



SBQP 2023

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
QUALIDADE DO PROJETO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Sustentabilidade e Responsabilidade Social
no Projeto. Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU) da
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).
De 16 a 18 de Novembro, Pelotas, RS, Brasil.

APLICAÇÕES DA FABRICAÇÃO DIGITAL E BUILDING INFORMATION MODELING: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA¹

BORTOLOTTI, Eduardo (1); BORTOLINI, Rafaela (2); DALLA VECHIA, Luisa (3);

(1) Universidade Federal de Pelotas, eduardo.ductra@gmail.com

(2) Universidade Federal de Pelotas, bortolinirafaela@gmail.com

(3) Universidade Federal de Pelotas, luisafelixd@gmail.com

RESUMO

Building Information Modeling (BIM) é uma abordagem metodológica que apresenta avanços significativos na gestão da informação nas etapas de projeto, gerenciamento, planejamento e manutenção de uma edificação. No entanto, a construção civil pouco inova em tecnologias e processos de fabricação, comparado a outras indústrias. A Fabricação Digital (FD) prospera com novas ferramentas, que vão desde a impressão tridimensional até o corte controlado numericamente por computador. Este trabalho visa analisar a lacuna de conhecimento acerca de como a aplicação da fabricação digital pode ser associada ao BIM na arquitetura. A metodologia foi fundamentada na Revisão Sistemática de Literatura.

Palavras-chave: Arquitetura. Fabricação Digital. BIM

ABSTRACT

Building Information Modelling (BIM) is a methodological approach that shows advances related to information management in the project, management, and maintenance phases of a building. However, the construction industry barely innovates in technologies and fabrication processes, in comparison to other industries. In this context, the Digital Fabrication (DF) thrives with new production tools, from 3D printing to Computer Numeric Control. This paper aims to analyse this gap in knowledge about how digital fabrication can be associated with BIM in architecture. The methodology was grounded on the Systematic Review of Literature.

Keywords: Architecture. Digital Fabrication. BIM.

1 INTRODUÇÃO

Building Information Modeling (BIM) é uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos virtuais de construção (EASTMAN; TEICHOLZ; SACKS, 2011). Além de permitir a visualização de soluções, a tecnologia BIM possibilita a otimização e validação de desempenho da construção.

¹ BORTOLOTTI, Eduardo; BORTOLINI, Rafaela; DALLA VECHIA, Luisa. Aplicações da Fabricação Digital e Building Information Modeling: Uma Revisão Sistemática. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2023, Pelotas. **Anais...** Pelotas: PROGRAU/UFPEL, 2023. p. 1-10. DOI <https://doi.org/10.46421/sbqp.v3i.3683>

(KASSEM; AMORIM, 2015).

Apesar do reconhecimento dos benefícios promovidos pelo uso de BIM, e do avanço na sua adoção, principalmente na fase de projeto, a construção civil é um dos setores que menos inova em tecnologias e alternativas construtivas, não acompanhando os avanços da sociedade contemporânea (NG; GRASER; HALL, 2021). Neste contexto de inovação, urge a Fabricação Digital (FD). A FD alia os meios de produção avançados, como a impressão tridimensional e o corte por *Computer Numeric Control* (CNC), ao design digital, prosperando à construção automatizada (KOLAREVIC, 2001). Poucos estudos utilizando BIM e FD são encontrados na literatura. Diante desta lacuna de conhecimento observada, se propõe uma revisão sistemática de literatura acerca do tema. A principal questão que se visa responder é como a fabricação digital, associada à arquitetura, pode ser introduzida nos processos de *Building Information Modeling*.

2 BIM NA FABRICAÇÃO DIGITAL

A industrialização da construção parte de conceitos como a racionalização: conjunto de ações que visam substituir as práticas convencionais por tecnologias baseadas em sistemas que buscam eliminar o empirismo das decisões. Nesse sentido, a essência da industrialização é produzir um objeto sem mão de obra artesanal, com máquinas utilizadas por operários especializados e em processos repetitivos e controlados por máquinas automáticas (RIBEIRO, 2002).

