

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

ISABELLA MANGUEIRA DA SILVA

**ESTUDO EXPLORATÓRIO DO USO DA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Cajazeiras-PB
2023

ISABELLA MANGUEIRA DA SILVA

**ESTUDO EXPLORATÓRIO DO USO DA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação da Prof. Raquel Ferreira do Nascimento.

Cajazeiras-PB
2023

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

S586e Silva, Isabella Mangueira da.
Estudo exploratório do uso da impressão 3D na construção civil /
Isabella Mangueira da Silva.– 2023.

21f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da
Paraíba, Cajazeiras, 2023.

Orientador(a): Profª. Me. Raquel Ferreira do Nascimento.

1. Construção civil. 2. Impressão 3D. 3. Tecnologia. 4.
Sustentabilidade. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba. II. Título.

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Artigo apresentado à coordenação do curso como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

ESTUDO EXPLORATÓRIO DO USO DA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

ISABELLA MANGUEIRA DA SILVA

isabella.mangueira@academico.ifpb.edu.br

RAQUEL FERREIRA DO NASCIMENTO

raquel.nascimento@ifpb.edu.br

RESUMO

A técnica de Impressão 3D tem revolucionado o setor da construção civil. Este artigo estuda de maneira exploratória a utilização da Impressão 3D nessa área, bem como apresenta as principais obras produzidas no mundo com essa tecnologia, desafios e perspectivas de autores sobre o tema, vantagens e limitações, e o crescimento de pesquisas em materiais nos últimos anos. Apresenta uma visão geral das análises feitas pelos autores dos textos mais recentes pesquisados, por meio de ferramentas como a Capes, Mendeley, Google Acadêmico, Scielo e Science Direct. Dessa forma, foi possível perceber a eficácia dessa tecnologia, mostrando ser uma alternativa viável na construção civil. As pesquisas recentes sobre o tema buscam aumentar o número de materiais sustentáveis capazes de obter as propriedades ideais para serem impressos, reduzindo a poluição do planeta. Além disso, a tecnologia ainda é influenciada por preconceitos em torno da substituição de trabalhos manuais e da necessidade de mão de obra especializada. O meio acadêmico demanda novas pesquisas que solucionem esses obstáculos.

Palavras-Chave: manufatura aditiva; impressão 3D; construção civil; tecnologia.

ABSTRACT

The 3D printing technique has revolutionized the construction industry. This article studies in an exploratory way the use of 3D Printing in this area, as well as presenting the main works produced in the world with this technology, challenges and perspectives of authors on the subject, advantages and limitations, and the growth of research in materials in recent years. It presents an overview of the analyzes made by the authors of the most recent texts researched, using tools such as Capes, Mendeley, Google Scholar, Scielo and Science Direct. In this way, it was possible to perceive the effectiveness of this technology, proving to be a viable alternative in civil construction. Recent research on the subject seeks to increase the number of sustainable materials capable of obtaining the ideal properties to be printed, reducing the pollution of the planet. In addition, technology is still influenced by prejudices around the replacement of manual work and the need for skilled labor. The academic world demands new research to solve these obstacles.

Keywords: additive manufacturing; 3D printing; civil construction; technology.

1 INTRODUÇÃO

A área da construção civil ainda utiliza métodos de construção arcaicos, o que pode levar a inúmeros erros construtivos e acidentes nos canteiros de obras. Existem inúmeras residências construídas com espaços irregulares e necessidade de reformas, o que gera gastos elevados. Além disso, essas abordagens construtivas demandam muito tempo para erguer uma edificação, enquanto é responsável por uma enorme quantidade de geração de resíduos e emissão de gases nocivos ao planeta. A indústria carece de tecnologias revolucionárias que minimizem custos, resíduos, prazos e acidentes em obras, bem como construa habitações dignas (CONTOUR CRAFTING, 2017).

Uma das técnicas que vem modificando os métodos de produção e fabricação em todas as áreas da indústria é a Impressão 3D, tecnologia que permite imprimir objetos com três dimensões: altura, largura e profundidade, utilizando diversos insumos. O uso da Impressão 3D iniciou-se na década de 1980, objetivando apenas uma rápida produção de protótipos bastante requisitados na indústria. A partir dos anos 2000 começou o efeito de popularização desse método de fabricação aditiva (SOUZA, 2021).

