2015.

GÖKÇE, H.U. and GÖKÇE, K.U. Holistic system architecture for energy efficient building operation, **Sustainable Cities and Society**, V.6, p. 77-84, 2013.

UGLIOTTI, F. M.; DELLOSTA, M. and Osell, A. BIM-Based Energy Analysis Using Edilclima EC770 Plug-In, Case Study Archimede Library EEB Project, **Procedia Engineering**, V.161, p. 3-8, 2016.

WANG, J., WANG, X., SHOU, W., CHONG, H. and Guo, J. Building Information Modeling – based integration of MEP layout designs and constructability, **Automation in construction**, V.61, p. 134-146, 2016.

ZHANG, C., CHEN, J. and Sun, X. (2014), “Lifecycle evaluation of building sustainability using bim and rtils”, *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, pp 3236-3247.

ZAINUDIN, H., HARON, N. A., BACHEK, S. H. and Jusoh, A. (2016), “Utilization of Building Information Modeling (BIM) in Planning an Adaptive Reuse Project of a Traditional Malay House (TMH)”, *2016 22nd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM)*. pp. 1-7.

KHOSHANAFA, S., ROSTAMI, R. and Kiani, I. Application of softwares in green and sustainable construction – a case study in Malaysia, **Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences**, V.15, p. 425-432, 2013.

DADHICH, P., GENOVESE, A., KUMAR, N. and Acquaye, A. Developing sustainable supply chains in the UK construction industry: a case study, **International Journal of Production Economics**, V.164, p. 271-284, 2015.

AHUJA, R., SAWHNEY, A. and Arif, M. Driving lean and green project outcomes using bim: a qualitative comparative analysis, **International Journal of Sustainable Built Environment**, V.6, p. 69-80, 2017.

ALWAN, Z., JONES, P. AND HOLGATE, P. Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using building information modelling, **Journal of Clean Production**, V.40, p. 349-358, 2017.

