

**DIRETORIA DE ENSINO DO CAMPUS DE SALVADOR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES**

**JEMIMA VANESSA DA SILVA FERREIRA
LÍLIAN SANTOS PAIXÃO DOS ANJOS
MARIA EDUARDA PINHEIRO TELES**

**APLICAÇÕES, DESAFIOS E IMPACTOS CAUSADOS PELO USO DA
IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

**SALVADOR-BA
2024**

**JEMIMA VANESSA DA SILVA FERREIRA
LÍLIAN SANTOS PAIXÃO DOS ANJOS
MARIA EDUARDA PINHEIRO TELES**

**APLICAÇÕES, DESAFIOS E IMPACTOS CAUSADOS PELO USO DA IMPRESSORA
3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Edificações Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia — Campus Salvador, como requisito parcial à obtenção do título de Técnico em Edificações.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Regina Maria Cunha Leite

SALVADOR

2024

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

F383a Ferreira, Jemima Vanessa da Silva

Aplicações, desafios e impactos causados pelo uso da impressora 3D na construção civil: uma revisão de literatura / Jemima Vanessa da Silva Ferreira; Lílian Santos Paixão dos Anjos; Maria Eduarda Pinheiro Teles; orientadora Regina Maria Cunha Leite -- Salvador, 2024.

65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Edificações Integrado) -- Instituto Federal da Bahia, 2024.

1. Impressora 3D. 2. Construção civil. 3. Aplicações da impressora 3D. 4. Desafios. 5. Impactos da impressora 3D. I. Anjos, Lílian Santos Paixão dos, colab. II. Teles, Maria Eduarda Pinheiro, colab. III. Leite, Regina Maria Cunha, orient. IV. TÍTULO.

CDU 681.625.9

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaríamos de agradecer a Deus, pois foi Ele quem primariamente nos ajudou, dando forças e sabedoria para realizarmos este trabalho com êxito. Ademais, queremos expressar nossa gratidão às nossas famílias que estiveram ao nosso lado durante todo o percurso deste trabalho, sempre nos motivando e nos auxiliando a não desistir. Também somos gratas a nós mesmas, enquanto equipe, por termos mantido a união, a dedicação e a perseverança durante a elaboração do presente estudo. Além disso, queremos agradecer profundamente a todos os nossos amigos que fizeram parte dessa jornada, fornecendo apoio moral e amizade verdadeira, em especial a nossa querida amiga Michele Lima, que esteve presente em todos os momentos desafiadores da pesquisa.

Somos gratas também ao nosso amigo Júlio, que nos apoiou e se dispôs a nos ouvir nos momentos de maior dificuldade. Ademais, devemos gratidão a nossa orientadora Regina Leite, pois ela nos sugeriu esse tema e nos acolheu quando estávamos sem rumo, acreditando em nosso trabalho. Adicionalmente, queremos agradecer ao nosso professor de sociologia, Alberto Leal, pois ele nos ajudou e demonstrou compaixão e compreensão nos momentos em que estávamos aflitas. Por fim, queremos agradecer ao Instituto Federal da Bahia, por ter nos dado a oportunidade de aprender durante todo o decorrer do curso e ter nos permitido conhecer todos os nossos amigos e professores.

Essa jornada promoveu ensinamentos que levaremos para o resto de nossas vidas, bem como crescimento e amadurecimento pessoal. Com toda certeza, ela foi parte da solidificação de nossa amizade, e de nossos conhecimentos como técnicas em edificações. Por isso, agradecemos a todos que fizeram parte desse marco de conclusão da nossa história no IFBA.

**JEMIMA VANESSA DA SILVA FERREIRA
LÍLIAN SANTOS PAIXÃO DOS ANJOS
MARIA EDUARDA PINHEIRO TELES**

**APLICAÇÕES, DESAFIOS E IMPACTOS CAUSADOS PELO USO DA IMPRESSORA
3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Edificações Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Salvador, como requisito parcial à obtenção do título de Técnico em Edificações.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Regina Maria Cunha Leite

APROVADO EM: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Regina Maria Cunha Leite – Orientador(a)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

Prof. Dr. Luis Claudio Alves Borja
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

Prof.^a Me. Juliane Santos Souza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

RESUMO

A construção civil, um setor fundamental para a economia brasileira, enfrenta grandes desafios em relação à melhoria da produtividade, redução dos custos e incorporação da sustentabilidade em sua prática construtiva. Nesse contexto, a impressão 3D de concreto se destaca como uma tecnologia inovadora com potencial para melhorar significativamente o desempenho do setor. Este trabalho busca compreender melhor esse potencial e para isso implementou uma revisão da literatura sobre as aplicações da impressora 3D de concreto na construção civil, abrangendo o período de 2019 a 2024. A pesquisa investiga as características, vantagens e desvantagens da tecnologia, além de explorar as oportunidades e desafios para a sua integração ao setor por meio de casos práticos e pesquisas recentes. Os resultados demonstram que a impressora 3D pode reduzir significativamente o desperdício de materiais (em até 60%), aumentar a produtividade e diminuir os custos de construção, além de promover a sustentabilidade. No entanto, a adoção da tecnologia no Brasil enfrenta desafios específicos, como a falta de regulamentação e de financiamento. Este estudo contribui para a compreensão do impacto da impressora 3D de concreto no contexto da construção civil brasileira, abrindo caminho para a adoção de práticas mais inovadoras, sustentáveis e eficientes.

Palavras-chave: Impressora 3D. Construção civil. Aplicações da impressora 3D. Desafios. Impactos da impressora 3D.

ABSTRACT

The construction industry, a fundamental sector of the Brazilian economy, faces significant challenges in improving productivity, reducing costs, and incorporating sustainability into its construction practices. In this context, 3D concrete printing stands out as an innovative technology with the potential to significantly enhance the industry's performance. This study aims to better understand this potential by conducting a literature review on the applications of 3D concrete printing in construction, covering the period from 2019 to 2024. The research investigates the characteristics, advantages, and disadvantages of the technology, as well as explores opportunities and challenges for its integration into the sector through practical cases and recent studies. The results show that 3D printing can significantly reduce material waste (by up to 60%), increase productivity, and lower construction costs, while also promoting sustainability. However, the adoption of this technology in Brazil faces specific challenges, such as a lack of regulations and funding. This study contributes to understanding the impact of 3D concrete printing in the context of the Brazilian construction industry, paving the way for the adoption of more innovative, sustainable, and efficient practices.

Keywords: 3D Printer. Civil construction. 3D Printer applications. Challenges. Impacts of 3D printer.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Impressora 3D tipo pórtico..... | 18 |
| Figura 2 – Impressora 3D de braço robótico..... | 18 |
| Figura 3 – Técnica de impressão Contour Crafting..... | 19 |
| Figura 4 – Impressão com Contour Crafting..... | 20 |
| Figura 5 – Impressão com Concrete Printing..... | 20 |
| Figura 6 – Impressão com D-Shape..... | 21 |
| Figura 7 – Edifício Suzhou Building..... | 25 |
| Figura 8 – Project Olympus..... | 26 |
| Figura 9 – Casa impressa pela WinSun | 27 |
| Figura 10 – Montagem da casa impressa pela WinSun..... | 27 |
| Figura 11 – The BOD. | 28 |
| Figura 12 – Planta baixa da The BOD..... | 29 |
| Figura 13 – Escritório do Futuro vista frontal..... | 30 |
| Figura 14 – Escritório do Futuro vista lateral | 31 |
| Figura 15 – A Vila..... | 32 |
| Figura 16 – A Vila..... | 33 |
| Figura 17 – Primeira habitação impressa no Brasil..... | 34 |
| Figura 18 – Varanda da casa impressa na Bahia..... | 35 |
| Figura 19 – Montagem da casa impressa na Bahia..... | 36 |
| Figura 20 – The House..... | 37 |
| Figura 21 – The House fachada..... | 38 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|-------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Quadro metodológico..... | 14 |
| Quadro 2 – Artigos revisados..... | 22 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 METODOLOGIA | 13 |
| 3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 15 |
| 3.1 História da Impressora 3D | 15 |
| 3.2 Funcionamento da construção em 3D e tipos de impressora | 16 |
| 3.3 Técnicas de impressão para a construção | 19 |
| 3.3.1 Contour Crafting (CC) | 19 |
| 3.3.2 Concrete Printing | 20 |
| 3.3.3 D-Shape | 21 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 22 |
| 4.1 APLICAÇÕES DA IMPRESSORA 3D NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL | 24 |
| 4.1.1 Suzhou Building (China) | 24 |
| 4.1.2 Project Olympus | 25 |
| 4.1.3 As 10 casas impressas da WinSun (China) | 26 |
| 4.1.4 The BOD (Dinamarca) | 28 |
| 4.1.5 O escritório do futuro (Emirados Árabes Unidos) | 29 |
| 4.1.6 A Villa (Árabia Saudita) | 31 |
| 4.1.7 Construção de casa unifamiliar (Brasil) | 33 |
| 4.1.8 Bahía Cosmos House (Brasil) | 34 |
| 4.1.9 The House (Rússia) | 36 |
| 4.2 IMPACTOS DA IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 39 |
| 4.2.1 Sustentabilidade | 39 |
| 4.2.2 Desempenho construtivo | 41 |
| 4.2.3 Custos de se aplicar a impressora 3D | 42 |
| 4.2.4 Qualidade das estruturas | 45 |
| 4.3 VANTAGENS | 50 |
| 4.4 DESVANTAGENS | 52 |
| 4.5 DESAFIOS | 53 |
| 4.5.1 Econômicos e sociais | 53 |
| 4.5.2 Regulatório | 53 |
| 4.5.3 Operacionais e de transporte | 54 |
| 4.5.4 Desafios no âmbito brasileiro | 54 |
| 5. CONCLUSÃO | 57 |
| 6.REFERÊNCIAS | 58 |

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é antiga e vital para o funcionamento da sociedade, entretanto é um setor que carece de atualização. Isso porque, o setor da construção é o segundo pior segmento com relação à modernização, ultrapassando apenas a agricultura. Essa falta de atualização tem sido um problema para o setor, pois por causa dela, este deixa de gerar cerca de US\$ 1,6 trilhão para a economia mundial (McKinsey Global Institute, 2017).

Além do prejuízo econômico, a falta de modernização também acaba contribuindo com os altos índices de geração de resíduos, desperdício de materiais e mão de obra existentes nesse setor. De acordo com Cruz et al. (2023), a resistência a novas tecnologias, por parte do setor, além da utilização de práticas antiquadas, acabam fazendo com que a construção seja responsável por 80% dos resíduos mundiais.

Ademais, o setor é responsável, em âmbito mundial, por emitir 35% do CO₂, além de consumir 40% de todas as matérias-primas (Roque et al., 2018). Essas práticas carecem de redução, devido aos problemas enfrentados pela humanidade, exemplificados com o esgotamento dos recursos naturais e o efeito estufa. Dessa forma, estes aspectos tornam evidente a urgência da necessidade de modernizar o setor da construção civil.

Diante desse cenário, a indústria 4.0, consoante Santos et al. (2018), surge como uma estratégia altamente tecnológica, que visa tornar os sistemas de produção mais flexíveis e colaborativos, através de tecnologias avançadas conectadas à internet. Do ponto de vista econômico, ela é capaz de reduzir o consumo de recursos graças às suas tecnologias, que possuem menor impacto ambiental. Essas soluções tecnológicas, com processos de produção mais inteligentes, têm a capacidade de suprimir os impactos ambientais negativos e desperdícios advindos destes danos ambientais (Germano et al. 2021).