Segundo o Instituto Euvaldo Lodi do Rio Grande do Sul (2019), anteriormente, a fabricação de objetos era feita pelo processo de manufatura subtrativa, de uma forma mais modeladora, utilizando as mãos até chegar à forma do objeto desejado. Durante esse processo de produção, é comum ocorrer desperdício e geração de resíduos. Em contrapartida, a manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, permite o desenvolvimento de objetos por meio da adição das camadas de materiais, como plástico, gel, pó ou metal, conforme planejamento digital. Essa técnica demonstra viabilidade em diversas áreas da indústria, desde a engenharia aeroespacial até a medicina, possibilitando a produção de componentes personalizados e otimizados.

De acordo com o Centro de Tecnologia de Edificações (2021), no setor da construção civil, a utilização de impressoras 3D é comumente aplicada, principalmente no Brasil, na confecção de maquetes, auxiliando a apresentação do projeto aos clientes e reduzindo o tempo e os custos em comparação com o trabalho manual de concepção de maquetes. Além disso, a manufatura aditiva permite a impressão de casas com inúmeras vantagens. Entre elas a uma redução significativa do uso de mão de obra, tempos de execução mais rápidos, possibilitando a construção de edificações em questão de dias ou até mesmo horas, e uma diminuição do desperdício de matérias-primas utilizadas. Atualmente essa tecnologia tem se destacado como uma técnica utilizada na produção de conjuntos habitacionais de forma rápida e econômica.

Existem vários exemplos de empreendimentos produzidos com impressoras 3D pelo mundo, como uma casa construída em apenas 24 horas na Rússia, que custou apenas cerca de 31 mil reais e a primeira ponte construída com o uso da tecnologia na Espanha, composta de concreto, assim como outras construções na China e outros países (SOUZA, 2021). Porém, até o presente momento, persistem dúvidas sobre a viabilidade dessa tecnologia no que diz respeito à construção de moradias, e um dos motivos para isso é a necessidade de mão-de-obra especializada (CORRÊA, 2019).

Os serviços de construção civil ainda seguem um modelo arcaico, operando majoritariamente com métodos tradicionais, como a construção subtrativa. Além disso, o alto custo inicial da aquisição das máquinas responsáveis pela impressão de casas, juntamente com os desafios culturais específicos do setor da construção no Brasil, muitas vezes resultam em uma preferência por serviços manuais devido aos custos iniciais mais acessíveis. Outrossim, é importante apontar a inexistência de normas e questões técnicas a serem estudadas, mostrando que para esta tecnologia se tornar revolucionária e viável no futuro é preciso, em especial, de um estudo aprofundado dos possíveis impactos causados na qualidade do imóvel fabricado com as impressoras de três dimensões (CORRÊA, 2019).

Diante disso, a presente pesquisa tem como objetivo explorar o uso da Impressão 3D na construção civil, apresentando as construções existentes no mundo produzidas com essa tecnologia, bem como o progresso em construções inovadoras. Além disso, abordar os avanços em pesquisas sobre argamassas impressas em 3D, os desafios da tecnologia e as perspectivas de autores envolvidos com o tema em estudo. Serão apresentadas as vantagens e limitações, que servirão como ponto de partida para a problemática deste estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A manufatura aditiva modificou o modo como objetos e estruturas são fabricadas. Essa tecnologia permite a impressão de peças em 3D construídas de forma sucessiva por adição de camadas. A partir da seguinte base teórica, é possível compreender os princípios essenciais para explorar essa tecnologia.

2.1 MANUFATURA ADITIVA

A técnica de Impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, teve origem no início dos anos 80 e é considerada uma das tecnologias essenciais da quarta revolução industrial (Indústria 4.0), devido ao fato de ser integralmente digital desde o seu surgimento e ser facilmente adaptável à evolução do maquinário industrial (SILVA, 2018).

Embora as técnicas de manufatura aditiva já estivessem sendo estudadas desde a década de 70, por meio do desenvolvimento de pesquisas nas áreas de topografia e fotoescultura, foi somente em 1986, após o registro realizado pela 3D Systems da primeira máquina comercial de estereolitografia, que surgiu a promessa de imprimir peças em três dimensões por meio de processos de prototipagem rápida (VOLPATO, 2018).