A Fabricação Digital (FD) surge como um potencializador da industrialização na construção, proporcionando uma maior eficiência nos processos construtivos (HE et al., 2021). Trata-se de um tipo de produção de objetos a partir de modelos digitais, cujos dados são enviados diretamente para equipamentos controlados numericamente, eliminando etapas intermediárias de produção (BORGES, 2016). Nesse modelo, após a fabricação dos componentes, estes podem ser montados com maior facilidade com o auxílio da tecnologia. Os modelos tridimensionais podem auxiliar para determinar a localização e facilitar a fixação de cada componente (KOLAREVIC, 2001).

A industrialização da construção civil está associada à necessidade de integração. Ou seja, assim como na maior parte das indústrias, a concepção de uma edificação industrializada deve ser compartilhada por muitos projetistas (RIBEIRO, 2002). Nesse contexto, a tecnologia BIM promove essa necessária integração e compartilhamento de informações, pois abrange desde os processos de concepção de projeto, análises de eficiência, documentação, como também o controle e planejamento de obra, gerenciamento e manutenção na fase de pós-ocupação (SUCCAR, 2009). Incorporando ferramentas BIM nos processos de FD, é tangível obter redução nas incertezas construtivas (HE et al., 2021). Tal fator provém da multidisciplinaridade entre os colaboradores, fabricantes e executores. O design integrado fomenta melhores decisões de coordenação e tomadas de decisões acerca da gestão do ciclo de vida do produto (SUCCAR, 2009; ZANNI; SOETANTO; RUIKAR, 2017).

Atualmente, a não disseminação do uso de BIM junto da fabricação digital pode ser elencada por dois fatores: não há aprofundamentos na definição e criação de critérios de validação sobre o processo do ciclo de vida da fabricação digital; as limitações entre contratos e participantes influem no desenvolvimento de um objeto BIM compartilhado. Ao adentrar na questão do ciclo de vida, o processo de FD engloba as fases de design básico, etapas de aquisição dos materiais, pré-fabricação até os esforços de instalação e manutenção. Contudo, a falta de

aprofundamento é encontrada na quantidade de projetos que incorporam todas as fases citadas no ciclo de vida de um objeto fabricado digitalmente (HE et al., 2021; (BUSWELL et al., 2007).

3 METODOLOGIA

Uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) identifica, avalia e interpreta todas as pesquisas relevantes a determinado tema, questão ou área específica. A RSL permite ao pesquisador obter dados acerca de fenômenos em uma vasta ramificação de perfis e métodos empíricos. Caso os estudos resultem em dados significativos, é possível evidenciar a importância do fenômeno (ZAZIREJ; ŠTEMBERK; PETŘÍK, 2021).

A metodologia adotada neste trabalho seguiu uma delimitação rigorosa acerca dos procedimentos da RSL a serem adotados, sendo eles: (a) planejamento da revisão, fase de concepção do protocolo a ser seguido na etapa seguinte; (b) condução da revisão; (c) análise dos resultados (KITCHENHAM, 2004; MACHADO; RUSCHEL, 2018).

3.1 Planejamento da revisão e condução da revisão

O objetivo desta RSL é identificar, analisar e sintetizar procedimentos e estudos que interconectem os temas de *Building Information Modeling* e fabricação digital. Ao propor a inter-relação dos temas, surge a problematização a ser respondida na pesquisa: como a fabricação digital associada a arquitetura pode ser introduzida nos processos BIM.

Para as estratégias de pesquisa, foram delimitados alguns critérios de busca: publicações em periódicos científicos ou anais de eventos; disponibilidade de acesso em meio eletrônico. Inicialmente, uma pré-investigação por artigos na língua portuguesa foi conduzida, entretanto, não houve resultados significativos, fazendo com que se optasse pela língua inglesa.