Além disso, a Confederação Nacional das Indústrias afirma que a Indústria 4.0 baseia-se em pilares que garantem a integração da tecnologia nos processos industriais, como a inteligência artificial, big data, cyber segurança, integração de sistemas e a manufatura aditiva (Oliveira et al. 2022). A impressora 3D é uma tecnologia da manufatura aditiva que constrói, em camadas, diferentes modelos de objetos com três dimensões, a partir de um software de modelagem, como o AutoCAD 3D (Lima et al.,2023). Esta tecnologia surgiu na década de 1980 e desde então apresentou diversos avanços, o que possibilitou sua aplicação em vários setores, incluindo o da construção civil (Oliveira et al. 2023).

A utilização da impressora 3D na construção civil pode possibilitar uma melhora significativa nas estratégias tradicionais de construção, diminuindo, por exemplo, a dependência de mão de obra, os altos custos de capital e a necessidade de fôrmas (Formiga et al., 2021). Nos últimos anos, a busca por aplicar a impressora 3D na construção civil tem crescido consideravelmente. Esse interesse é impulsionado por fatores como a baixa produtividade e tecnologias defasadas, em comparação a outros setores, que automatizaram e digitalizaram seus processos de fabricação (El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020).

Apesar desta necessidade evidente de atualização dos processos de produção, a construção civil é um setor que ainda preza pelas técnicas tradicionais. No entanto, existem países que começaram a introduzir esta técnica inovadora, como China, Estados Unidos e Emirados Árabes Unidos. Todavia, no caso do Brasil, a utilização desta tecnologia está atrasada, em relação a outros países, reforçando a necessidade de se realizar mais pesquisas que abordem o uso dessa tecnologia na construção, bem como seus impactos para o setor (Vieira, 2021).

Nessa perspectiva, o estudo em questão é relevante, já que mostrará como a impressora 3D tem sido aplicada na construção, além de analisar quais são seus efeitos. Além disso, este trabalho contribuirá para ampliar a quantidade de pesquisas brasileiras acerca da temática, uma vez que materiais acadêmicos sobre esse tema existem em maior quantidade no exterior.

Dessa forma, espera-se contribuir com a difusão do conhecimento sobre a inovação e adoção de práticas mais sustentáveis e eficientes na construção civil brasileira. Assim, este trabalho objetiva revisar na literatura o conhecimento acerca das aplicações dessa tecnologia na construção, bem como suas características, vantagens e desvantagens. Ademais, os objetivos específicos da presente revisão consistem em investigar estudos que abordam o uso da impressora 3D na construção civil, compreendidos entre o período de 2019 a 2024, além de analisar os casos práticos encontrados, acerca das aplicações desta tecnologia na construção civil.

Considerando os fatores apresentados, o presente trabalho visa responder a seguinte questão: O que as pesquisas dos últimos seis anos (2019–2024) apontam acerca da utilização da impressora 3D na construção civil? Quais são os impactos causados por essas aplicações em termos de sustentabilidade, produtividade, desempenho construtivo, custo e qualidade das estruturas construídas?

A Atividade de Conclusão de Curso está estruturada em 5 seções, na qual a primeira contará com a introdução acerca do tema abordado. A segunda seção apresentará a metodologia utilizada para construção desta revisão, enquanto a terceira abordará uma visão geral sobre as impressoras 3D de concreto na construção civil. Ademais, na quarta seção serão expostas as discussões e os resultados, que discorrem acerca das aplicações, impactos e desafios relacionados à impressora 3D na construção. Por fim, a quinta seção trará as conclusões.

2 METODOLOGIA

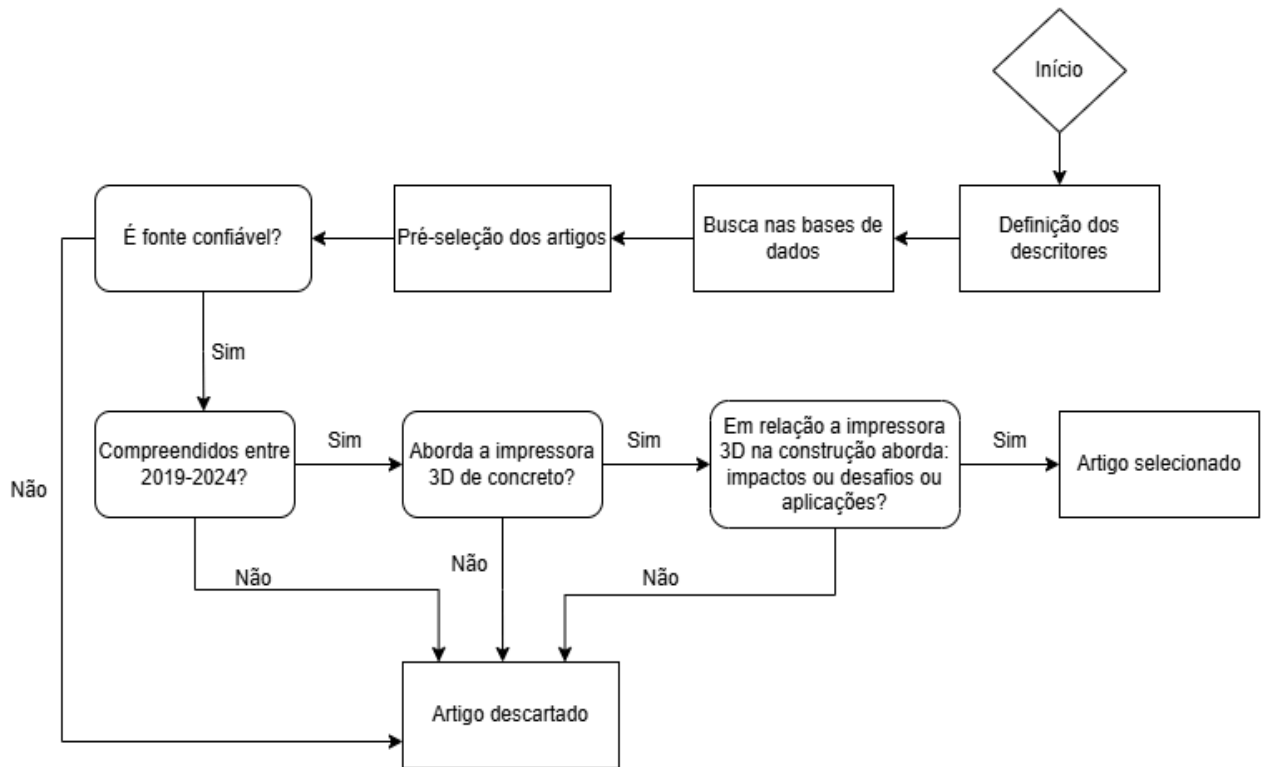
O presente trabalho consiste em uma revisão da literatura. Inicialmente, foram realizadas leituras de diversos artigos, monografias e revisões sistemáticas, visando à assimilação do tema. Após uma ampla compreensão do objeto de pesquisa, elaboraram-se os objetivos, as hipóteses e a questão de pesquisa. Após a conclusão desta etapa, iniciou-se a separação dos artigos, resultando na seleção de trabalhos escritos em português e inglês. Esses artigos foram indexados nas bases de dados Google Acadêmico, ResearchGate, MDPI e ScienceDirect por apresentarem uma ampla quantidade de trabalhos aprofundados e provenientes de fontes confiáveis. Nestas bases utilizaram-se os seguintes descritores: “3D printer + construction”, “Impressora 3D + aplicações + construção civil”, “3D printing + concrete” e “Impressora 3D + impactos + construção civil”.

Com a utilização das palavras-chave citadas anteriormente, resultou-se em um número extenso de publicações acadêmicas. Estas publicações foram submetidas a um processo rigoroso de filtragem, buscando aquelas que pudessem contribuir significativamente para a resolução da questão de pesquisa. Nesse processo foram excluídas as publicações acadêmicas que não estavam compreendidas entre os anos de 2019–2024, seguido pela eliminação daqueles cujo enfoque não era a impressora 3D de concreto. Além disso, foram descartadas também as publicações que abordavam aspectos específicos da tecnologia, mas que não eram pertinentes ao escopo do trabalho.

No que diz respeito aos critérios de inclusão, foram selecionadas as obras acadêmicas que abordavam a aplicação da tecnologia e seus impactos na construção, considerando aspectos como sustentabilidade, custos, eficiência e qualidade. Adicionalmente, também foram acrescentados os trabalhos que tratam acerca das dificuldades relacionadas à aplicação e aceitação da impressora. Além disso, consideraram-se também os estudos que realizaram uma síntese adequada de informações, provenientes de fontes confiáveis, e que proporcionaram uma compreensão satisfatória do tema. Nesse contexto, com base nos critérios citados, 25 trabalhos foram selecionados para confecção da presente revisão. Um resumo da

metodologia utilizada para elaboração deste trabalho encontra-se abaixo no quadro 1:

Quadro 1



Fonte: Autoria própria

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.1 História da Impressora 3D

A impressão 3D surgiu inicialmente em 1981, no Japão, quando o engenheiro e pesquisador Dr. Hideo Kodama desenvolveu um método de manufatura aditiva que utilizava luz ultravioleta para solidificar polímeros fotossensíveis, manufaturando peças de plástico, sendo esta uma técnica que veio a ser conhecida posteriormente como estereolitografia. Apesar de inovadora, sua pesquisa não teve continuidade, devido ao cancelamento do apoio industrial japonês e a não conclusão do pedido de patente (Silva, 2023; Cunha, 2022).

Em 1984, os pesquisadores franceses Alain Le Mehaute, Jean-Claude André e Olivier de Witte também exploraram a estereolitografia, mas tiveram seu pedido de patente negado pelo fato de grandes grupos empresariais franceses acharem a tecnologia improdutiva para perspectiva industrial. Apenas três semanas após a patente francesa ser recusada, o engenheiro americano Charles “Chuck” Hull conseguiu patentear a estereolitografia e fundou a 3D Systems, a primeira empresa a comercializar impressoras 3D. A inovação reduziu significativamente o tempo de produção de protótipos ao solidificar resinas camada a camada com luz UV. Além disso, introduziu o formato de arquivo STL, um padrão para troca de dados em impressão 3D, e o conceito de fatiamento digital, que organiza os modelos em camadas para impressão (Cunha, 2022).

Em 1988, Carl Deckard criou a Sinterização Seletiva a Laser (SLS), técnica de impressão que utiliza laser para fundir materiais em pó, e Scott e Lisa Crump criaram a Modelagem por Fusão e Deposição (FDM), um método que utiliza termoplásticos para criar objetos em 3D. Essas tecnologias tornaram a impressão 3D mais acessível e popular, ampliando suas aplicações industriais (Ferreira, 2023; Medeiros, 2021).

Nos anos seguintes, a impressão 3D evoluiu, incorporando novos métodos como o D-Shape, Concrete Printing e Contour Crafting, voltados à construção civil. A impressão 3D trouxe inovações para a indústria, oferecendo agilidade,

personalização e eficiência (Silva, 2023; Cunha, 2022; Ferreira, 2023; Queiroz Junior, 2024; Medeiros, 2021).

No Brasil, o uso de impressoras 3D na construção civil para execução de edificações começou a ganhar destaque em meados da década de 2010, quando, em 2015, a estudante de engenharia elétrica, Juliana Martinelli, juntamente com colegas da Universidade de Brasília (UNB), fundou a startup InovaHouse3D, primeira startup a desenvolver uma impressora 3D voltada para a construção civil na América Latina. Utilizando a tecnologia dessa startup, a 3DHome Construction, outra startup brasileira, construiu a primeira casa no Brasil utilizando essa técnica inovadora, como citado no item 4.1.7. Entretanto, a tecnologia 3D ainda não é muito difundida no país, sendo um dos motivos a falta de investimento nessa nova tecnologia, além do tradicionalismo presente no setor, que dificulta a adesão de novas tecnologias (Medeiros, 2021; Ferreira, 2023; InovaHouse3D, 2022).