Anteriormente, com a manufatura subtrativa, um protótipo era moldado manualmente até alcançar a forma desejada, o que consumia bastante tempo e resultava em muitos erros. Com a introdução da manufatura aditiva, surgiu a garantia de fabricar peças conforme as especificações previamente definidas pelo cliente, em produções de grandes lotes e em diferentes formatos (BOTELHO; FOLLA; XAVIER, 2022).

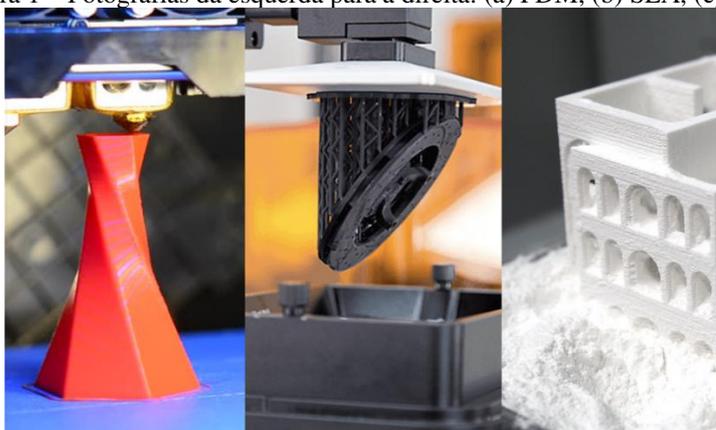
O processo de construção por adição revoluciona o setor da construção civil, uma vez que permite a impressão de estruturas, sendo controlado por computadores com a utilização da tecnologia BIM, que é responsável por integrar todos os dados geométricos do projeto com o processo de planejamento e concretização (DALLASEGA; RAUCH; LINDER, 2018).

Com suas diversas aplicações, a manufatura aditiva é uma tecnologia que tem se destacado na indústria 4.0, devido à sua eficiência em reduzir custos, tempo e materiais (INÁCIO *et al.*, 2020). Inicialmente, as técnicas de fabricação aditiva eram utilizadas exclusivamente para a produção de protótipos visuais, sem grande preocupação com os materiais empregados, dimensões e funcionalidades. Com o reconhecimento de sua eficácia, as técnicas de manufatura aditiva precisaram atender às exigências do uso de materiais especializados e oferecer novas capacidades. Desde então, diversos setores têm se beneficiado do uso dessa tecnologia, com destaque para as indústrias aeroespacial, automobilística, medicina, odontologia, engenharia civil, arquitetura e produtos eletrônicos e elétricos em geral (VOLPATO, 2018).

2.2 MÉTODOS DA IMPRESSÃO 3D

Todas as terminologias existentes no campo da impressão 3D foram categorizadas em sete gêneros pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) em 2010. Entre os métodos mais utilizados nesse processo estão a Estereolitografia (SLA), Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) (SILVA *et al.*, 2019). Na Figura 1, são apresentadas fotografias de exemplos dos três principais tipos de processos na manufatura aditiva.

Figura 1 – Fotografias da esquerda para a direita: (a) FDM, (b) SLA, (c) SLS.



Fonte: Martinelli (2019).

O recurso FDM funciona através do processo de extrusão de termoplásticos. A máquina possui um injetor que, quando aquecido, puxa o filamento plástico. Em seguida, esse filamento passa por bicos extrusores e é depositado na plataforma, construindo a peça camada por camada (PORTO, 2016).

A técnica de SLA é pioneira e revolucionou os métodos de fabricação industrial por apresentar uma alternativa mais econômica, que passou por aprimoramentos desde a sua criação. Essa abordagem utiliza radiação ultravioleta (UV) para curar a resina polimérica, transformando o fotopolímero do estado líquido para sólido, camada por camada, com base em um modelo criado por CAD. Já o método de SLS utiliza um feixe de laser para moldar a peça a partir de uma composição de material em pó (ANGONESE, 2021).