As bases de dados selecionadas para a coleta dos documentos foram os indexadores: Scopus, Science Direct, ASCE Library e Google Scholar. Ainda relacionada à busca documental, foram delimitados os critérios de inclusão e exclusão. Para a categoria de inclusão os itens podem ser elencados em: associação entre BIM e fabricação digital, mediante o uso da combinação dos termos "BIM", "*Building Information Model*", "*Building Information Modeling*" com "Digital Fabrication" no título, resumo ou palavras-chaves. Já os critérios exclusivos são: trabalhos repetidos; pesquisas que abordavam brevemente um dos temas e avaliação realizada por meio da leitura do resumo. Diversas publicações apresentavam os termos BIM e FD nas palavras-chave, porém os resultados estavam focados a apenas um dos campos, não trazendo a ênfase na troca de informações entre os processos, objetivo desta pesquisa. Após esta etapa inicial, se fez a extração dos dados mediante a leitura analítica dos resultados, expressos em forma de formulário, apresentados na tabela 1, permitindo a compreensão das relações entre os artigos, e suas categorizações em eixos temáticos.

Tabela 1 – Formulário analítico.

Parâmetros	Aplicação da busca			
Base de dados	Scopus	Science Direct	Asce Library	Google Scholar
Campo de busca	Title	Title		
	Abstract	Abstract	Anywhere	Title
	Keywords	Keywords		
Tipo de publicação	Article	Research Article	Chapter	
	Conference Paper		Proceedings Papers	-
Resultados	25	42	14	9
Eliminados por outros critérios (língua, acesso)	5	0	0	4
Publicações por base	20	42	14	5
Total				81
Eliminação por repetição				7
Resultantes				74
Eliminados por critérios de exclusão				62
Total				12

Fonte: Autores, 2023.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados relativos ao tema são escassos. Após a leitura dos resumos de cada artigo, foi possível perceber que grande parte do material compilado não apresentava aprofundamento em BIM ou fabricação digital. As publicações traziam a metodologia BIM como referencial ou contextualização para os processos de fabricação digital, não fazendo o uso do sistema BIM para os processos de manufatura através da FD. Como consequência, a quantidade total de amostras analisadas, enquadradas nos parâmetros desta pesquisa, foram de doze publicações. Outro fator que chama a atenção é a grande maioria dos artigos serem do ano de 2020 e 2021 (figura 01). Tal fator mostra a relevância temática na atualidade.

Figura 01 - Número de publicações de acordo com o ano.



Fonte: Autores, 2023.

As análises (Tabela 2) permitiram uma classificação dos artigos conforme o nicho de cada um deles, visando uma melhor compreensão de cada segmento da interconectividade BIM e FD. Ademais, algumas publicações permeiam mais de um campo, classificadas em duplicidade. A classificação engloba 5 itens, que serão discutidos ao longo do presente artigo.

Tabela 2 – Classificação das publicações.

Nº	Título	Referência
1	<i>Experiments in integrating BIM, parametric design, digital fabrication, and interactive technology.</i>	WU; JENG, 2012.
2	<i>Procedural Building Information Modeling for Digital Fabrication.</i>	DRITSAS, 2015.
3	<i>BIM semantics for digital fabrication: A knowledge-based approach.</i>	HAMID; TOLBA; EL ANTABLY, 2018.
4	<i>Automated design and modeling for mass-customized housing. A web-based T design space catalog for timber structures.</i>	BIANCONI; FILIPPUCCI; BUFFI, 2019.
5	<i>A sustainable process for mass customization in the woodworking industry.</i>	PEREIRA; COELI, 2019.
6	<i>Early-design integration of environmental criteria for digital fabrication.</i>	AGUSTÍ-JUAN; HOLLBERG; HABERT, 2019.
7	<i>BIM-Based Digital Fabrication Process for a Free-Form Building Project in South Korea.</i>	LEE et al., 2019.
8	<i>Current surveying methods for the integration of additive manufacturing in the construction process.</i>	MABOUDI et al., 2020.
9	<i>The 3D printing challenge in buildings.</i>	PESSOA; GUIMARÃES, 2020.
10	<i>The Design and Construction Vision of Concrete Arch Structure Using Modern Technologies.</i>	ZAZIREJ; ŠTEMBERK; PETŘÍK, 2021.
11	<i>Digital fabrication, BIM and early contractor involvement in design in construction projects: a comparative case study.</i>	NG; GRASER; HALL, 2021.
12	<i>BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study.</i>	HE et al., 2021.

Fonte: Autores, 2023.