3.2 Funcionamento da construção em 3D e tipos de impressora

Como citado na subseção anterior, o avanço nos processos de manufatura aditiva possibilitou o uso da tecnologia 3D em diversos setores, incluindo a indústria da construção. Para este setor, alguns exemplos de tecnologias 3D de concreto utilizadas para a impressão das edificações são as do tipo pórtico (Figura 1) e os robôs equipados com braço robótico (Figura 2) (Queiroz Junior, 2024). Conforme a empresa COBOD (2023), um braço robótico é uma máquina especializada que controla a deposição das camadas de material de construção de maneira precisa e controlada. Além destas, as impressoras tipo pórtico são definidas como estruturas compostas por vigas e trilhos deslizantes que suportam um bico de impressão, sendo responsáveis pelo seu movimento durante o processo de impressão (Fuyumotion, 2024).

As impressoras tipo pórtico têm maior área de impressão, uma vez que podem ter suas dimensões adaptadas, exceto pela altura, que, geralmente, é fixa. Por isso, elas podem imprimir prédios inteiros, tornando-se ideais para serem usadas em construções in loco. Em contrapartida, as impressoras de braço mecânico

apresentam uma área de impressão limitada pelo braço do robô e possuem dimensões fixas, tornando-as mais adequadas para impressões fora do local, ou seja, pré-fabricadas (Queiroz Junior, 2024; Quintella e Florêncio, 2024).

Com relação ao material utilizado para a impressão na construção civil, o mais comumente utilizado é o concreto, cujo traço varia conforme a empresa que está construindo. Isso porque, por ainda ser um método em desenvolvimento, não existe uma norma específica que determine qual deve ser a composição do concreto impresso. Além disso, as companhias que criam em 3D desenvolvem o seu próprio traço e, conseqüentemente, não o divulgam. No entanto, de acordo com El-Sayegh, Romdhane e Manjikian (2020) em geral, os materiais que constituem o concreto em 3D são: o cimento Portland ou cinza volante acrescidos de materiais a granel, como solo ou brita, e aditivos de trabalhabilidade. Adicionalmente, os autores citam também uma argamassa de alto desempenho desenvolvida, cuja composição baseia-se em água, areia e compostos cimentícios reativos. (Shuldt et al, 2021; El-Sayegh, Romdhane e Manjikian, 2020). Além disso, vale ressaltar que muitas misturas são acompanhadas também de aditivos a fim de possibilitar que o concreto seja imprimível (subseção 4.2.4).

No que diz respeito ao processo de impressão, este inicia-se a partir da criação de um modelo 3D da estrutura a ser construída, por meio de softwares de modelagem 3D como Autocad, Revit, Sketchup, dentre outros. Em seguida esse modelo é convertido para o formato de um arquivo, sendo o mais comum o STL, composto por vários pequenos triângulos que dividem o modelo, os quais a máquina utilizará para ler a forma do objeto a ser impresso. Após essa etapa, o software de fatiamento dividirá o modelo 3D em finas camadas horizontais utilizadas para a criação de um código de impressão que a máquina utilizará para a fabricação da estrutura (Silva, 2023; Ferreira, 2023).

Com relação ao processo de construção in loco, basicamente este se inicia com a execução da fundação, que pode ser edificada de maneira convencional, utilizando-se radier ou outros tipos de fundação. Após isso, prossegue-se o processo de impressão (deposição das camadas), resultando em uma parede estrutural

edificada sem o auxílio de fôrmas, sendo também nesta etapa realizado a colocação do reforço estrutural entre as camadas (subseção 4.2.4). Em seguida, é realizado o processo de execução da cobertura, colocação de esquadrias, instalações elétricas e hidráulicas e a realização de acabamentos (Carbonari et al., 2023).

Figura: 1 - Impressora 3D tipo pórtico



Fonte: COBOD (2023)

Figura: 2 - Impressora 3D de braço robótico



Fonte: COBOD (2023)

3.3 Técnicas de impressão para a construção

Atualmente, há três processos de manufatura aditiva mais usados, estes são: Concreting Printing (em tradução livre, Impressão em Concreto), D-Shape e Contour Crafting (em tradução livre, Construção em Contornos). Todos os três mostraram serem capazes de fabricar com êxito elementos de tamanhos significativos e apropriados para aplicações arquitetônicas e construtivas. (Cunha, 2022; Silva, 2023).

3.3.1 Contour Crafting (CC)

O Contour Crafting é considerado a primeira metodologia construtiva de impressão 3D, realizado em in situ (figura 3), no qual o maquinário despeja uma pasta à base de cimento em camadas subsequentes, tendo espátulas que agem para deixar as superfícies laterais e superiores lisas. O material é depositado por um bocal com diferentes configurações, possibilitando a distribuição nas laterais e no interior das paredes, e permitindo a junção de vários materiais. Entre as paredes externas é empregado um sistema treliçado como um tipo de reforço estrutural, como pode ser visto na figura 4 (Cunha, 2022; Silva, 2023).

Figura: 3- Técnica de impressão Contour Crafting



Fonte: Cunha (2022)

Figura: 4 - Impressão com Contour Crafting

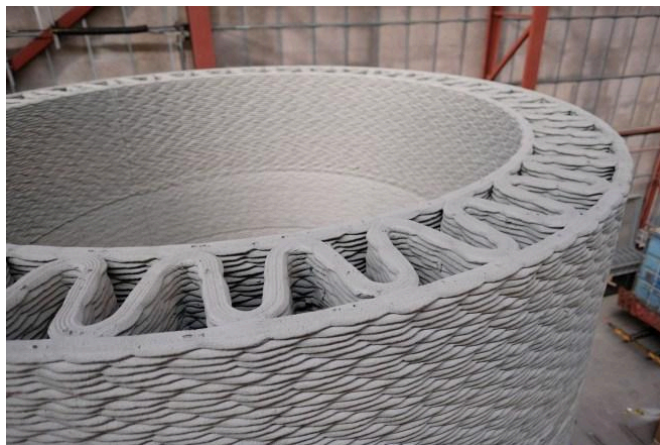


Fonte: Cunha (2022)

3.3.2 Concrete Printing

Semelhante ao Contour Crafting, o Concrete Printing é outro método de impressão. Entretanto, possui uma resolução inferior na deposição de camadas, permitindo uma liberdade de impressão maior, uma estrutura de tamanho reduzido, é normalmente usado em espaço fechado e não há espátulas (Figura 5) (Silva, 2023).

Figura : 5 - Impressão com Concrete Printing



Fonte : Silva (2023)

3.3.3 D-Shape

Um outro procedimento de impressão 3D utilizado é o D-Shape, no qual ocorre a deposição de um pó selecionado que sofre um endurecimento quando o material ligante é depositado. Isso faz com que o material neste tipo de tecnologia tenha uma textura granulada orgânica. O processo se baseará em preparar camadas do material com a espessura desejada, que serão prensadas com tinta de ligação inorgânica e formar o projeto final em 3D (Figura 6) (Silva, 2023).

Figura : 6 - Impressão com D-shape



Fonte: Silva (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado desta revisão selecionou-se para análise os artigos demonstrados no Quadro 02. A partir destes 25 trabalhos acadêmicos foram analisadas as aplicações e os desafios da impressora 3D na construção civil, bem como seus impactos, em termos de custo, sustentabilidade, desempenho construtivo e qualidade estrutural. Estas pesquisas foram selecionadas, pois apresentaram um bom detalhamento acerca dos aspectos analisados, além de atenderem aos critérios de inclusão, apresentados na seção 2.

Quadro 2

| Autor | Ano | Título |
|---|------------|---|
| Steven J. Schuldt, et al | 2021 | Uma revisão sistemática e análise da viabilidade da construção em 3D em ambientes remotos |
| Carolina S. Fernandes de Medeiros | 2021 | Análise sobre os avanços da tecnologia 3D e soluções para uma possível aplicabilidade na construção civil brasileira |
| Eduarda A. de Souza, et al. | 2024 | Materiais sustentáveis e de baixo custo impressos em 3D para construção de habitação social acessível no Brasil: Potenciais, desafios e necessidades de pesquisa |
| Nathália B. da Silva | 2023 | O uso de impressoras 3D em construções no Brasil e no mundo |
| Isabella M. da Silva | 2023 | Estudo exploratório do uso da impressão 3D na construção civil |
| Marina de O. Cunha | 2022 | Estudo dos avanços da impressão tridimensional e suas aplicações na Construção Civil |
| Raissa A. Ferreira | 2023 | Manufatura aditiva na construção civil: elementos de concreto |
| Sameh El-Sayegh, Lotfi Romdhane, Solair Manjikian | 2020 | Uma revisão crítica da impressão 3D na construção: benefícios, desafios e riscos |
| Manish K. Dixit | 2019 | Impressão 3D na construção de edifícios: Uma revisão da literatura sobre oportunidades e desafios para reduzir a energia e o carbono no ciclo de vida dos edifícios |
| Constanza Rossi, et al. | 2024 | Comparação do carbono incorporado em casas construídas em 3D versus casas construídas de forma convencional |
| Ahmed R. Waheed | 2024 | Benefícios da impressão 3D como tecnologia sustentável de construção para habitações pós-desastres |
| Cleanto C. de Queiroz Junior | 2024 | A utilização da impressão 3D na construção civil |

| | | |
|---|------|---|
| Ghafur H. Ahmed | 2023 | Uma revisão da impressão de concreto em 3D: Materiais e processo, caracterização, considerações econômicas e sustentabilidade ambiental |
| Luana T. Carbonari, et al. | 2023 | Impressão 3D com materiais cimentícios: uma análise comparativa de projetos residenciais |
| Ayesha Siddika, et al. | 2019 | Concreto impresso em 3D: aplicações, desempenho e desafios |
| Haidong Tu, et al. | 2023 | Avanços recentes e tendências futuras na impressão de concreto 3D utilizando materiais de resíduos |
| Bjorn T. Haar, Jacques Kruger, Gideon van Zijl | 2023 | Construção fora do local com impressão de concreto em 3D |
| Hadeer Abdalla, et al. | 2021 | Pegada ambiental e economia de uma casa impressa em 3D em escala real |
| Muhammad H. Raza, Svetlana Besklubova, Ray Y. Zhong | 2023 | Análise econômica de técnicas de impressão de construção 3D no local e fora do local: Uma avaliação comparativa da cadeia de valor |
| Yifan Pan, et al. | 2021 | Impressão 3D na construção: estado da arte e aplicações |
| Senthil K. Kaliyavaradhan, P.S. Ambily, Neeraja Rajendran | 2024 | Principais desafios para a ampla adoção da impressão de concreto 3D (3DCP): Uma revisão |
| Camille Holt, et al. | 2019 | Capítulo 17 - Impressão 3D na Construção 17 |
| Jianzhuang Xiao, et al. | 2021 | Tecnologia de impressão de concreto 3D em larga escala: Estado atual e oportunidades futuras |
| Robert Guamán-Rivera, et al. | 2021 | Desenvolvimentos recentes e desafios da construção em 3D: Uma revisão das frentes de pesquisa |
| Milad Bazli, et al. | 2023 | Impressão 3D para habitação remota: Benefícios e desafios |

4.1 APLICAÇÕES DA IMPRESSORA 3D NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Apesar de o setor da construção civil ser altamente tradicional com relação às técnicas construtivas utilizadas em suas edificações, alguns países têm buscado atualizar sua forma de construir de maneira gradual. Dessa maneira, surgem espaços para o crescimento da utilização de novas tecnologias, a exemplo da manufatura aditiva. Abaixo são apresentados alguns exemplos de obras realizadas com a utilização da impressora 3D, comprovando a viabilidade de se empregar essa tecnologia nas futuras construções.

