

**Jadson Aiuck Oliveira Moura
Marcos Vinícius Medeiros Galvão**

IMPACTOS E DESAFIOS DA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho monográfico, submetido ao Centro universitário de Excelência de Vitória da Conquista-BA, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 30/06/2024

Jefferson Lira Santos
Orientador: Profº Dr. Jefferson Lira Santos
Centro Universitário de Excelência

Emílio Augusto de Queiroz Veloso
Avaliador: Profº Esp. Emílio Augusto De Queiroz Velos

Paulo Eduardo Soares Andrade Filho
Avaliador: Profº Msc. Paulo Eduardo Soares Andrade Filho



ATA DE DEFESA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE EXCELÊNCIA - Unex

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Nome do Professor Orientador
Jefferson Lira Santos
Nomes dos Estudantes Orientandos
Jadson Aiuck Oliveira Moura
Marcos Vinicius Medeiros Galvão
Título do Trabalho de Conclusão de Curso
IMPACTOS E DESAFIOS DA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL
Nome dos professores da banca examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso
1. Jefferson Lira Santos
2. Emilio Augusto De Queiroz Velois
3. Paulo Eduardo Soares Andrade Filho

Após análise do trabalho apresentado, a Banca Examinadora composta pelos professores acima identificados, considerou:

() APROVADO

() APROVADO COM RESSALVAS () REPROVADO

*Será aprovado o Trabalho de Conclusão de Curso que obtiver somatório igual ou superior a 70 (setenta).

O resultado aprovado com ressalvas conduz o TCC a um processo de correção dos aspectos apontados como falhos pela banca examinadora. Para realizar as adequações sugeridas, os estudantes terão um prazo máximo de 10 (dez) dias corridos, a partir deste dia. Após a versão final, deve ser solicitado o procedimento de depósito, para disponibilidade no Repositório Institucional da Rede Unex.

Data: 19/06/2024

Nota: 95 (de 0 a 100)

Assinaturas:

Professor Orientador Dr. Jefferson Lira Santos	Professor Membro da Banca Esp. Emilio Augusto De Queiroz Velois	Professora Membro da Banca Msc. Paulo Eduardo Soares Andrade Filho



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE EXCELÊNCIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

IMPACTOS E DESAFIOS DA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

IMPACTS AND CHALLENGES OF 3D PRINTING IN CONSTRUCTION

Jadson Aiuck Oliveira Moura;¹
Marcos Vinícius Medeiros Galvão;²
Jefferson Lira Santos.³

RESUMO

Este estudo investiga o impacto da tecnologia de impressão 3D na indústria da construção civil, diante dos desafios enfrentados pelo setor, como alto investimento inicial, custos crescentes, sustentabilidade e carência de mão de obra qualificada. A impressão 3D surge como uma inovação promissora, prometendo revolucionar a construção ao aumentar a eficiência, reduzir custos, melhorar a sustentabilidade e impulsionar a inovação. Esta tecnologia permite a fabricação rápida e precisa de estruturas complexas, minimizando o desperdício¹ de materiais e viabilizando designs arquitetônicos inovadores. No entanto, sua implementação enfrenta implicações técnicas, regulatórias e de aceitação na indústria, incluindo questões de qualidade e durabilidade das estruturas impressas, adaptação de regulamentações existentes e aceitação por profissionais da construção. Uma análise aprofundada fornecerá *insights* valiosos para profissionais, legisladores e pesquisadores, contribuindo para uma compreensão mais valiosa do papel da impressão 3D e seu impacto no futuro da construção civil.

Palavras chave: Impressão 3D; Eficiência construtiva; Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study investigates the impact of 3D printing technology on the construction industry, given the challenges faced by the sector, such as high initial investment, rising costs, sustainability, and a shortage of skilled labor. 3D printing emerges as a promising innovation, poised to revolutionize construction by increasing efficiency, reducing costs, improving sustainability, and driving innovation. This technology enables the rapid and precise fabrication of complex structures, minimizing material waste and making innovative architectural designs feasible. However, its implementation faces technical, regulatory, and acceptance implications within the industry, including issues

¹ Discente do curso de Jadson Aiuck Oliveira Moura do Centro Universitário Unex de Vitoria da Conquista (Unex/BA), e-mail: jadsonaiuck.2015@gmail.com.

² Discente do curso de Marcos Vinícius Medeiros Galvão do Centro Universitário Unex de Vitoria da Conquista (Unex/BA), e-mail: marcosgalvao029@gmail.com

³ Professor Orientador Jefferson Lira Santos do Centro Universitário Unex de Vitoria da Conquista (Unex/BA), e-mail: lira.santos1@ftc.edu.br

related to the quality and durability of printed structures, adaptation of existing regulations, and acceptance by construction professionals. An in-depth analysis will provide valuable insights for professionals, policymakers, and researchers, contributing to a more valuable understanding of the role of 3D printing and its impact on the future of construction.