4.1 Construção e Compatibilização

Zazierj et al. (2021) explanam um modelo construtivo de um arco em blocos de concreto, realizado por meio de braços robotizados. A influência do BIM permite aos projetistas controlar e monitorar a forma durante a execução. Outro projeto que enfatiza as vantagens do BIM na geração de documentações, é a proposição de uma fachada em chapas metálicas perfuradas, com aproximadamente 2200m². Os responsáveis destacam que o uso de ferramentas de desenho paramétrico e BIM permitiram a sintetização da envoltória do edifício em segundos, interligando o

edifício existente com a proposição projetual (DRITSAS, 2015). A pesquisa para o desenvolvimento de uma sala de aula para 20 alunos também aplicou uso de *softwares* de desenho paramétrico nas fases de concepção, compatibilização e execução (WU; JENG, 2012).

Contrastando com o obstáculo encontrado pelo pesquisador anterior (DRITSAS, 2015), Lee et al. (2019) traz o ciclo projetual de elementos em forma orgânica, fabricados digitalmente, em um edifício localizado na Coreia do Sul. Como recurso para obter a precisão nos elementos a serem fabricados, o BIM foi implementado na etapa de design do projeto. Além da acurácia com o modelo construído, o processo permitiu a otimização do fluxo de trabalho. Os pesquisadores ressaltam a eficiência da integração BIM-Fabricação digital, ao aliar tecnologias automatizadas com resultados significativos, sem aumento na mão de obra ou tempo (LEE et al., 2019).

Com foco na interdisciplinaridade, Bianconi et al. (2019) propõe a criação de uma interface *online*, focada na customização em massa. O conceito de customização em massa está associado à flexibilidade de produtos personalizados, com custos acessíveis, comparados aos modelos tradicionais de produção. A contribuição de Bianconi et al. (2019), assim como Lee et al. (2019), que visa a interconexão das múltiplas fases de projeto de design e construção, avança ao entrar no âmbito do gerenciamento. A estratégia metodológica desenvolvida foca na integração das áreas do design e empresas de construção, através da FD. Para que seja possível a interoperabilidade entre os agentes, o BIM entra como facilitador, pois seus objetos e famílias são utilizados para compartilhar informações entre empresas e projetistas (BIANCONI; FILIPPUCCI; BUFFI, 2019).

4.2 Gestão de Projeto

Ng et al. (2021) introduziram, junto a FD, as potencialidades do *Early Contractor Involvement* (ECI), uma prática que diz respeito ao envolvimento inicial de empreiteiros no processo de design e concepção. O ECI visa a proporcionar racionalização econômica e troca de conhecimentos entre as partes envolvidas no projeto. Outra vantagem deste processo é a fácil integração com a fabricação digital, pois permite o *design-to-target*: desenvolvimento de produtos com potencial para constantes reduções de custos de fabricação durante seu período no mercado.

Os autores retratam a construção de uma parede cortina estrutural em aço, em uma edificação existente. O processo ocorreu com ênfase no ECI e no *Integrated Project Delivery* (IPD). Ao tratar do IPD, o cliente se mostrou interessado no desenvolvimento do projeto, visto que participava semanalmente das reuniões (NG; GRASER; HALL, 2021).

As equipes trabalharam em conjunto (ECI), com a constante troca de informações acerca da fabricação e da montagem. A fabricação digital foi introduzida no projeto como técnica responsável pela execução da estrutura em aço, no entanto, o tipo de procedimento usado não foi especificado no artigo. Ademais, a compilação de informações geométricas complexas e as conexões detalhadas em BIM, permitiram a implementação da FD baseada nos modelos 3D precisos (NG; GRASER; HALL, 2021).

4.3 Sustentabilidade na Construção

Maboudi et al. (2020) apresentam conceitos e definições generalistas acerca dos

processos e obstáculos referentes ao processo de fabricação de componentes a partir da impressão 3D. Uma contextualização voltada para aqueles que não possuem aprofundamento no tema. Já Agustí-Juan et al. (2019) aprofundam análises comparativas dos impactos ambientais na construção de elementos tradicionais com elementos fabricados a partir da impressão 3D.