4.1.1 Suzhou Building (China)

A empresa Winsun, pioneira no quesito de construção com tecnologia 3D, foi responsável por construir, em 2015, um edifício com cinco andares (Figura 7), que teve suas partes construídas com o uso da impressora e materiais reciclados (Medeiros, 2021). O edifício, localizado no Parque Industrial de Suzhou, foi edificado por uma máquina de 6,6 m de altura, 10 m de largura e 40 m de comprimento, sendo aplicado um investimento de 161 mil dólares para a sua construção (Queiroz, 2024).

As paredes da edificação de 1100 m² caracterizam-se por serem ocas para isolamento térmico, sendo a massa adicionada em formato de zigue-zague no interior das paredes para fornecer reforço (Siddika, et al. 2019). É importante ressaltar que as partes deste edifício foram impressas fora do local de construção e depois montadas in loco.

Figura: 7 - Edifício Suzhou Building



Fonte: Archdaily (2015)

4.1.2 Project Olympus

As empresas ICON e SEARCH+ realizaram uma parceria com o escritório arquitetônico Bjarke Ingels Group (BIG), para realizar a construção de uma base lunar. Este projeto, um dos mais avançados do mundo, terá a NASA como financiadora, sendo construído utilizando a tecnologia 3D e fazendo possivelmente o uso de poeira lunar (Medeiros, 2021).

A construção impressa em 3D tem potencial para criar alojamentos na Lua e em Marte (Figura 8) antes da chegada do ser humano, de maneira a contribuir para os requisitos para sobrevivência humana, como ar, água, comida e transporte, além de melhorar a segurança dos astronautas, reduzir o tempo de comissionamento, e mitigar a interferência da poeira lunar nas construções (Schuldt, 2021).

Figura: 8 - Project Olympus



Fonte: Archdaily (2020)

4.1.3 As 10 casas impressas da WinSun (China)

No período de 2013, a empresa Winsun construiu 10 casas de 200m² em cerca de 24 horas usando uma impressora com um pouco mais de 6 metros de altura para fabricar as peças das casas com materiais reciclados, elas assim seriam as primeiras casas do mundo produzidas em 3D. A construção foi feita com o método de pré-moldado, ou seja, as partes foram feitas separadamente e depois montadas no local. O custo de cada imóvel foi por volta de US\$4.800, cerca de R\$27,69 mil com o dólar a R\$5,77 em 19 de novembro de 2024 (Silva, 2023).

O procedimento utilizado para a fabricação das casas foi similar à técnica Contour Crafting ao construir uma estrutura interna em padrão de zigue-zague, após a criação de uma camada externa (Queiroz Junior, 2024). Cada casa foi feita com uma mistura de fibra de vidro com concreto reforçado e usando a impressora convencional, que faz a extrusão do material em camada por camada (Figuras 9 e 10). Esta empresa tem em vista fazer fábricas de coleta de resíduos na China, com função de usá-los como material para impressão 3D (Silva, 2023).

Figura: 9 - Casa impressa pela WinSun



Fonte: Minuto engenharia (2015)

Figura: 10 - Montagem da casa impressa pela Winsun



Fonte: Minuto engenharia (2015)

4.1.4 The BOD (Dinamarca)

Construído pela empresa COBOD, The Bod é uma espécie de escritório, sendo a primeira construção impressa da Europa. Construído em 2 meses em 2017, na Dinamarca, não possuindo nenhuma parede reta propositalmente (Figuras 11 e 12), demonstrou a capacidade arquitetônica advinda da construção com impressão 3D (Silva, 2023).

Apesar do sucesso anterior, a COBOD imprimiu a edificação novamente dois anos depois, em 2019, utilizando uma versão mais atualizada da impressora. A construção foi concluída em 28 horas distribuídas em 3 dias. Isto representa um ganho de produtividade de 20 vezes mais, segundo dados da empresa, possuindo um ritmo de impressão de aproximadamente 1,57 m³/dia por pessoa, considerando uma equipe com dois trabalhadores.

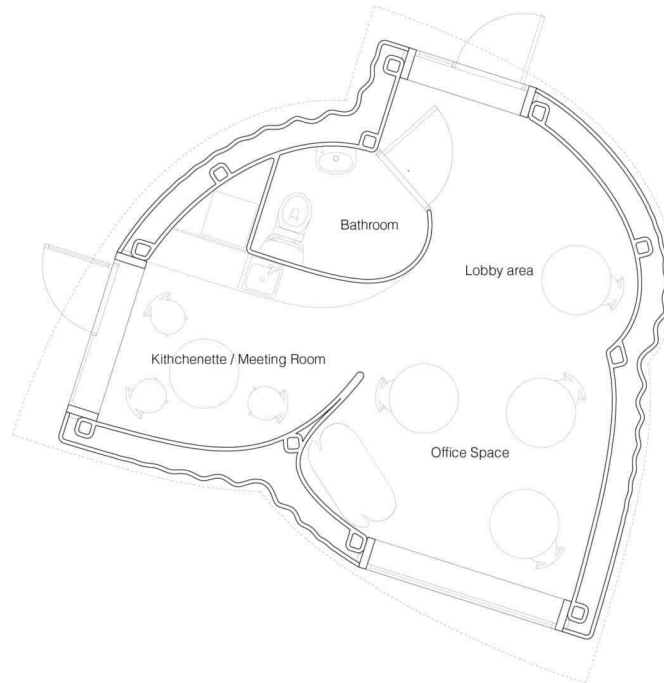
De acordo com a COBOD, a reimpressão do projeto foi feita em duas partes, com o pé direito total de 3,78 m. A primeira parte foi construída até a altura de 1,65 m no período de 18 horas. Na segunda parte, com a utilização de um bico mais potente, foram construídas mais camadas, totalizando em 2,13 m de altura, em um período de 11 horas (Silva, 2023).

Figura: 11 - The BOD



Fonte: COBOD (2017)

Figura: 12 - Planta baixa da The BOD



Fonte: COBOD (2017)

4.1.5 O escritório do futuro (Emirados Árabes Unidos)

O escritório do futuro, criado pelo escritório Killa Design e construído pela Winsun, é o primeiro edifício impresso em 3D totalmente funcional e permanentemente ocupado do mundo, localizado em Dubai, Emirados Árabes Unidos (Figuras 13 e 14). O edifício de 250 m² foi inaugurado em maio de 2016, com uma área para escritórios e reuniões, com capacidade para até 16 pessoas, sendo possível efetuar modificações para realização de eventos (Ferreira, 2023).

Toda a estrutura do edifício foi construída utilizando uma técnica de impressão de concreto aditivo (composto por uma combinação de concreto reforçado, gesso com fibras de vidro e plástico também reforçado com fibras). A construção foi feita utilizando uma impressora 3D com dimensões de 6 metros de altura, 36 metros de comprimento e 12 metros de largura (Killa Design, 2023). Além disso, a máquina

apresenta um braço robótico automatizado. A impressão da alvenaria (com múltiplas camadas de 0,6 cm a 3 cm de espessura) teve duração de 17 dias, sendo instalada no local em dois dias. A conclusão da obra ocorreu cerca de três meses depois, com a finalização dos projetos de interiores e paisagismo (Killa Design, 2023).

Além disso, foi constatada uma redução de mais de 50% nos custos de mão de obra em comparação com edifícios convencionais do mesmo porte, juntamente com a redução drástica do volume de resíduos gerados (Killa Design, 2023). O escritório atua como um símbolo da busca pelo aperfeiçoamento e pela tecnologia dos Emirados Árabes Unidos, evidenciando o potencial da impressora 3D na arquitetura (Ferreira, 2023).

Figura: 13 - Escritório do Futuro vista frontal



Fonte: Killa design (2016).

Figura: 14 - Escritório do Futuro vista lateral



Fonte: Killa design (2016).

4.1.6 A Vila (Árabia Saudita)

A incorporadora imobiliária Dar Al Arkan, foi responsável pelo projeto de uma vila com três andares, impressa em 3D, construída na região de Shams Al Riyadh, na Arábia Saudita (Figuras 15 e 16). Para a construção do edifício foi utilizada a impressora de concreto da 3D COBOD Internacional, que possui tecnologia extrusiva. A edificação foi construída sobre um terreno com área de 12.000.000 m², ocupando uma área de 345 m², com altura de 9,9 m, sendo o prédio mais alto feito através dessa tecnologia. O processo de construção do edifício ocorreu nos meses de agosto e setembro de 2022, sendo realizado conforme as regulamentações de construção locais (Ferreira, 2023).

O primeiro pavimento da vila ocupa uma área de 130 m², sendo constituído por uma cozinha, dois banheiros e um salão com diversas áreas de convivência. O segundo pavimento possui área de 140 m², sendo constituído por dois banheiros, uma varanda, sala de estar e três quartos, um deles com suíte. Já o terceiro pavimento, menor em relação aos outros, faz parte de um anexo da cobertura, possuindo um

quarto para prestadores de serviço, um banheiro, um salão multiúso e uma lavanderia (Ferreira, 2023).

Vale ressaltar que essa construção foi realizada em um local desértico com temperaturas que ultrapassam os 40 °C. O uso da manufatura aditiva nesse empreendimento possibilitou eliminar o uso de tendas de proteção, que são comumente utilizadas no canteiro de obras nessas condições. Além disso, assim como na construção do “escritório do futuro”, essa tecnologia proporcionou uma economia em 30% de energia, além de possibilitar menor quantidade de desperdício de materiais, em comparação aos métodos tradicionais (Ferreira, 2023).

Figura: 15 - A Vila



Fonte: Stylourbano (2023).

Figura: 16 - A Vila



Fonte: Stylourbano (2023).

4.1.7 Construção de casa unifamiliar (Brasil)

Nacionalmente, tem-se um exemplo de aplicação dessa técnica. A Inova House 3D, em conjunto com a 3D Home Construction, ambas startups brasileiras, construíram a primeira habitação impressa no Brasil (Figura 17). Localizada em Macaíba, no Rio Grande do Norte, esta construção segue as medidas de uma casa popular com uma fundação de radier tradicional, apresentando uma área de 66,32 m², com pé direito de 2,40 m (Ferreira, 2023).

A impressora utilizada possui medidas de 3 metros de altura, 7,6 metros de largura e 12 metros de comprimento construída a base de materiais de sucata reciclados. Durante a construção do edifício, foi necessário realizar ajustes no sistema de bombeamento e extrusão, o que ocasionou no prolongamento da obra para dois meses. Além disso, as limitações financeiras também impactaram a construção, uma vez que limitou a automatização do processo e impediu que a edificação fosse concluída completamente. O valor da construção ficou estimado em 32 reais por

metro quadrado, com a possibilidade de sofrer redução entre 20% a 50% com o passar do tempo (Ferreira,2023).

Figura: 17 - Primeira habitação impressa no Brasil



Fonte: Lage (2020)

4.1.8 Bahía Cosmos House (Brasil)

Construída no segundo semestre de 2024, projetada pela empresa brasileira Cosmos 3D, a Bahía Cosmos House, localizada em Santa Cruz Cabrália, possui área útil de 57 m², apresentando sala de estar integrada com cozinha, dois quartos, um banheiro e uma área de serviço externa (Figuras 18 e 19)(Cosmos 3D, 2024).

No período de oito dias, toda a estrutura do imóvel foi impressa em material cimentício, para ser posteriormente transportada a uma distância de 980 km (Nova Lima a Santa Cruz Cabrália) e instalada em um processo que custou R\$ 190 mil, sem contar o valor do terreno. O projeto pode levar de cinco dias a duas semanas para sua conclusão, contando com o período de acabamento, realizado de maneira manual (UOL, 2024).

Conforme a Cosmos 3D, a utilização da impressão 3D seria uma alternativa mais sustentável do que a tradicional construção em alvenaria por ocasionar na redução de até 90% do desperdício de materiais, devido à alta precisão da impressora 3D. Adicionalmente, a redução do tempo de obra torna-se um fator crucial para sua utilização (UOL, 2024).