Keywords: 3D Printing; Construction efficiency; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, a construção civil tem enfrentado uma série de desafios que têm impactado significativamente o setor. Entre os principais problemas destacam-se a escassez de mão de obra qualificada, o aumento dos custos dos materiais de construção, e a necessidade de reduzir o impacto ambiental das obras. Segundo pesquisa de Silva *et al.* (2021), a falta de profissionais qualificados tem levado a um aumento de até 15% nos custos de construção devido a atrasos e retrabalhos. Além disso, de acordo com Santos e Oliveira (2019), os preços dos materiais de construção aumentaram em média 20% nos últimos cinco anos, impulsionados por flutuações econômicas globais e problemas na cadeia de suprimentos.

A necessidade de adoção de novas tecnologias na construção civil tornou-se cada vez mais evidente diante dos desafios contemporâneos enfrentados pelo setor. A crescente complexidade dos projetos, aliada à pressão por maior eficiência e sustentabilidade, demanda soluções inovadoras. De acordo com pesquisa de Li *et al.* (2019), a integração de tecnologias digitais, como *Building Information Modeling* (BIM), tem demonstrado potencial para aumentar a precisão e a eficiência na gestão de projetos, reduzindo custos e prazos de execução. Além disso, conforme apontado por Zhang *et al.* (2020), a automação e o uso de robótica na construção têm o potencial de melhorar a segurança no local de trabalho e a qualidade das construções, ao mesmo tempo em que enfrentam a escassez de mão de obra qualificada.

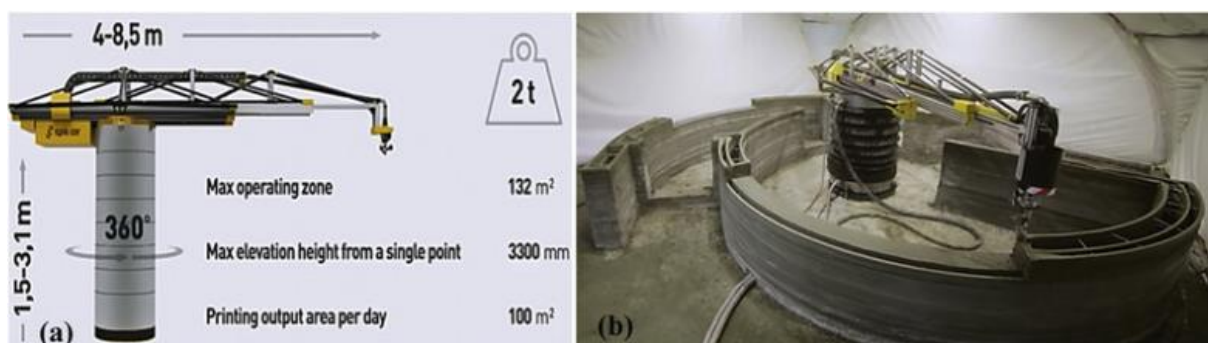
A pressão por práticas sustentáveis também tem sido um desafio significativo. Almeida *et al.* (2020) destacam que a construção civil é responsável por cerca de 39% das emissões globais de carbono, e a necessidade de reduzir esse impacto tem levado a uma busca intensa por materiais e métodos de construção mais sustentáveis.

A adoção de tecnologias inovadoras, surge como uma solução promissora para esses problemas. Segundo estudos de Lima *et al.* (2022), a impressão 3D pode reduzir o desperdício de material em até 60%, além de permitir a utilização de materiais recicláveis e locais, diminuindo o impacto ambiental e os custos logísticos. A implementação dessa tecnologia não apenas pode mitigar os desafios atuais, mas também promover um avanço significativo na eficiência e sustentabilidade das práticas construtivas.

Autores como Salet e Bos (2017) destacam como a manufatura aditiva permite a fabricação de componentes estruturais complexos com geometrias personalizadas, proporcionando maior liberdade de design e eficiência construtiva. Le *et al.* (2019) exploram as opções de materiais, ressaltando a utilização de concretos especiais e misturas inovadoras para melhorar a durabilidade e a resistência das estruturas impressas.

O projeto da "Casa Apis Cor", representado na Figura 01, (Khoshnevis *et al.*, 2017), construída em 2017 pela empresa americana Apis Cor, em parceria com a incorporadora russa PIK, possui 38 metros quadrados, impressa em apenas 24 horas, utilizando uma impressora 3D móvel e concreto como material de construção. A impressora pode operar em um raio de 360 graus, permitindo uma construção contínua sem a necessidade de realocação frequente. Com uma capacidade de impressão diária de 100 metros quadrados e um peso total de 2 toneladas, incluindo uma área máxima de 132 metros quadrados e uma capacidade de elevação de até 3,3 metros.