A utilização de BIM facilita a análise de impactos ambientais durante o processo projetivo (AGUSTÍ-JUAN; HOLLBERG; HABERT, 2019). Tais impactos são avaliados com base em parâmetros que englobam a função primordial do elemento, materialidade, capacidade estrutural e funções integradas. Partindo do pressuposto de que a fabricação digital potencializa a redução na emissão de CO₂, Agustí-Juan et al. (2019) realizam um experimento de validação.

Os cientistas desenvolveram uma parede para avaliar as diferenças entre as metodologias construtivas. Nos primeiros dois estágios de desenvolvimento, o enfoque foi a criação do modelo tridimensional e a definição da finalidade de artefato, atribuído o valor de parede vedante externa em concreto. O BIM foi introduzido com maior ênfase nos estágios três e quatro da pesquisa, etapas voltadas à investigação acerca da especificação da materialidade. Os resultados analisados no próprio programa BIM, mostraram que no comparativo entre uma parede fabricada digitalmente com o modelo tradicional, o percentual de otimização foi de 46% de GWP, impedindo que 68,36 KgCO₂/m² fossem eliminados na atmosfera (AGUSTÍ-JUAN; HOLLBERG; HABERT, 2019).

4.4 Inovação na Construção com Impressão 3D

A sessão se diferencia da categorização anterior, pois não enfatiza os impactos ambientais da impressão 3D, mas sim nos resultados, potencialidades e desafios impostos pela técnica. Os maiores desafios na implementação do uso da impressão 3D na produção de edificações estão vinculados à produção das misturas cimentícias, segurança, sistemas complementares e resposta do local. Além disso, questões de isolamento térmico-acústico, permeabilidade e resistência ao fogo são apontamentos que estão em teste e experimentação. Ao entrar nos sistemas complementares, outros itens são apontados como desafios na implementação e compatibilização entre BIM e FD. Os questionamentos são acerca da exequibilidade das instalações das redes de abastecimento de água, esgoto e energia elétrica, bem como os sistemas de aquecimento e resfriamento. Deste modo, a fase de implementação da impressão 3D na execução de edificações ainda se encontra em fases de prototipagem em escala reduzida e obras com o caráter de experimentação, para a validação da metodologia (PESSOA; GUIMARÃES, 2020).

He et al. (2021) trabalham com a implementação do uso de BIM na fabricação digital de casas modulares. A criação do projeto arquitetônico começa com a criação de módulos padronizados conforme a referência disponível no mercado, contendo informações de geometria, dimensão e materialidade. O agrupamento destes módulos, em ambiente BIM, gera a planta baixa da edificação, posicionamento de esquadrias e portas, informações como altura de gesso e funcionalidade dos espaços. Após a etapa de geração da edificação, o modelo tridimensional é exportado, em formato IFC, para a prototipagem em escala por meio da impressão 3D.

4.5 Fabricação de Mobiliário

Ao entrar no âmbito do BIM na fabricação de móveis, é possível observar dois fenômenos estudados: modulação proporcionada pelos *softwares* e preocupação em compatibilização dos dados com o maquinário de corte CNC. BIM oferece múltiplas informações para a customização de modelos. Tal característica é fundamental ao ser implementada na criação de mobiliário, tendo em vista a variabilidade nas dimensões dos ambientes e necessidades individuais. Outro fator a ressaltar é a otimização comunicativa entre fabricantes e projetistas, pois o responsável pelo projeto já possui acesso às especificações e modulações pré-estabelecidas pelo fabricante, as adaptando a cada projeto nos moldes da customização em massa (HAMID; TOLBA; EL ANTABLY, 2018; PEREIRA; COELI, 2019).

A fase de projeto do mobiliário é desenvolvida em *softwares* BIM. Logo após esta etapa, vem a exportação das informações do modelo aos programas específicos para o corte CNC, usando o artifício da interoperabilidade entre modelos BIM e máquinas da FD. No entanto, ao realizar protótipos, os pesquisadores (HAMID; TOLBA; EL ANTABLY, 2018) perceberam alguns itens que devem ser aprimorados futuramente. O primeiro está relacionado a complexidade dos parâmetros, pois houve redução significativa nas performances dos computadores. O segundo, está associado a interoperabilidade entre ferramentas BIM e programas de corte CNC. Os projetistas necessitaram abrir internamente a modulação de todos os armários, no *software* BIM, com o intuito de gerar os arquivos individuais em formato neutro (HAMID; TOLBA; EL ANTABLY, 2018).