Figura: 18 - Varanda da casa impressa na Bahia



Fonte: Cosmos3D (2024)

Figura: 19 - Montagem da casa impressa na Bahia



Fonte: Cosmos3D (2024)

4.1.9 The House (Rússia)

Em 2017, a empresa Apis Cor realizou a construção da primeira habitação impressa em 3D in situ, na cidade de Stupino, localizada na Rússia. A casa de 38 m² conta com um hall, uma sala de estar, um banheiro e uma pequena cozinha (Figuras 20 e 21). Essa construção foi concluída completamente em um período de aproximadamente 24 horas, resultando em um custo total de produção de 10.134 dólares, sendo esse o custo da época (Cunha,2022).

A impressora usada pela Apis Cor para a construção desta residência tem o formato de guindaste, com uma altura de 1,50 a 3,10 m e comprimento que varia de 4,00 m a 8,50 m. Essa máquina imprimiu a edificação no período mais frio do inverno russo, devido à sua capacidade de operar a baixas temperaturas. No entanto, foi necessário instalar uma tenda de proteção devido ao concreto impresso, que só pode ser operado em temperaturas superiores a 5 °C (Cunha,2022; ArchDaily,2017).

No tocante ao isolamento térmico da casa, foi utilizado um material termoisolante pulverulento e um composto de enchimento à base de poliuretano. Ademais, a cobertura da edificação, apesar de possuir formato plano, foi projetada para resistir a cargas de neve. Além disso, foi inserido manualmente nas paredes um reforço com fibra de vidro, para auxiliar na resistência da alvenaria (Cunha,2022).

A máquina que realizou a impressão utiliza uma técnica semelhante a Contour Crafting, uma vez que a alvenaria da construção apresenta acabamento liso. Isso permitiu que a pintura fosse realizada após a impressão da alvenaria, proporcionando uma redução nos gastos com o acabamento. Segundo a Apis Cor, a utilização da tecnologia 3D para construção desta habitação resultou em uma economia de 70% se comparado aos métodos convencionais (Cunha,2022; ArchDaily,2017).

Figura : 20 - The house



Fonte: UFMG (2021)

Figura: 21 - The House fachada



Fonte: Domain (2017)

4.2 IMPACTOS DA IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A tecnologia de impressão 3D emergiu como um método promissor para enfrentar os desafios do setor da construção, bem como para abrir novos caminhos relacionados com a investigação de materiais e projetos de construção (Guamán-Rivera, et al., 2021). Diante do gigantesco potencial de inovação ocasionado pela impressão 3D na construção civil, o tópico desta seção visa analisar de quais impactos são ocasionados por sua adoção, nos campos de sustentabilidade, eficiência, custo e qualidade das estruturas construídas.

4.2.1 Sustentabilidade

Sustentabilidade é definida como o desejo de realizar atividades que atendam às necessidades do presente, sem comprometer as gerações futuras (El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020). No cenário atual, onde a busca por soluções sustentáveis é amplamente difundida, o uso da impressora 3D é promissor para minimizar os problemas ambientais na construção civil. Isso porque essa tecnologia possibilita a integração dos três pilares da sustentabilidade: ambiental, econômico e social (Carbonari, et al., 2023).

Dentro do primeiro pilar, o ambiental, a construção 3D possibilita a redução da geração de resíduos e da emissão de CO₂. Essa redução está diretamente relacionada à eficiência do processo, que diminui o desperdício de materiais, e à possibilidade de utilização de materiais reciclados. Estudos indicam que esta técnica pode reduzir os resíduos da construção em 30–60%, além de resultar uma redução de 75% de CO₂ em comparação com a construção convencional (Pan, et al. 2021; Siddika, et al. 2019; Rossi, 2024). Em termos econômicos, esta tecnologia proporciona uma redução de custos, devido a sua capacidade de evitar desperdícios. O terceiro elemento da sustentabilidade está presente na tecnologia de manufatura aditiva, por esta apresentar a habilidade de proporcionar melhores condições de conforto em edificações (Carbonari, et al., 2023).

Ademais, a impressora 3D também minimiza o impacto ambiental ao reduzir o uso de fôrmas e reforços de aço. Isso porque, a construção realizada através da manufatura aditiva reduz em cerca de 35% a 65% o uso de fôrmas, o que resulta na diminuição do consumo de madeira e, conseqüentemente, contribui para redução de resíduos, uma vez que as fôrmas de madeira não podem ser reutilizadas (Pan, et al., 2021; Ferreira, 2023; Dixit, 2019). Além disso, um estudo comparativo entre a tecnologia 3D e os métodos convencionais, com base numa casa de 90 m², mostrou que as casas impressas em 3D têm um impacto ambiental menor. Isso porque, a tecnologia possibilitou a eliminação do uso de diversos componentes como fôrmas e reforço de aço, além da redução do consumo de materiais (Abdalla et al., 2021).

Apesar desses benefícios sustentáveis, a elevada quantidade de cimento necessária na mistura para impressão pode anular parte destas vantagens da tecnologia. Ahmed (2023) realizou uma análise comparativa entre o concreto convencional e o concreto 3DP em relação a sete categorias: aquecimento global, destruição da camada de ozônio estratosférico, formação de material particulado fino, eutrofização marinha, uso do solo e uso da água. Foi determinado que o concreto convencional apresenta o maior impacto ambiental, enquanto o concreto 3DP demonstrou uma melhoria geral de 24% em seis dessas categorias. Na primeira categoria mencionada, devido ao alto teor de cimento, o concreto 3DP demonstrou desvantagens no quesito das emissões de gases de efeito estufa.

No entanto, estudos recentes avaliam a utilização de materiais imprimíveis mais sustentáveis que o cimento Portland, como geopolímeros e ligantes alternativos (Haar, Kruger, Zijil, 2023). O cimento geopolimérico, por exemplo, é um material de alto desempenho que pode ser utilizado pela impressora 3D e cujo processo de fabricação é 80% menos poluente, se comparado ao cimento Portland (El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020). Além disso, um estudo de caso revelou que esta tecnologia apresenta vantagens ambientais significativas na construção de estruturas mais complexas, uma vez que, nos métodos tradicionais, a construção dessas formas aumenta o risco de erros e gera mais desperdícios (Tu, et al., 2023).

Desse modo, a impressora 3D apresenta um grande potencial para tornar a construção civil mais sustentável, pois integra importantes benefícios ambientais. O uso dessa tecnologia possibilita a redução de resíduos e emissões de CO2 gerados em uma obra, além de promover a utilização eficiente de materiais, resultando em economias. Apesar do elevado teor de cimento presente na mistura utilizada para impressão, pesquisas sobre materiais alternativos, como geopolímeros, buscam garantir que as vantagens dessa técnica não sejam comprometidas.

4.2.2 Desempenho construtivo

No âmbito da construção civil, a eficiência é a capacidade de tornar os processos mais efetivos, com maior rapidez e qualidade, e menores custos, sendo assim a base para um bom desempenho construtivo. Nesse contexto, a impressora 3D tem o potencial de proporcionar maior eficiência na construção de edifícios, ao possibilitar a construção de uma edificação completa em poucas horas, além de manter a qualidade, gerar menos resíduos e reduzir custos. Esta agilidade de execução resulta na eficácia do gerenciamento e logística da construção, influenciando positivamente o meio ambiente, o processo de transporte e os custos de obra em geral (Cunha, 2022).

Além disso, o grau de precisão no canteiro de obras aumenta com a automação da construção, contribuindo para a diminuição do retrabalho causado por erros humanos e para a diminuição da inatividade no canteiro, ocasionada pelo tempo de descanso dos operários (Dixit, 2019; Schuldt, 2021). A automatização proporciona também uma maior segurança na área de construções, visto que ocasiona em uma menor exposição humana aos riscos presentes no espaço construtivo (Schuldt et al., 2021; Ferreira, 2023; Pan et al., 2021; Silva, 2023).

Adicionalmente, outro exemplo de aumento da eficiência causado pela automação advinda da impressora 3D é a redução no tempo total de obra. Com a utilização de técnicas de construção convencionais, a construção da casa construída pela empresa Apis Cor em 2017, mencionada na seção 4.1.9, levaria o tempo de 11,5

semanas, sendo que a casa foi construída no período de apenas 24 horas com a utilização da impressora (Silva, 2023).

Cabe ressaltar também que esse método construtivo possibilita uma maior eficiência e liberdade na criação de estruturas com formatos mais complexos (Ambily, Kaliyavaradhan, Rajendran, 2024; Queiroz Junior, 2024; Carbonari, 2023; Ferreira, 2023; Silva, 2023). Devido a isso, é possível construir casas com formatos não convencionais, como esferas ou curvas, de maneira menos dificultosa do que com métodos tradicionais, proporcionando maior liberdade arquitetônica. Esse benefício é alcançado graças à precisão com que o arquivo CAD é seguido, também eliminando o uso de fôrmas para construção da alvenaria.

A “Lean Construction” (Construção Enxuta) é uma maneira de gerenciamento da produção em projetos, que visa a produção de forma mais barata e sem desperdício (Cunha, 2022). Essa filosofia também está presente na indústria da construção civil, estando integrada aos princípios da Indústria 4.0, visando o aumento de produtividade e eficiência. Assim, a impressora 3D demonstra estar integrada à filosofia “Lean Construction” devido às suas práticas de utilização mínima de materiais para a construção do edifício, redução de resíduos, eliminação de gastos excedentes e aceleração dos processos logísticos da obra (Cunha, 2022; Silva, 2023; Queiroz Junior, 2024).

Nesse contexto, além de ser usada para construções em áreas urbanas, a tecnologia 3D pode ser útil para construir em locais distantes ou que sofreram desastres naturais, que necessitem que as construções sejam construídas com rapidez (Schuldt et al., 2021). Assim, constata-se que a impressora 3D possui inúmeras qualidades em relação a sua eficiência construtiva, podendo ser efetivamente aplicada na construção civil.

4.2.3 Custos de se aplicar a impressora 3D

Em uma construção os custos possuem extrema importância, por ser um dos principais fatores a ser considerado no estudo de viabilidade de uma obra. A tecnologia 3D, como apontado por diversos autores, têm o potencial de proporcionar

a redução dos custos totais de uma construção, devido a sua capacidade de reduzir a mão de obra, os desperdícios e a necessidade do uso de cofragem (El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020; Schuldt et al., 2021).

O estudo comparativo realizado por Silva (2023) demonstrou o potencial que a tecnologia tem com relação à redução dos custos totais de construção. A edificação utilizada como base em seu estudo foi a casa impressa em 3D feita pela Apis Cor na Rússia, citada na subseção 4.1.9, tendo sido realizado um cálculo estimativo para a mesma habitação, caso esta fosse construída com o método de paredes de concreto. O resultado demonstrou que o uso da tecnologia 3D possibilitou uma redução de 53,86% no custo total de produção, em comparação com o método convencional, considerando a construção completa da edificação. A diminuição dos gastos foi possível devido ao tempo de execução ter sido consideravelmente menor para a impressora 3D, cerca de 24 horas, enquanto a construção com o método de paredes de concreto precisaria de 461,75 horas para ser concluída. Além disso, a redução da mão de obra proporcionada pela tecnologia também contribuiu para a diminuição dos custos finais.