Figura 01 - Apis Cor™ Impressora 3D e suas especificações e a impressora 3D robótica em ação



Fonte: Khoshnevis *et al.* 2017

No Brasil, a impressão 3D na construção civil alcançou um marco importante, em 2017, na cidade de Macaíba-RN, com a primeira casa construída pela *startup InovaHouse3D*. A residência de 66 m² foi impressa em apenas 48 horas (como mostrado na Figura 02), demonstrando a rapidez, eficiência e potencial da tecnologia para reduzir custos, desperdício e promover a sustentabilidade na construção. Este avanço notável ilustra como a impressão 3D pode revolucionar o setor, oferecendo novas possibilidades para a criação de estruturas habitacionais e outros empreendimentos de construção.

Figura 02: Estrutura da casa construída pela tecnologia 3D em de Macaíba-RN.



Fonte: Cimento Itambé, 13 de agosto de 2020.

Porém, a implementação bem-sucedida enfrenta desafios significativos, como questões de qualidade e durabilidade das estruturas impressas, adaptação das regulamentações existentes a essa tecnologia emergente e aceitação por parte dos profissionais da construção. Surge então um questionamento: quais são os impactos e desafios da implementação da impressão tridimensional na construção civil em termos de qualidade, durabilidade, regulamentação e aceitação pelos profissionais do setor?

Este estudo se justifica pela necessidade de compreender os desafios para a implementação dessa tecnologia, considerando os seus impactos socioeconômicos e oportunidades associadas à sua implementação. Além disso, a investigação se torna ainda mais relevante diante do contexto atual de rápida transformação tecnológica e da crescente demanda por práticas construtivas mais eficientes e sustentáveis. As informações obtidas nesta pesquisa podem contribuir para o avanço do conhecimento na área.

O objetivo deste estudo é analisar os impactos da tecnologia de impressão tridimensional na indústria da construção civil, abordando como essa tecnologia afeta os custos das construções, sua eficiência, além de avaliar sua viabilidade prática. A pesquisa investiga os desafios relacionados à durabilidade e qualidade das estruturas impressas, os investimentos iniciais e as adaptações às regulamentações em vigor. O estudo busca proporcionar uma visão abrangente do cenário atual da implementação da tecnologia 3D, compreendendo possíveis vantagens e obstáculos envolvidos na integração da impressão tridimensional na construção civil.

2. METODOLOGIA

Este estudo adotou uma abordagem mista de pesquisa, combinando elementos qualitativos e quantitativos, conforme o modelo de pesquisa proposto por Khoshnevis *et al.* (2019), que defende a complementaridade desses métodos para uma compreensão abrangente e aprofundada dos fenômenos investigados. Segundo Khoshnevis *et al.*, essa metodologia permite explorar os aspectos complexos de um problema, oferecendo uma visão mais completa e integrada.

Foi realizada uma revisão bibliográfica extensa para coletar e analisar dados de estudos anteriores. A pesquisa incluiu a consulta a bases de dados acadêmicas, artigos científicos, livros especializados e conferências relevantes. Para obter os dados, foram realizadas pesquisas em bancos de dados acadêmicos, incluindo *IEEE Xplore*, *ScienceDirect* e *Google Acadêmico*, em busca de artigos científicos relevantes. Além disso, foram considerados relatórios técnicos, documentos governamentais e estudos de caso. As palavras-chave utilizadas incluíram termos relacionados à impressão 3D na construção civil, como "construção 3D", "impressão 3D de edifícios" e "tecnologia de construção aditiva".

Para a análise qualitativa, foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica em bancos de dados acadêmicos, buscando artigos e estudos que apontassem os principais desafios inerentes à implementação da tecnologia 3D na construção civil. Os resultados obtidos foram apresentados em um quadro comparativo. Em seguida, esses dados foram discutidos de forma detalhada, com a apresentação de informações que corroboram as ideias fornecidas pelos autores, permitindo uma compreensão aprofundada dos obstáculos associados à adoção dessa tecnologia.

No tratamento e análise dos dados, os artigos publicados e análises de estudos de caso foram submetidos à análise de conteúdo, a fim de identificar temas e padrões emergentes relacionados à implementação. Os dados quantitativos, como custos de implementação e benefícios financeiros, foram analisados estatisticamente para identificar tendências e relações. Subsequente, realizou-se uma análise comparativa dos custos de construção de casas populares, avaliando os sistemas construtivos que utilizam impressoras 3D e alvenaria estrutural no Brasil.

O levantamento dos custos baseou-se nas premissas estabelecidas em Lima *et al.* (2020), estudo que adotou a região do estado do Tocantins como referência para a implantação do projeto. Assim, seguindo os princípios do estudo original, os custos diretos para a construção da casa no mesmo local foram atualizados. Para este comparativo, foi selecionado o projeto de habitação popular do tipo CP.1-2Q, com metragem de 34 m², da Caixa Econômica Federal.

Primeiramente, utilizou-se um projeto básico de casa térrea, disponível no Banco de Projetos da Caixa Econômica Federal, e dados do SINAPI de fevereiro de 2020. Com base nisso, foram elaborados os orçamentos para a construção de uma casa térrea com 34 m² de área construída (LIMA, *et al.* 2020, p.07). Levando em consideração o estudo inicial, os dados foram atualizados para refletir o cenário de 2024. Para isso, os valores foram reajustados com base no Índice Nacional de Custo de Construção-Disponibilidade Interna acumulado (INCC-DI) ajustado até fevereiro de 2024 (IBRE/FGV), resultando em um aumento de 28,8% no período.