5 DISCUSSÃO

Com base na pesquisa e no estudo supracitado, foram apontadas as potencialidades de integração de ferramentas com tecnologia BIM e a fabricação digital. Nos itens Construção e Compatibilização, Gestão de Projetos e Sustentabilidade na Construção é tangível a visualização dos avanços ligados ao uso das novas ferramentas de produção. As potencialidades no uso da tecnologia BIM associada à construção civil, incidem fatores como otimização de custo, controle de logística, planejamento de layout e também uma atuação fora do canteiro de obras, pois os projetos não são realizados *in loco*. No contexto BIM, a fabricação digital contribui nas operações de mutualidade do potencial em inovação nos materiais da construção, na customização em massa, na precisão e na agilidade. Em conjunto, estas duas tecnologias colaboram para a redução de incertezas construtivas e melhores decisões de coordenação e tomadas de decisões de projeto e de execução.

Ademais, os itens 4.4 e 4.5 apresentam fatores de inovação associados ao sistema produtivo, voltados para o uso em conjunto dessas tecnologias ao conceito de customização em massa. Esse conceito trata sobre a produção de artefatos personalizáveis às necessidades dos usuários finais, fabricados aos mesmos custos de uma produção em massa. Portanto, seria possível produzir dezenas de componentes (ex.: brises) e residências com diferenças que as tornam únicas, sem aumentar o custo de produção. Tal fator, visa proporcionar maior identidade, funcionalidade e exclusividade a cada projeto.

Apesar das potencialidades citadas, também foram encontradas algumas incertezas relacionadas à fabricação digital, com maior ênfase nos processos de Inovação e Construção com impressão 3D e Fabricação de Mobiliário. Os pontos, tratados como incertezas no processo construtivo, são elencados em: fragilidade,

interoperabilidade, desconhecimento do comportamento dos componentes no terreno e falhas de implementação. A fragilidade é relacionada principalmente à alguma possível vulnerabilidade nos materiais utilizados ou no encaixe destes. A resistência dos encaixes das peças produzidas pela FD é um dos pontos que requer testes especializados em laboratórios (PESSOA; GUIMARÃES, 2020). A interoperabilidade entre as tecnologias BIM e FD foi um dos pontos identificados nos estudos (DRITSAS, 2015; HAMID; TOLBA; EL ANTABLY, 2018) podendo ser um fator determinante caso ocorra alguma falha, sendo por isso tratada como incerteza no processo. A compatibilidade entre os arquivos é suscetível a erros na troca de informações, bem como o tamanho nos arquivos que tornam difícil a execução em qualquer computador e *software*. Ainda, o desconhecimento do comportamento dos componentes no terreno, apontado por Pessoa e Guimarães (2020), se relaciona com a provável eficiência ou ineficiência de inovação dos materiais. Caso não ocorra estudos aprofundados, algumas inseguranças podem ocorrer na execução do projeto. Tais inseguranças são relacionadas ao processo de execução em escala real do artefato, deslocamento do maquinário, sistema de troca de informações entre equipes e programas usados pelos equipamentos.

6 CONCLUSÃO

Esta Revisão Sistemática de Literatura mostra como a FD, associada a arquitetura, pode ser introduzida em processos BIM. As ferramentas BIM permitem que os arquitetos validem suas ideias antes da execução, compreendendo o processo construtivo e criação dos componentes do artefato, que irão ser executados por meio de máquinas de alta tecnologia. Além de permitirem ao cliente maior confiança associada à exequibilidade, possibilitam a visualização para terceiros na etapa da construção, que muitas vezes se torna um obstáculo quando a equipe responsável propõe formas complexas. Outro fator que vale destacar é a análise do impacto ambiental que é tangível ser observada, permitindo a validação da melhor escolha nos materiais e formas a serem empregados.