Nessa perspectiva, com relação à mão de obra, os gastos com esse tipo de insumo representam uma parcela significativa dos investimentos totais de uma construção. De acordo com Schuldt et al. (2021), em uma obra convencional os custos com a força de trabalho representam até 50% do custo total. No entanto, a tecnologia 3D apresenta o potencial de proporcionar a redução significativa desses custos. Para a construção do escritório em Dubai, citado anteriormente na subseção 4.1.5, por exemplo, foi necessária uma equipe com sete pessoas para realizar a instalação dos componentes de construção, dez profissionais para instalações (eletricistas, mecânicos, e especialistas em hidráulica) e uma pessoa para supervisionar a máquina. Nessa obra, o gasto com a força de trabalho foi 60% menor, se comparado a estruturas convencionais semelhantes (Bazli et al., 2023; El-Sayegh, Romdhane, Manjikian et al., 2020).

Além disso, outro benefício da manufatura aditiva para o orçamento da obra é a possibilidade da diminuição significativa do uso de fôrmas. Essa redução impacta

consideravelmente nos custos, pois os gastos com materiais de cofragem, andaimes e mão de obra associada representam entre 35% a 60% do custo geral da construção (Schuldt et al., 2021). Nesse contexto, a utilização da impressora 3D possibilitaria a diminuição de 63% dos gastos incorridos pelo uso de fôrmas (Pan et al., 2021). No entanto, vale ressaltar que as fôrmas não são totalmente eliminadas dos insumos da construção, pois ainda se utilizam métodos convencionais combinados com a tecnologia 3D para realização da fundação, por exemplo.

Ademais, a impressora 3D na construção é benéfica para o orçamento da obra, visto que ela tem potencial de reduzir os custos gerados por erros humanos. Segundo Schuldt et al., (2021) as falhas humanas são responsáveis por 80% dos problemas presentes nas edificações. Devido a sua capacidade de proporcionar precisão para as obras, a tecnologia de manufatura aditiva, conseqüentemente, também reduz os prejuízos financeiros ocasionados pelo retrabalho proveniente das falhas humanas, reduzindo também os desperdícios (Schuldt et al., 2021).

No entanto, apesar das vantagens supracitadas, a impressora 3D apresenta alguns desafios relacionados ao custo. Isso porque, por ser uma tecnologia recente e ainda em desenvolvimento, os investimentos iniciais para sua aplicação seriam altos. Entretanto, com o aumento da utilização da tecnologia no setor, espera-se que esses custos reduzam, devido à competitividade do mercado (Schuldt et al., 2021). Outra questão seria com relação aos custos de materiais que, segundo Schuldt et al., 2021, poderiam ser elevados devido à necessidade de se acrescentar aditivos a fim de garantir que o concreto atenda aos requisitos de imprimibilidade (subseção 4.2.4). No entanto, Pan et al., (2021) afirma que os custos com os materiais podem ser reduzidos utilizando materiais reciclados na composição do concreto (Pan et al., 2021).

Portanto, o impacto causado pela impressora 3D nos custos de construção apresenta pontos positivos e negativos. A tecnologia provou ser capaz de reduzir os custos de produção devido seu potencial de reduzir significativamente a mão de obra, os desperdícios, o uso de cofragem, bem como o tempo e os erros de execução. No entanto, por ainda estar em desenvolvimento, apresentará um alto

investimento inicial, que reduzirá, segundo os estudos, a medida que a tecnologia estabelecer-se no mercado. (Pan et al., 2021; Schuldt et al., 2021; El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020).

4.2.4 Qualidade das estruturas

A qualidade estrutural é um fator que deve ser priorizado em toda edificação, de maneira a garantir o pleno funcionamento e segurança do edifício. Diferentemente do concreto tradicional, a mistura para a impressão 3D requer características específicas, especialmente no estado fresco, como fluidez reduzida e endurecimento rápido, uma vez que não há fôrmas que suportem o elemento durante a cura (Guamán-Rivera, et al. 2021). No caso dos edifícios impressos em 3D, a qualidade estrutural é afetada primeiramente pelos requisitos de imprimibilidade, sendo eles: capacidade de bombeamento, capacidade de extrusão e capacidade de construção. Sendo que, cada um desses aspectos precisa ser garantido, de maneira a conferir a qualidade estrutural da edificação (Xiao et al., 2021; Guamán-Rivera, et al. 2021; Ambily, Kaliyavaradhan, Rajendran, 2024; Haar, Kruger, Zijil, 2023; Schuldt et al., 2021; El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020; Souza, et al., 2024).

A capacidade de bombeamento refere-se à facilidade com que o concreto pode ser bombeado do reservatório para o bico da impressora 3D (F). Adicionalmente, a capacidade de extrusão refere-se à capacidade do concreto fluir, sem obstruções ou interrupções, através do bico de extrusão até a fundação, para a construção da alvenaria. A dosagem de aditivos minerais e químicos, como super plastificantes, incorporadores de ar, entre outros, assim como fibras, são fatores cruciais para garantir esse parâmetro (Guamán-Rivera, et al. 2021; Ambily, Kaliyavaradhan, Rajendran, 2024). A capacidade de construção refere-se ao potencial da edificação manter-se estável após a sobreposição das camadas, sem apresentar fissuras ou problemas estruturais significativos, sendo esta reduzida pela evaporação de água do concreto (Xiao et al., 2021; Guamán-Rivera, et al. 2021;). Inserido na construtibilidade, está o conceito de “Open Time”, definido como o intervalo de

tempo em que o material cimentício pode ser continuamente fornecido pelo bocal, mantendo a plasticidade adequada para permitir a extrusão de camadas estáveis e consistentes que conservam sua forma, sem interrupções ou obstruções (Guamán-Rivera, et al. 2021; Ambily, Kaliyavaradhan, Rajendran, 2024; El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020).

Dado o surgimento recente dessa tecnologia, as suas capacidades estruturais ainda estão sendo estudadas. Os problemas relatados estão, majoritariamente, relacionados a questões como a deformação pelo peso próprio, aderência entre camadas, resistência e direção de impressão. A deformação pelo peso próprio das camadas é um reflexo da falta de construtibilidade, sendo que as camadas anteriores são incapazes de sustentar o peso das que foram adicionadas posteriormente, geralmente por não endurecer o suficiente, passando pelo processo de flambagem e, por fim, levando ao colapso da estrutura (Ambily, Kaliyavaradhan, Rajendran, 2024; Tu, et al., 2023). Para a solução dessa questão, os estudos revisados recomendaram a adição de endurecedores de concreto de rápida ação, porém estes devem ser estudados para não interferirem com outras propriedades estruturais.

Por sua vez, a falta de aderência entre camadas ocasiona na concentração de tensões, visto que ela é essencial para que os componentes impressos em 3D se comportem como estruturas homogêneas. Entre os fatores que influenciam de maneira intensa a aderência dos filamentos, está a rugosidade, porosidade, umidade, temperatura, tensão normal, composição do concreto, idade do substrato e uso de agentes adesivos. A falta de aderência entre as camadas comumente ocasiona em problemas com a anisotropia (diferença das propriedades do material em uma mesma camada), fragilidade estrutural e menor resistência devido à porosidade elevada, acúmulo de água e insuficiente intertravamento de agregados.

Para resolver essas questões, as soluções incluem a adição de pastas cimentícias e colas poliméricas, para as camadas possuírem maior integração sem a formação de vazios. As análises revisadas indicaram que, para garantir uma boa aderência entre camadas, o intervalo de tempo entre uma e outra não deve ser excessivo, pois

a força de ligação entre camadas após a cura diminui caso haja um grande intervalo de tempo entre elas (Ambily, Kaliyavaradhan, Rajendran, 2024; Guamán-Rivera, et al. 2021; Haar, Kruger, Zijil, 2023; Schuldt et al., 2021; Queiroz Junior, 2024).

A resistência estrutural das edificações impressas em 3D está diretamente ligada a direção de impressão das camadas, devido às características anisotrópicas do concreto 3D, contrárias às características isotrópicas do concreto convencional. Devido a essas características anisotrópicas, a direção de carregamento tem um significativo impacto na capacidade de suporte de carga e nas propriedades mecânicas do material.

Observa-se uma alta resistência à compressão e à flexão na direção perpendicular às camadas de deposição, com estudos indicando um aumento de 15%–48% na resistência à compressão e de 3%–16% na resistência à flexão em relação à direção lateral. Esse comportamento está ligado às variações na microestrutura do material, presentes tanto dentro de cada camada e nas interfaces entre elas, resultante do processo de impressão camada por camada.

Por outro lado, a menor resistência ocorre geralmente quando a direção de carregamento é lateral ao trajeto de impressão. A direção de impressão também afeta a qualidade estrutural do produto final, especialmente em no caso de formas complexas. Estratégias para reduzir os possíveis efeitos negativos advindos de uma direção de impressão mal planejada são necessárias, como planejamento para a otimização de trajetórias e padrões de impressão, como trajetos paralelos, contornos paralelos, otimização do ângulo de deposição e controle da velocidade de impressão. Portanto, a direção de impressão influencia diretamente as propriedades mecânicas, a resistência e o desempenho estrutural dos elementos. (Siddika, et al. 2019; Guamán-Rivera, et al. 2021; Schuldt et al., 2021; El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020).

Para garantir que os critérios de impressão sejam atendidos, principalmente o de extrudabilidade, como citado anteriormente, são adicionados super plastificantes, aceleradores e retardadores de endurecimento, e agentes modificadores de

viscosidade. Por se tratar de uma tecnologia recente, existe uma enorme lacuna de normas acerca da sua utilização, sendo que no Brasil, a NBR 52900:2018, instituída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), é responsável por definir os processos da manufatura aditiva de maneira geral. A norma, porém, aborda a impressão 3D de maneira extremamente superficial, sem sequer abordar a possibilidade de utilização na construção, e, portanto, sem definir em qual proporção esses aditivos devem ser utilizados. Semelhantemente, a ISO/ASTM 52939:2023, única norma internacional sobre impressão 3D na construção civil, também não define um traço para a construção. Dessa maneira, não existe nenhuma norma atualmente, no ano de 2024, que estabeleça os parâmetros para o uso de cada componente do traço para a impressão 3D, e, portanto, uma qualidade estrutural mínima (Cunha, 2022).

Graças a essa ausência de normas, cada construtora desenvolve seu próprio traço, de maneira a contornar os problemas estruturais ocasionados pela alta concentração de aditivos. Nesse cenário, diversos estudos acadêmicos estão sendo elaborados para o desenvolvimento de um traço que preserve a qualidade estrutural do edifício, como a utilização de diferentes gramaturas de agregado, nano-sílica, nanoargila, cimento de aluminato de cálcio, areia reciclada, solo, palha, casca de arroz, cal, cinza volante, escória de alto forno granulada, biomassa de eucalipto, e geopolímeros (Souza, et al., 2024; Ambily, Kaliyavaradhan, Rajendran, 2024; Guamán-Rivera, et al. 2021; El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020; Waheed, 2024).

Outro desafio que deve ser considerado para as estruturas impressas é a baixa resistência à tração e a baixa ductilidade naturais do concreto. No entanto, a fim de lidar com essa situação, pode-se inserir nas estruturas impressas um reforço de aço. Esse reforço é colocado manualmente, uma vez que a total automatização desse processo é algo complexo. Além disso, a utilização de fibras é outra forma de melhorar a ductilidade do concreto. Isso porque a utilização de fibras curtas possibilita que haja coesão na mistura quando esta está sendo extrudada e durante o processo de cura. No entanto, essas fibras não garantem a resistência entre as

camadas, sendo necessária a colocação de reforço (Ambily, Kaliyavaradhan, Rajendran, 2024).

Em suma, acerca dos impactos da utilização da impressora 3D na construção civil, conclui-se que a impressora 3D possui grande potencial de utilização, devido a comprovada qualidade estrutural demonstrada através de artigos e edificações já construídas. Porém, ainda existe a necessidade iminente de padronização de um traço base, de maneira a garantir que todas as edificações impressas em 3D tenham um padrão mínimo de qualidade, com resistência definida, proporcionando maior segurança e aceitação do público geral.