Por fim, é importante reconhecer as limitações deste estudo. A disponibilidade de dados específicos sobre a implementação da impressão 3D na construção civil pode ser limitada, especialmente em relação a estudos de longo prazo e impactos sociais. Além disso, devido à diversidade da indústria da construção e às variações nas regulamentações e práticas em diferentes países, há limitações na generalização dos resultados para contextos específicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo, dados analisados revelam que a tecnologia de impressão tridimensional na construção civil possui um impacto significativo nos custos e na viabilidade

dos projetos. A análise demonstrou que a impressão 3D pode reduzir substancialmente os custos de mão de obra e materiais, além de minimizar o desperdício devido à sua precisão e eficiência.

A tecnologia também se mostrou viável para a execução rápida de projetos, oferecendo flexibilidade de design e possibilitando a criação de estruturas complexas de maneira mais eficiente do que os métodos tradicionais. No entanto, os dados indicam que a viabilidade econômica inicial pode ser um desafio, devido aos altos custos de investimento e à necessidade de adaptação às regulamentações e padrões de qualidade existentes.

Nas seções a seguir foi apresentado, através de quadros, dados comparativos referente aos custos de uma estrutura utilizando impressão 3D e o modelo convencional de construção, além de apresentar os desafios enfrentados por essa tecnologia.

Os resultados obtidos ao decorrer deste comparativo, revelaram que a construção de casas com impressão 3D apresenta vantagens significativas em relação à alvenaria tradicional, como maior velocidade de execução, redução de custos com mão de obra e desperdício de material, além da possibilidade de criar designs complexos e personalizados.

Para uma simulação de custo geral de uma obra utilizando o sistema de alvenaria estrutural, levando em consideração um projeto popular do tipo CP.1-2Q, com metragem de 34m², no Quadro 01, é apresentado os resultados de custos diretos baseado nos dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), utilizando também como referência o Índice Nacional de Custo de Construção - Disponibilidade Interna (INCC-DI), que mensura a variação do período de março de 2020 à fevereiro de 2024, período levado à análise devido ao fator pandemia. Na tabela, apresenta-se também o valor percentual de cada categoria pertinente da construção.

Quadro 01 – Adaptado – Custo do sistema construtivo em alvenaria estrutural, baseado nos dados do Sinapi para o estado do Tocantins no ano de 2020 e atualização para 2024.

Item	Descrição	Custo 2020 - R\$ (LIMA, <i>et al.</i> 2020)	Custo 2024 - R\$	Custo %
1	Paredes	R\$ 1.454,93	R\$ 2.043,14	5,4%
2	Fundação e Laje	R\$ 3.578,78	R\$ 5.027,02	13,4%
3	Esquadrias	R\$ 3.108,70	R\$ 4.366,71	11,6%
4	Revestimento	R\$ 4.949,60	R\$ 6.952,57	18,5%
5	Pavimentação	R\$ 2.248,39	R\$ 3.158,25	8,4%
6	Pintura	R\$ 3.706,58	R\$ 5.206,53	13,8%
7	Cobertura	R\$ 3.322,73	R\$ 4.667,35	12,4%
8	Instalações Hidráulicas e Sanitárias	R\$ 876,48	R\$ 1.231,17	3,3%
9	Instalações Elétricas, Tomadas e Iluminações	R\$ 2.074,17	R\$ 2.913,53	7,7%
10	Outros Gastos	R\$ 1.456,58	R\$ 2.046,02	5,4%
11	Custo total	R\$ 26.776,94	R\$ 37.612,29	100,0%
Variação percentual do INCC-DI no período				28,8%

Fonte: Autor 2024

Considerando o projeto analisado com área de 34 m², o custo inicial por metro quadrado foi de R\$787,55 segundo dados do IBGE para uma casa popular, com 1 pavimento, sala, varanda, 2 quartos, banheiro e cozinha (LIMA, *et al.*, 2020). Após a atualização dos valores com base no acúmulo do INCC-DI até fevereiro de 2024, o custo por metro quadrado para a construção de uma residência similar atingiu R\$1.106,24.

Ao examinar o aumento médio de cerca de 28,80% no período analisado, utilizando o INCC-DI como referência, observou-se que a eclosão da pandemia de COVID-19 impactou significativamente a cadeia produtiva global. Segundo artigo da Agência Brasil, redigido por Pedro Peduzzi, a construção civil foi particularmente afetada devido à forte influência dos preços das *commodities* nos insumos básicos utilizados no setor. O ano de 2020 foi marcado por uma alta 66,5% em relação a 2019. Além disso, a inflação no país, que atingiu 28,32% entre março de 2020 e fevereiro de 2024, segundo o IPCA do IBGE, também contribuiu para esse cenário. Esses aumentos expressivos nos preços dos insumos, como o aço utilizado na armação, essencial para a construção, refletem diretamente no custo final das obras.