No entanto, por se tratar de tecnologias ainda experimentais e em fase de teste, é comum a complexidade e falha na interoperabilidade dos dados originados de ferramentas BIM para determinados equipamentos de produção digital. Cabe aos pesquisadores desenvolverem novas técnicas que otimizem a utilização destes processos, tendo em vista as potencialidades formais e de inovações construtivas que a fabricação digital pode trazer à arquitetura.

REFERÊNCIAS

- AGUSTÍ-JUAN, I.; HOLLBERG, A.; HABERT, G. Early-design integration of environmental criteria for digital fabrication. **Proceedings of the 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2018**, p. 447–452, 2019.
- BIANCONI, F.; FILIPPUCCI, M.; BUFFI, A. Automated design and modeling for mass-customized housing. A web-based design space catalog for timber structures. **Automation in Construction**, v. 103, p. 13 – 25, 2019.
- BORGES, M. F. Fabricação digital no Brasil e as possibilidades de mudança de paradigma no setor da construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 79-91, out./dez. 2016. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000400106>Automation in Construction, v. 103, n. March, p. 13–25, 2019.
- BUSWELL, R. A. et al. Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction. **Automation in Construction**, v. 16, n. 2, p. 224–231, 2007.

- DRITSAS, S. Procedural building information modeling for digital fabrication. 20th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia. **Anais...Hong Kong**: 2015.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. **Bim Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2. ed. [s.l.] Wiley, 2011.
- EMMITT, S. Design management for sustainability. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 5, p. 3–4, 2009.
- EMMITT, S. Design management in architecture, engineering and construction: Origins and trends. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 5, n. 3, p. 27–37, 2010.
- HALL, D.; WHYTE, J. K.; LESSING, J. Mirror-breaking strategies to enable digital manufacturing in silicon valley construction firms: A comparative case study. **Construction Management and Economics**, p. 1–18, 2019.
- HAMID, M.; TOLBA, O.; EL ANTABLY, A. BIM semantics for digital fabrication: A knowledge-based approach. **Automation in Construction**, v. 91, n. October 2016, p. 62–82, 2018.
- HE, R. et al. BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, 2021.
- KASSEM, M.; AMORIM, S. R. L. **Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia**, 2015.
- KITCHENHAM, B. Procedures for Performing Systematic Reviews, Version 1.0. **Empirical Software Engineering**, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.
- KOLAREVIC, B. Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age. **19th eCAADe Conference Proceedings**, n. Architectural Information Management, p. 117–123, 2001.
- MABOUDI, M. et al. Current surveying methods for the integration of additive manufacturing in the construction process. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 43, n. B4, p. 763–768, 2020.
- MACHADO, F. A.; RUSCHEL, R. C. Soluções integrando BIM e Internet das Coisas no ciclo de vida da edificação: uma revisão crítica. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 9, n. 3, p. 240–258, 2018.
- NG, M. S.; GRASER, K.; HALL, D. M. Digital fabrication, BIM and early contractor involvement in design in construction projects: a comparative case study. **Architectural Engineering and Design Management**, p. 1–17, 2021.
- PEREIRA, S. M.; COELI, R. R. A sustainable process for mass customization in the woodworking industry. **Sustainable Construction Materials and Technologies**, v. 1, n. January, 2019.
- PESSOA, S.; GUIMARÃES, A. S. The 3D printing challenge in buildings. **E3S Web of Conferences**, v. 172, p. 1–7, 2020.
- RIBEIRO, Marcellus Serejo. A Industrialização como Requisito para a Racionalização da Construção / Marcellus Serejo Ribeiro. Rio de Janeiro: UFRJ / PROARQ / FAU, 2002. iii, 93p.
- SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.
- WU, T.; JENG, T. Experiments in integrating bim, parametric design, digital fabrication, and interactive technology. **CAAD Curriculum**, v. 1, p. 49–54, 2012.
- ZANNI, M. A.; SOETANTO, R.; RUIKAR, K. Towards a BIM-enabled sustainable building design process: Roles, responsibilities, and requirements. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 13, n. 2, p. 101–129, 2017.
- ZAZIREJ, S.; ŠTEMBERK, P.; PETŘÍK, M. The design and construction vision of concrete arch structure using modern technologies. **AIP Conference Proceedings**, v. 2322, n. February, 2021.