4.3 VANTAGENS

Evidentemente, o uso da manufatura aditiva no âmbito da construção proporciona uma série de vantagens para o setor, principalmente devido à diminuição da dependência de mão de obra humana, proporcionada pela automatização do processo. Abaixo encontra-se um resumo acerca dos benefícios que essa tecnologia pode proporcionar a indústria da construção civil:

- **Maior liberdade arquitetônica:** a impressora 3D facilita a construção de estruturas curvas ou com geometrias que seriam mais complexas de se executar com os métodos tradicionais, uma vez que ela elimina a necessidade de se utilizar fôrmas para a execução da alvenaria (Queiroz Junior, 2024).
- **Maior segurança na obra:** a automação do processo proporciona uma diminuição na quantidade de trabalhadores no canteiro e reduz conseqüentemente a chance de acidentes e ferimentos, uma vez que boa parte do processo será executado pela máquina (Pan et al., 2021; Schuldt et al., 2021; Silva, 2023).
- **Redução dos custos:** o uso da impressora 3D tem o potencial de ser benéfico para o orçamento da obra, devido à redução do uso de fôrmas e da mão de obra, além de reduzir consideravelmente os prejuízos gerados por erros humanos e os desperdícios, uma vez que utiliza apenas a quantidade de concreto necessária para a impressão (Haar, Kruger, Zijil, 2023).
- **Menor impacto ambiental:** a tecnologia 3D tem o potencial de ser mais ecologicamente correta do que a construção convencional, por proporcionar menor consumo de materiais e geração de resíduos, menor consumo de água e energia, além de permitir a utilização de materiais reciclados em sua composição (Schuldt et al., 2021; Silva, 2023).

- **Maior produtividade:** a automação da construção proporciona maior velocidade para a construção da edificação devido à eliminação do uso de fôrmas para os componentes impressos e a redução do tempo de cura para o concreto (Schuldt et al., 2021).

4.4 DESVANTAGENS

Como apontado neste estudo, a impressão 3D tem o potencial de trazer diversos benefícios para o setor da construção civil. No entanto, esta tecnologia, assim como outras, também possui desvantagens, principalmente por ser relativamente nova no setor.

- **Alto custo inicial:** as máquinas que imprimem em 3D são relativamente novas e por isso apresentam um alto custo de investimento inicial (Schuldt et al., 2021).
- **Geração de desempregos:** a tecnologia 3D pode ser desvantajosa principalmente em locais nos quais o setor da construção civil é responsável por gerar grande quantidade de empregos, a maioria sem necessidade de qualificação, uma vez que essa tecnologia reduz a participação humana na obra e exige mão de obra qualificada (Queiroz Junior, 2024; El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020; Schuldt et al., 2021; Silva, 2023).
- **Carência de códigos:** por ser uma tecnologia recente, ainda não há regulamentação nacional específica para o uso da manufatura aditiva na construção civil. Internacionalmente, apesar de haver a norma ISO/ASTM 52939:2023, esta ainda precisa ser desenvolvida a fim de definir parâmetros mais específicos para o uso da tecnologia 3D na construção civil.
- **Escalabilidade:** a impressora 3D é uma tecnologia ainda em processo de desenvolvimento, sendo assim a escalabilidade é uma desvantagem da manufatura aditiva, uma vez que as dimensões da edificação ficam limitadas ao nível de alcance da impressora (El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020; Haar, Kruger, Zijil, 2023).

4.5 DESAFIOS

A aplicação prática da impressora 3D na construção civil sofre com diversos obstáculos. Sendo eles de aspectos econômicos, regulatórios, estruturais, materiais e operacionais. Tendo isso em vista, é essencial compreender esses obstáculos para o seu potencial uso em larga escala.

4.5.1 Econômicos e sociais

O alto custo inicial da aplicação da impressão 3D, que engloba o investimento em treinamento de mão de obra especializada, equipamentos e manutenção, representa uma barreira significativa para a sua implementação massiva. Apesar de que os custos possam diminuir com a popularização desta técnica, os que estão relacionados a manutenção das impressoras e necessidade de materiais específicos podem ser fatores dificultantes (El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020).

Além de que, a automatização destes processos diminuirá as oportunidades para várias pessoas na indústria da construção, já que este setor e sua mão de obra estão fortemente enraizados nos métodos tradicionais de construção. Estudos indicam que esta redução da demanda de mão de obra ocasionaria em uma desestabilização econômica em alguns países, nos quais o setor de construção é um grande empregador (El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020).

4.5.2 Regulatório

A falta de normas específicas para impressão 3D, como citado anteriormente, também é um impasse. Como esta é uma tecnologia recente e utiliza materiais não padronizados e sem dados sobre o desempenho ao longo prazo, ainda não existem regulamentos específicos (Holt, et al., 2019). A manufatura aditiva pode exigir alterações nas regulamentações existentes, resultando na necessidade da adaptação ou criação de novas leis. No entanto, avanços já estão sendo feitos para

modificar esta questão. Na China, por exemplo, algumas empresas entraram em conjunto com o departamento nacional de normas de construção para haver uma integração dessas práticas nos códigos de construção existentes (El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020).

4.5.3 Operacionais e de transporte

A organização do canteiro de obras para o uso desta tecnologia representa um desafio operacional e de transporte. O transporte e instalação das impressoras de grande porte pode ocasionar em um aumento considerável no custo e na complexidade do processo (Raza, Besklubova, Zhong, 2023). Além disso, a utilização da impressora em um espaço externo exige um ambiente controlado para garantir a qualidade da obra final, o que dificilmente é algo encontrado em um canteiro de obras (El-Sayegh, Romdhane, Manjikian, 2020). Fatores como poeira, umidade e temperatura podem mudar a reologia (deformação e escoamento) do concreto e comprometer a precisão da impressão (Holt, et al., 2019).

4.5.4 Desafios no âmbito brasileiro

No cenário brasileiro, ainda é visto o forte uso de métodos tradicionais na construção, sem o uso aprofundado de tecnologias como a manufatura aditiva. A técnica de impressão, atualmente no Brasil, está sendo mais voltada para maquetes arquitetônicas e estruturais. Sendo que, um fator que também atrapalha a aplicabilidade desta técnica nacionalmente é a questão do financiamento. A Caixa Econômica Federal é quem está responsável pela maior parte dos financiamentos de obras brasileiras, possuindo algumas regras que precisam ser obedecidas (Medeiros, 2021).

A Caixa usa como parâmetro o DaTec (Documento de Avaliação Técnica), que avalia o desempenho de um determinado produto com a análise das condições de exposição, execução, instalação, operação, uso e manutenção previstas e consideradas na avaliação técnica. Este documento está conforme o Sistema

Nacional de Avaliações Técnicas (SiNat), que não possui registros de construções impressas em 3D (Medeiros, 2021).

O financiamento, até o momento, não é permitido pela Caixa, pois a mesma não tem como comprovar a segurança desse método construtivo. Além disso, há o fator de que o banco, no cenário de descumprimento de pagamento, tem como garantia o imóvel envolvido. Nesse contexto, a inseminação desta tecnologia também é impedida, pois os bancos priorizam a confirmação de sucesso financeiro, sendo um fator tão considerado quanto o de segurança. Ainda não há uma quantidade considerável de obras impressas em 3D registradas nacionalmente, por ser um método construtivo relativamente novo, impedindo a solicitação do financiamento. Diante disso, o não financiamento por parte da Caixa acaba impedindo a aplicação desta tecnologia no país, pois pessoas físicas e jurídicas preferem construir por meio do financiamento, devido ao alto custo das construções e a possibilidade de pagamento a longo prazo (Medeiros, 2021).

Apesar de todos estes contrastes citados, há várias vantagens em utilizar esse método construtivo. Por exemplo, a impressora usa todo material depositado nela e tem um nível de precisão alto, assim, evitando desperdício de matéria-prima. Sendo assim, a quantidade de material seria exatamente determinada, como também o prazo de finalização. Além disso, com sua aplicação, a produtividade seria aumentada e haveria a redução da mão de obra braçal, o que também refletiria na diminuição de acidentes de trabalho, reduzindo também prejuízos gerados por erros humanos. Isso porque, a impressora garante maior precisão nas construções, pois esta imprime rigorosamente o que é colocado no software. Por conta disso, patologias por má execução das partes da obra também seriam um fator reduzido (Medeiros, 2021).

Ademais, programas como Minha Casa Minha Vida também podem ser beneficiados com este método construtivo, devido à capacidade de fazer habitações em grande escala em um curto período. Isso diminuiria o tempo de espera das populações que necessitam ser contempladas com as residências, além de proporcionar maior flexibilidade no design das construções (Medeiros, 2021; Souza, et al., 2024). É

importante salientar que o envolvimento do governo é crucial para o desenvolvimento nacional de tecnologias, através da criação de programas, comitês, leis, etc. Ainda é papel do governo buscar parcerias internacionais com países mais avançados nesta tecnologia para enfrentar os desafios relacionados à aplicação da impressora 3D no mercado brasileiro (Souza, 2024).

5. CONCLUSÃO

Diante do que foi apresentado, a impressora 3D é uma tecnologia que traz diversos benefícios para a indústria da construção, tendo o potencial de minimizar impactos ambientais, reduzir custos e proporcionar eficiência e qualidade para as obras. Entretanto, por ser uma tecnologia relativamente nova, é preciso que mais pesquisas sejam realizadas para o desenvolvimento de normas que padronizem o processo, bem como o traço do concreto a fim de conferir maior credibilidade a qualidade das estruturas impressas. Adicionalmente, o estudo no campo de materiais, buscando a utilização de matéria-prima com menor impacto ambiental que o cimento, seria de fundamental importância, uma vez que a fabricação deste insumo apresenta um impacto considerável no ambiente.

Além disso, o investimento, por parte do Governo Federal, em estudos e em mais aplicações da tecnologia no Brasil, é um passo importante para mitigar os desafios da implantação da impressora 3D no setor da construção no país. Ademais, deve-se considerar os impactos sociais ao adotar a nova técnica, uma vez que, no Brasil, a indústria da construção é responsável por ofertar uma quantidade considerável de empregos. Diante disso, é de fundamental importância entender o impacto socioeconômico causado pela adoção da tecnologia, visando reduzi-lo.

Outrossim, a fim de mitigar os desafios e limitações da impressora relacionados a logística e escalabilidade, é necessário que estudos aprofundem-se nesse campo. No entanto, apesar desses e outros desafios, essa técnica tem a capacidade de otimizar o gerenciamento da obra, diminuindo o desperdício de materiais e mão de obra, bem como a incidência de acidentes no canteiro. Ademais, a possibilidade de integração dessa técnica com outras tecnologias da indústria 4.0, também podem contribuir para o gerenciamento da obra, beneficiando consequentemente os custos. Além disso, a tecnologia também favorece a elaboração do projeto, ao permitir maior liberdade arquitetônica para as construções, uma vez que não utiliza fôrmas. Isso pode ser interessante para empreendimentos como o programa “Minha Casa, Minha Vida”, pois além dos benefícios com os custos e o tempo de execução da obra, permite também a criação de designs mais inovadores.

6.REFERÊNCIAS

ABDALLA, Hadeer *et al.* Environmental footprint and economics of a full-scale 3D-printed house. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11978, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/21/11978>. Acesso em: 21 jul. 2024.

AHMED, Ghafur H. A review of “3D concrete printing”: Materials and process characterization, economic considerations and environmental sustainability. **Journal of Building Engineering**, v. 66, p. 105863, 2023. Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S2352710223000426>. Acesso em: 16 ago. 2024.

AMBILY, P. S.; KALIYAVARADHAN, Senthil Kumar; RAJENDRAN, Neeraja. Top challenges to widespread 3D concrete printing (3DCP) adoption—A review. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 28, n. 2, p. 300-328, 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19648189.2023.213294>. Acesso em: 04 out. 2024.