Em contrapartida, foi fundamental considerar os custos relacionados à instalação da impressora e à mão de obra especializada. Para tanto, os dados utilizados na pesquisa, disponíveis no Quadro 02, referem-se às empresas ICON, WINSUN e APIS COR, utilizando dados de uma habitação popular, considerando também uma habitação de 34m², sintetizando informações sobre qualidade, custo e eficiência.

Quadro 02 - Síntese qualitativa das principais tecnologias de impressão 3D na construção civil, com foco no período de 2020 a 2024.

Marca	Referência	Nível de Acabamento	Custo 2020 (R\$) (LIMA, et al. 2020)	Custo 2024
ICON VULCAN	Laspeyres	Médio	R\$ 25.920,00	R\$ 36.406,12
WINSUN	Laspeyres	Médio	R\$ 21.600,00	R\$ 30.340,94
APIS COR	Laspeyres	Alto	R\$ 54.723,60	R\$ 76.898,76

Fonte: Autor 2024

O Quadro 02 revela que a tecnologia de impressão da WINSUN oferece um acabamento intermediário a um custo acessível. A ICON, por sua vez, apresenta um custo operacional 16,68% inferior ao da WINSUN, possivelmente devido a diferenças na eficiência individual de cada sistema. Já a APIS COR demonstra custos mais elevados, justificados pelo alto padrão de acabamento que proporciona.

Os resultados indicam que a metodologia empregada pela ICON, utilizando a impressora Vulcan, demonstrou ser a mais econômica em termos de custos de construção. Além disso, a impressora Vulcan oferece vantagens como a capacidade de imprimir uma casa em até 24 horas, diretamente no local da obra (ICON, 2024).

A comparação entre os métodos, ilustrada nos Quadros 01 e 02, está evidenciado no Quadro 03, uma discrepância significativa nos custos entre os métodos analisados. Essa diferença reforça a importância da escolha do método construtivo na composição dos custos totais e na viabilidade do empreendimento.

Quadro 03 - Análise comparativa dos custos estimados para a construção de uma casa popular de 34m².

Item	Alvenaria Estrutural	ICON VULCAN	WINSUN	APIS COR
Custo Total	R\$ 37.612,29	R\$ 36.406,12	R\$ 30.340,94	R\$ 76.898,76
Custo por m²	R\$ 1.106,24	R\$ 1.070,77	R\$ 892,38	R\$ 2.261,73

Fonte: Autor 2024

A análise demonstra uma redução significativa nos custos ao utilizar as impressoras da WINSUN (19,33%) e da ICON (3,20%) em comparação com o método construtivo de alvenaria estrutural. No caso da impressora APIS COR, devido ao seu foco em obras de alto padrão, o custo torna-se menos competitivo, apresentando um aumento de 104,4%. No entanto, em relação ao tempo de execução, a APIS COR pode se destacar em comparação com o método convencional de alvenaria.

Com base nos resultados da pesquisa, conclui-se que a implementação de impressoras 3D na construção, em comparação aos métodos tradicionais, oferece

benefícios significativos em termos de custos, sustentabilidade e tempo de execução. No entanto, a variação do dólar e a taxa Selic, influenciam diretamente a atratividade e a implementação dessa tecnologia no Brasil. A desvalorização do real frente ao dólar encarece a importação de equipamentos, enquanto a alta taxa de juros dificulta o financiamento para os empresários do setor, o que pode, em última análise, afetar a disseminação da tecnologia no país.

Apesar de um futuro promissor, é evidente que muitos desafios ainda precisam ser superados para que essa tecnologia esteja adaptada ao mercado e consequentemente implantada na área. O Quadro 04 apresenta um panorama geral das implicações enfrentadas pela impressão 3D na construção civil, apontando os principais tópicos observados pelos autores.

Quadro 04 - Análise comparativa dos principais desafios enfrentados pela Impressão 3D na Construção.

Autor(es) e Ano	Implicações	Detalhes analisados
Khoshnevis (2004)	Aceitação por profissionais da construção	Profissionais tradicionais podem resistir à adoção de novas tecnologias devido à falta de familiaridade e treinamento.
Buswell <i>et al.</i> (2007)	Qualidade e durabilidade das estruturas	A variabilidade na qualidade do material impresso pode afetar a durabilidade e a integridade estrutural.
Le <i>et al.</i> (2011)	Propriedades dos materiais	A necessidade de desenvolver misturas de concreto específicas que atendam aos requisitos de impressão 3D.
Lim <i>et al.</i> (2012)	Complexidade na integração com métodos tradicionais	A combinação de métodos de construção impressos e convencionais pode apresentar desafios logísticos e técnicos.
Gosselin <i>et al.</i> (2016)	Adaptação às regulamentações	A tecnologia ainda precisa ser integrada aos códigos e regulamentos de construção existentes.
Salet e Bos (2017)	Formação de mão de obra especializada	Há uma escassez de profissionais qualificados para operar e manter equipamentos de impressão 3D na construção.
Roussel <i>et al.</i> (2017)	Consistência na impressão em larga escala	Manter a consistência e precisão na impressão de grandes estruturas é um desafio técnico significativo.

Nguyen <i>et al.</i> (2020)	Necessidade de infraestrutura especializada	A impressão 3D exige equipamentos e infraestrutura que podem não estar disponíveis em todos os locais.
Lima <i>et al.</i> (2020)	Adaptação climática	A impressão 3D pode ser sensível a condições climáticas extremas, afetando a qualidade e a viabilidade do processo.

Fonte: Autor, 2024

Khoshnevis *et al.* (2019) e Kamarudin *et al.* (2018) apontam para questões técnicas como a garantia da qualidade das estruturas impressas e a necessidade de materiais apropriados que possam suportar as exigências mecânicas da construção, bem como os altos custos de investimento. Além disso, há preocupações com a durabilidade e a resistência das construções, especialmente em condições ambientais adversas (Mahmood *et al.*, 2019).

Os desafios técnicos relacionados à qualidade das estruturas impressas e à adequação dos materiais são críticos para a viabilidade da impressão 3D na construção civil. Enfrentar esses desafios exige uma combinação de avanços tecnológicos, um rigoroso controle de qualidade, além do desenvolvimento contínuo de novos materiais e técnicas. Os esforços entre pesquisadores, desenvolvedores de impressoras 3D, e a indústria da construção será essencial para enfrentar essas implicações e maximizar todo o potencial da impressão 3D no setor. Outro importante desafio inerente a implementação dessa tecnologia surge da necessidade de adaptação das regulamentações existentes para acomodar esse novo modelo de construção. Gosselin *et al.* (2016), aponta que a tecnologia ainda precisa ser integrada aos códigos e regulamentos de construção existentes; isso se dá pelo fato da construção civil ter um elevado nível de regulamentação, com normas que podem variar de acordo os órgãos regulamentadores de cada país.

Ao introduzir um novo modelo construtivo, com novas técnicas e materiais, estes podem não estar adequados às regulamentações atuais. Para que a tecnologia 3D possa ser implementada de acordo com as normas, os órgãos reguladores demandam certo tempo e esforços significativos. Além disso, torna-se necessário a certificação por autoridades competentes dos novos processos e materiais utilizados nesse modelo, o que inclui a certificação das técnicas e da própria tecnologia. As

desenvolvedoras das impressoras precisam juntar esforços de modo que os produtos sejam acreditados para um uso seguro e confiável.

Segundo Nguyen (2020), a impressão 3D na construção civil exige equipamentos e infraestrutura especializados que podem não estar disponíveis em todos os locais, representando um desafio significativo para a implementação global dessa tecnologia. A instalação e operação de impressoras 3D de grande porte necessitam de um ambiente controlado, acesso a materiais específicos e infraestrutura de suporte, como energia estável e sistemas logísticos para transporte de materiais e equipamentos. Essa implicação é especialmente agravada em regiões remotas ou em desenvolvimento, onde a infraestrutura pode ser limitada ou até mesmo inexistente.

Dados fornecidos pelo Banco Mundial apontam que muitas regiões em desenvolvimento ainda sobrevivem com infraestrutura básica, como eletricidade e transporte, o que dificulta a implementação de tecnologias avançadas como a impressão 3D. Além disso, um relatório desenvolvido pela McKinsey & Company (2019) sobre a adoção de tecnologias digitais na construção civil destaca que a falta de infraestrutura adequada é um dos principais entraves à inovação no setor. Para que este desafio seja superado, é necessário um investimento significativo em infraestrutura e logística, além de políticas governamentais que possam incentivar a modernização e a adoção de novas tecnologias. Programas de financiamento e parcerias público-privadas podem ajudar a viabilizar a implementação da impressão 3D em regiões com infraestrutura limitada.

A resistência dos profissionais da construção à mudança, como citado por Salet e Bos (2017), representa um significativo desafio à adoção da impressão 3D na construção civil. Esta resistência surge principalmente pelo apego a métodos tradicionais, pela não familiaridade com as novas tecnologias, além do medo de que essas inovações possam ameaçar empregos e processos já estabelecidos. Além disso, a introdução de uma nova forma de construir pode trazer implicações que vão além da simples adoção tecnológica, afetando desde o planejamento e a logística até mesmo a formação e capacitação de trabalhadores. A compreensão e o enfrentamento dessa resistência são vitais para a integração bem-sucedida da

impressão 3D no setor. Portanto, políticas educacionais e programas de treinamento são fundamentais para aliviar esses receios e preparar a força de trabalho para as futuras mudanças no modelo construtivo.