ARCHDAILY. **Construa sua casa em um dia através da impressão 3D**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/868407/construa-sua-casa-em-um-dia-atraves-da-impresao-3d>. Acesso em: 14 nov. 2024.

BARBOSA, Filipe *et al.* **Reinventing construction through a productivity revolution**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>. Acesso em: 15 ago. 2024.

BAZLI, Milad *et al.* 3D printing for remote housing: Benefits and challenges. *Automation in Construction*, v. 148, p. 104772, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580523000328>. Acesso em: 29 out. 2024.

CARBONARI, Luana Toralles *et al.* IMPRESSÃO 3D COM MATERIAIS CIMENTÍCIOS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DE PROJETOS RESIDENCIAIS. *MIX Sustentável*, [S. l.], v. 9, ed 4, 2023. DOI <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX>

2023.v 9. n 4. p.27-39. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/6083>. Acesso em: 13 ago. 2024.

COBOD. Braço robótico vs impressora de pórtico: definição. *In*: COBOD. Quais são as diferenças entre braço robótico e impressora 3D de concreto tipo pórtico?. [S. l.], 17 mai. 2023. Disponível em: <https://cobod.com/robotic-arm-vs-gantry-3d-concrete-printer/>. Acesso em: 4 nov. 2024.

COSMOS3D. **Projetos**. Disponível em: <https://cosmos3d.tech/pt-br/projetos/>. Acesso em: 03 nov. 2024.

CRUZ, Maria Clara *et al.* Uso da Impressora 3D na construção civil: uma proposta de redução sustentável do desperdício de materiais. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFG, 16., 2023, Formosa. **Anais [...]**. Goiás: IFG, 2024.p.1 Disponível em: <https://periodicos.ifg.edu.br/sicti/article/view/1378/109>. Acesso em: 13 ago. 2024.

CUNHA, Marina de Oliveira. **Estudo dos avanços da impressão tridimensional e suas aplicações na Construção Civil**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/50262>. Acesso em: 19 jun. 2024.

DIXIT, Manish. 3-D printing in building construction: a literature review of opportunities and challenges of reducing life cycle energy and carbon of buildings. *In*: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2019. p.012012. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/290/1/012012/meta>. Acesso em: 10 jun. 2024.

EL-SAYEGH, Sameh, *et al.* A critical review of 3D printing in construction: benefits, challenges, and risks. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**, Wrocław, Polônia. v. 20 n. 34, 10 mar. 2020. DOI:10.1007/s43452-020-00038-w. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339837597_A_critical_review_of_3D_printing_in_construction_benefits_challenges_and_risks. Acesso em: 12 jun. 2024.

FERREIRA, Raissa Alecrim. **Manufatura aditiva na construção civil**: elementos de concreto. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: https://poli-integra.poli.usp.br/wp-content/uploads/2023/11/2023_Raissa-Alecrem-Ferreira.pdf. Acesso em: 14 dez. 2024.

FORMIGA, Caio Vinicius Efigenio; CARNEIRO, Marcos Lajovic. Impressão 3D para construção civil: revisão da literatura e desafios. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, [S. l.], v.13, ed. 4, dez. 2021. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/19632>. Acesso em: 1 ago. 2024.

FUYUMOTION. O que é um sistema de pórtico para a impressão 3D. [S. l.], 15. jul.2024. Disponível em: <https://www.fuyumotion.com/pt/news/what-is-a-gantry-system-for-3d-printing/#:~:text=Um%20sistema%20de%20p%C3%B3rtico%20para%20impress%C3%A3o%203D%20%C3%A9%20uma%20estrutura,o%20tr%C3%AAs%20e%20a%20impress%C3%A3o>. Acesso em: 15 nov. 2024.

GERMANO, Aline Xavier dos Santos, *et al.* Contribuição das tecnologias da indústria 4.0 para a sustentabilidade: uma revisão sistemática. **Palavra Chave (La Plata)**, [S. l.] v.11, n 1, p.13, 2021. DOI: 10.24215/18539912e142. Disponível em: <https://www.palabraclave.fahce.unlp.edu.ar/article/view/pce142>. Acesso em: 30 ago. 2024.

GUAMÁN-RIVERA, Robert *et al.* Recent developments and challenges of 3D-printed construction: A review of research fronts. **Buildings**, v. 12, n. 2, p. 229, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/2/229>. Acesso em: 03 jul. 2024.

HAAR, Bjorn Ter; KRUGER, Jacques; VAN ZIJL, Gideon. Off-site construction with 3D concrete printing. **Automation in Construction**, v. 152, p. 104906, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580523001668>. Acesso em: 17 set. 2024.

HOLT, Camille et al. Construction 3D printing. In: **3D Concrete Printing Technology**. Butterworth-Heinemann, 2019. p. 349-370. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128154816000178>. Acesso em: 10 out. 2024.

INOVAHOUSE3D (Brasil). Brasil constrói sua primeira casa modelo impressa em 3D!. [S. l.], 8 jul. 2020. Disponível em: <https://www.inovahouse3d.com.br/>. Acesso em: 1 dez. 2024.

LIMA, Yuri Araújo; ARAÚJO, Davi Santiago de; PIRES, Rachel Cristina Santos. Automatização da Construção Civil Através de Impressoras 3D. Epitaya E-books, [S. l.], v. 1, n. 32, p. 24-32, 2023. DOI: 10.47879/ed.ep.2023724p24. ISBN 978-65-87809-72-4 Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/720>. Acesso em: 7 ago. 2024.

MAZUCATO, Thiago *et al.* Técnicas de Pesquisa. In: FONTANA, Felipe. **Metodologia da Pesquisa e do Trabalho Científico**. Penápolis, 2018. p. 59-77. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://faculdefastech.com.br/fotos_upload/2022-02-16_10-06-51.pdf&ved=2ahUKEwj81Jyo2dmGAXUJppUCHessCGgQFnoECBkQAQ&usg=AOvVaw3eEZAZPa2NZTNxNzN17TkQ. Acesso em: 13 jun. 2024.

MEDEIROS, Carolina Santos Fernandes de. **Análise sobre os avanços da tecnologia 3D e soluções para uma possível aplicabilidade na construção civil brasileira**. 2021. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/16598>. Acesso em: 23 jul. 2024.

OFFICE of the Future. Emirados Árabes Unidos, 2016. Disponível em: <https://www.killadesign.com/portfolio/office-of-the-future/>. Acesso em: 19 nov. 2024.

OLIVEIRA, Anísio Fernandes de, VIOLIN, Ronan Yuzo Takeda. A manufatura aditiva na indústria da construção civil como instrumento de redução do déficit habitacional. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, [S. l.], 2023, v.15,ed.1, 2023. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/21725>. Acesso em: 3 mai. 2024.

OLIVEIRA, Govinda Ratna Souza de *et al.* A Indústria 4.0 e Construção Civil: principais aspectos relacionados à sustentabilidade. *In*: 2° CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA, 2. 2022, Vitória. **Anais** [...]. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo 2022. p. 878-883. ISBN: 978-989-536 26-0-8. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/369556193_A_Industria_4_0_e_Construcao_Civil_principais_aspectos_relacionados_a_sustentabilidade. Acesso em: 13 ago. 2024.

PAN, Yifan et al. 3D printing in construction: state of the art and applications. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 115, n. 5, p. 1329-1348, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-021-07213-0>. Acesso em: 03 out. 2024.

QUEIROZ JUNIOR, Cleanto Carlos de. **A utilização da impressão 3D na construção civil**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/57486>. Acesso em: 21 jul. 2024.

RAZA, Muhammad Huzaifa; BESKLUBOVA, Svetlana; ZHONG, Ray Y. Economic Analysis of Offsite and Onsite 3d Construction Printing Techniques: A Comparative Value Stream Assessment. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4640386. Acesso em: 01 out. 2024.

ROQUE, Rodrigo Alexander Lombardi; PIERRI, Alexandre Coan. Intelligent use of natural resources and sustainability in civil construction. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 8, n. 2, p.3, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i2.703. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/703>. Acesso em: 7 jul. 2024.

ROSSI, Costanza et al. Comparison of embodied carbon of 3D-printed vs. conventionally built houses. **Findings**, 2024. Disponível em: <https://findingspress.org/article/89707-comparison-of-embodied-carbon-of-3d-printed-vs-conventionally-built-houses>. Acesso em: 10 jul. 2024.

SANTOS, Beatrice Paiva; ALBERTO, Agostinho; LIMA, Tânia Daniela Felgueiras Miranda. INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES. **Revista Produção e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 4, n. 1. p. 1-10, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32358/rpd.2018.v4.316>. Disponível em: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/167/1671510006/index.html>. Acesso em: 30 mai. 2024.

SCHULDT, Steven *et al.* A systematic review and analysis of the viability of 3D-printed construction in remote environments. **Automation in Construction**, [S. l.], v. 125, p.2-16, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103642>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521000935#s0080>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SIDDIKA, Ayesha et al. 3D-printed concrete: Applications, performance, and challenges. **Journal of Sustainable Cement-Based Materials**, v. 9, n. 3, p. 127-164, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21650373.2019.1705199>. Acesso em: 08 set. 2024.

SILVA, Isabella Manguiera da. **Estudo exploratório do uso da impressão 3D na construção civil**. 2023. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal da Paraíba, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/3193>. Acesso em: 8 out. 2024.

SILVA, Nathália Barreto da. **O uso de impressoras 3D em construções no brasil e no mundo**. 2023. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023. Disponível em: https://rii.ufam.edu.br/bitstream/prefix/7344/6/TCC_Nath%c3%a1liaSilva.pdf. Acesso em: 24 jul. 2024.

SOUZA, Eduarda et al. 3D printed sustainable low-cost materials for construction of affordable social housing in Brazil: Potential, challenges, and research needs. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 87, 2024. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108985>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710224005539>. Acesso em: 25 nov. 2024.

TU, Haidong et al. Recent advancements and future trends in 3D printing concrete using waste materials. **Developments in the Built Environment**, p. 100187, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165923000698>. Acesso em: 28 out. 2024.

UOL. **Esta casa feita por impressora 3D na BA pode ser movida para qualquer lugar**. Disponível em: <https://www.uol.com.br/nossa/noticias/redacao/2024/11/09/esta-casa-feita-por-impressora-3d-na-ba-pode-ser-movida-para-qualquer-lugar.htm>. Acesso em: 27 nov. 2024.

VIERA, Débora Bispo; FILHO, Welber Vaz de Menezes; PIRES, Plínio Ferreira. O futuro da impressão 3d na engenharia brasileira. *In*: 5º SIMPÓSIO NACIONAL DE CIÊNCIAS E ENGENHARIAS, 1., 2021, Anápolis. **Anais** [...]. Anápolis: UniEvangélica, 2021, p. 172-178. ISSN 2596-1144. Disponível em: <https://anais.unievangolica.edu.br/index.php/SINACEN/article/view/6618/3712> Acesso em: 29 jul. 2024.

WAHEED, Ahmed Radhi; WAHHAB, Khalid Abdul. Benefits of 3D Printing as A Sustainable Building Technology for Post-Disaster Housing. **Benefits**, v. 12, n. 2, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ahmed-Waheed-20/publication/377953555_Benefits_of_3D_Printing_as_A_Sustainable_Building_Technology_for_Post-Disaster_Housing/links/65c0027f1e1ec12eff739f10/Benefits-of-3D-Printing-as-A-Sustainable-Building-Technology-for-Post-Disaster-Housing.pdf. Acesso em: 13 ago. 2024.

XIAO, Jianzhuang et al. Large-scale 3D printing concrete technology: Current status and future opportunities. **Cement and Concrete Composites**, v. 122, p. 104115,

2021.Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946521001839>.Acesso em: 04 set. 2024.