Para Lima, a impressão 3D na construção civil é sensível a condições climáticas extremas, o que pode afetar tanto a qualidade do produto entregue quanto a viabilidade do processo. Temperaturas extremas, umidade elevada e ventos fortes, são fatores que podem comprometer a precisão da impressão, a adesão entre as camadas e a cura dos materiais. Já em regiões com climas muito quentes, os materiais podem secar ou curar de maneira desigual, causando fissuras e fraquezas estruturais. Em ambientes úmidos, a absorção de água pelos materiais pode causar uma alteração em suas propriedades mecânicas, reduzindo a durabilidade e a resistência das estruturas.

Alguns dados revelados pela NASA sobre as variações climáticas globais apontam que muitas regiões do mundo estão sujeitas a condições climáticas extremas, com ondas de calor e alta umidade se tornando mais frequentes e intensas devido às alterações climáticas. Relatórios da *Construction Industry Research and Information Association* (CIRIA) também indicam que a construção em climas adversos requer tecnologias adaptadas e soluções inovadoras para garantir a qualidade e segurança das estruturas. Superar esses desafios, só seria possível com o desenvolvimento de novos materiais resistentes às condições climáticas extremas e a implementação de sistemas de controle ambiental que protejam o processo de impressão. Além disso, a adaptação de técnicas e o uso de impressoras móveis ou abrigos temporários podem ajudar a proteger os equipamentos e materiais e o processo de impressão contra os efeitos adversos do clima.

A pesquisa PwC (2018) revela que a escassez de mão de obra qualificada se configura como um desafio complexo e preocupante para as empresas com a falta de habilidades com a integração de novas tecnologias, incluindo a impressão 3D. Tendo em vista que, o mercado de trabalho para profissionais com qualificação em impressão, abrange diversos setores, como manufatura, saúde e aeroespacial. Portanto, a construção civil enfrenta a concorrência desses setores na atração de retenção de talentos, o que agrava a escassez de mão de obra qualificada.

Paralelamente, a demanda por profissionais com habilidades em impressão 3D está crescendo rapidamente. Relatórios de mercado, como o *Additive Manufacturing Salary Survey* de 2021, publicado pela Alexander Daniels Global, demonstram um aumento significativo na procura por esses profissionais capacitados. Essa escassez não interfere somente nos custos da empresa que busca adotar essa tecnologia, mas também limita a velocidade e escala com que a impressão possa ser implementada na construção civil, em especial no Brasil.

A escassez de profissionais qualificados na construção civil pode retardar a implantação de novas tecnologias, limitando a capacidade das empresas de aproveitar seus benefícios. Essa preocupação, destacada pela PwC e corroborada pelos dados da *Additive Manufacturing Salary Survey*, ressalta a importância de investir na capacitação profissional para impulsionar a adoção de tecnologias inovadoras no setor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste estudo, foi investigado a aplicação da tecnologia de impressão 3D na construção civil, explorando seus desafios, oportunidades e impactos potenciais com o objetivo de compreender como essa tecnologia está sendo adotada no setor da construção, suas vantagens percebidas e os desafios que enfrenta.

Os trabalhos consultados revelam uma tendência crescente na utilização da impressão 3D para a construção de estruturas de concreto, destacando sua capacidade de criar elementos estruturais personalizados e complexos. Além disso, foi evidenciado o potencial da integração da impressão 3D com outros processos digitais, como o *BIM*, para melhorar a eficiência e a precisão na construção. No entanto, foi identificado uma série de desafios significativos que precisam ser superados para uma adoção mais ampla da tecnologia. Questões como a qualidade das estruturas impressas, disponibilidade de materiais adequados, adaptação às normas regulamentadoras e custos de investimento, foram apontadas como obstáculos. Além disso, a sustentabilidade e a viabilidade econômica da tecnologia foram destacadas como áreas de preocupação que exigem atenção contínua.

Apesar dos desafios, acredita-se que o conhecimento gerado por este estudo pode contribuir significativamente para a área acadêmica e a sociedade. Ao destacar os potenciais vantagens e desafios, espera fornecer *insights* valiosos para pesquisadores, profissionais do setor e formuladores de políticas. Em relação aos objetivos da pesquisa, considera-se que foram alcançados em sua totalidade. No entanto, reconhece-se que a complexidade e a evolução rápida da tecnologia de impressão 3D apresentam desafios contínuos para a pesquisa e prática. No decorrer do estudo, algumas limitações foram encontradas, como a disponibilidade limitada de dados específicos e a necessidade de mais estudos de caso para validar os resultados. Esses aspectos podem ser aprimorados em pesquisas futuras para fornecer uma compreensão mais abrangente e atualizada do tema.

Em resumo, este estudo reforça a importância da tecnologia de impressão 3D como uma ferramenta promissora para a transformação do setor da construção civil. No entanto, destaca também a necessidade de abordar desafios significativos e garantir uma implementação sustentável e eficaz da tecnologia. Com esforços contínuos de pesquisa, colaboração entre o público estratégico e um compromisso com a inovação e a qualidade, acredita-se que a impressão 3D tem o potencial de revolucionar a maneira como é projetado, construído e vivido em ambientes edificados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, João; SILVA, Carlos; FERREIRA, Marcos. Impactos Ambientais da Construção Civil: O Papel da Sustentabilidade. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 15, n. 4, p. 287-299, 2020.

ALEXANDER DANIELS GLOBAL. Additive Manufacturing Salary Survey 2021. Birmingham: Alexander Daniels Global, 2021. Disponível em: <https://www.alexanderdanielsglobal.com/additive-manufacturing-salary-survey-2021/>. Acesso em: 5 jun. 2024.

BUSWELL, Richard A.; SOAR, Rupert C.; GIBB, Alistair G. F.; THORPE, Tony. Free-form Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for Construction. *Automation in Construction*, v. 16, n. 2, p. 224-231, 2007.

CIRIA. Construction in Adverse Weather Conditions: Technology and Solutions. London: CIRIA, 2022. Disponível em: <https://www.ciria.org/>. Acesso em: 5 jun. 2024.

GOSSELIN, Clay; DUBOIS, Amandine; BECKER, Richard; NAJJAR, Mounir; MOREL, Philippe; BOS, Freek; SALARIS, E.; MASTERS, I. Large-scale 3D Printing for Construction Applications. *Automation in Construction*, v. 69, p. 53-65, 2016.

KHOSHNEVIS, Behrokh. Automated Construction by Contour Crafting: Related Robotics and Information Technologies. *Automation in Construction*, v. 13, n. 1, p. 5-19, 2004.

KHSOSNEVIS, Behrokh; HOUTMAN, Allen. Contour Crafting of Large Scale Concrete Structures. In: *CONFERENCE ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS AND TECHNOLOGIES*, 2., 2010, Ancona. Proceedings [...]. Coventry: Taylor & Francis, 2010. p. 9-14.

KHOSNEVIS, Behrokh; HUMMEL, Kelly; YAO, Lingyun; DUNN, Collette. Additive Manufacturing of Engineered Properties of Ultra-high Performance Concrete (UHPC). *Additive Manufacturing*, v. 26, p. 40-45, 2019.

KHSOSNEVIS, Behrokh; *et al.* Contour Crafting Simulation Plan for Lunar Settlement Infrastructure Buildup. In: *CONFERENCE ON SYSTEMS ENGINEERING RESEARCH*, 15., 2017, Redondo Beach. Proceedings [...]. Redondo Beach: University of Southern California, 2017. p. 703-710.

LE, Thang; WONG, Tien-Fu; NG, Kar-Wing. Effect of Paste Composition on Cementitious 3D Printing Materials. *Construction and Building Materials*, v. 158, p. 623-631, 2018.

LIMA, Arthur; SOUZA, Rafael; PEREIRA, Thiago. Impressão 3D na Construção Civil: Análise Comparativa de Custos e Desafios. *Revista de Tecnologia e Inovação*, v. 12, n. 2, p. 45-58, 2020.

LIM, Sungmin; BUSWELL, Richard A.; LE, Thang; AUSTIN, Simon A.; GIBB, Alistair G. F.; THORPE, Tony. Developments in Construction-scale Additive Manufacturing Processes. *Automation in Construction*, v. 21, p. 262-268, 2012.

MAHMOOD, Al-Hadithi; HARBIN, John; ZHANG, Xiao; NASR, Zuhair. Evaluation of the Durability of 3D Printed Concrete. *Materials*, v. 12, n. 19, p. 3172-3185, 2019.

NASA. Global Climate Change: Vital Signs of the Planet. Washington, DC: NASA, 2022. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>. Acesso em: 5 jun. 2024.

NGUYEN, Vinh; HUYNH, Pham; LE, Thang. Climatic Adaptability of 3D Printed Construction in Hot and Humid Regions. *Journal of Building Engineering*, v. 32, p. 101584, 2020.

PwC. Workforce of the future: The competing forces shaping 2030. London: PwC, 2018. Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/services/people-organisation/publications/workforce-of-the-future.html>. Acesso em: 5 jun. 2024.

ROUSSEL, Nicolas; HALLER, Markus; KHSOSNEVIS, Behrokh. Toward Robotic Construction: On the Development of Cementitious Extrusion for 3D Printing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 40, p. 1-11, 2016.

SALET, Theo; BOS, Freek. 3D Concrete Printing: A Structural Engineering Perspective. *Concrete and Structures*, v. 6, n. 3, p. 33-39, 2017.

SANTOS, Paulo; OLIVEIRA, Maria. Impacto Econômico dos Materiais de Construção na Indústria Civil. *Revista de Economia e Gestão*, v. 17, n. 3, p. 112-126, 2019.

SILVA, João; MARTINS, Ana; LOPES, Miguel. Escassez de Mão de Obra Qualificada na Construção Civil. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento*, v. 7, n. 2, p. 45-59, 2021.

ZHANG, Ying; CHEN, Zhibin; ZHANG, Jin. Robotic Construction: Enhancing Safety and Quality. *Robotics and Autonomous Systems*, v. 125, p. 103402, 2020.