Os métodos de manufatura aditiva mais utilizados no setor da construção civil são o *Contour Crafting* (CC), *Concrete Printing* e *D-Shape*, que serviram como base para o desenvolvimento de novas tecnologias na impressão de edificações. O CC é uma técnica de impressão que utiliza materiais cimentícios controlados por computador, idealizada pela University of Southern California, e se tornou um dos pilares para a implementação de outras tecnologias da manufatura aditiva (PORTO, 2016).

O CC é considerado a primeira técnica construtiva com impressão 3D, elaborada com o objetivo de despejar o material cimentício camada por camada até construir todas as paredes de um edifício, como mostra a Figura 2. O material é depositado por um bocal com múltiplos modos, permitindo um preenchimento diferenciado nas laterais e no interior das paredes, e oferecendo a possibilidade de união de vários materiais (BOTELHO; FOLLA; XAVIER, 2022).

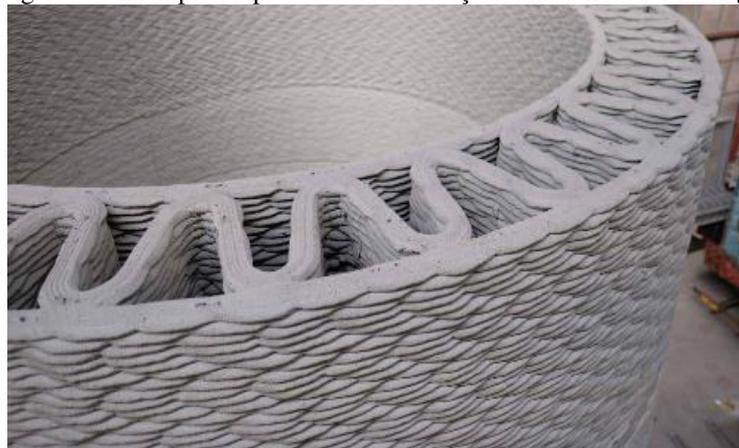
Figura 2 – Exemplo do processo de impressão com CC.



Fonte: Contour Crafting (2017).

O método de impressão 3D conhecido como *Concrete Printing*, possui um processo de fabricação semelhante ao do *Contour Crafting*. No entanto, possui uma menor resolução na deposição das camadas, o que proporciona maior liberdade de impressão, conforme apresentado na Figura 3. Além disso, o *Concrete Printing* possui uma estrutura de tamanho reduzido e não utiliza pás, sendo preferencialmente realizado em ambiente fechado (PORTO; KADLEC, 2018).

Figura 3 – Exemplo do processo de fabricação com *Concrete Printing*.



Fonte: COBOD (2023a).

A tecnologia *D-Shape* é mais um procedimento de construção realizado por impressoras 3D, como visto na Figura 4, em que atua com a deposição de um pó escolhido após um processo de endurecimento, por meio da aplicação de material ligante depositado no local. Com isso, o material utilizado nessa tecnologia apresenta um aspecto de granulado orgânico. As camadas desse material são levadas para a impressora com uma espessura desejada e, em seguida, são prensadas por uma tinta de ligação inorgânica até atingir o modelo almejado no projeto 3D (WU *et al.*, 2018).

Figura 4 – Exemplo de impressora *D-Shape*.



Fonte: Adlughmin (2014).

2.3 MATERIAIS UTILIZADOS

A efetividade da impressão 3D está ligada não somente à capacidade de impressão, mas também aos materiais utilizados. Nesse contexto, é importante explorar os materiais empregados nesse processo. Essa diversidade engloba desde filamentos termoplásticos, os quais viabilizam a impressão de objetos com alto nível de detalhamento, até materiais cimentícios específicos para a construção de edificações. Além disso, torna-se essencial compreender as propriedades cruciais desses materiais, que os tornam adequados para aplicação no setor da construção civil. A seguir, são abordados esses subtópicos, apresentando os materiais utilizados e suas características essenciais para assegurar uma impressão de qualidade.

2.3.1 Filamentos

Os filamentos mais utilizados em impressoras 3D são o ácido polilático (PLA), que é o mais sustentável, porém também o mais frágil. Possui uma temperatura de impressão menor em comparação com o acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), que necessita de mesa aquecida e é o filamento mais utilizado na manufatura aditiva, sendo também o mais barato. O Polietileno Tereftalato (PET) é o plástico aplicado em garrafas plásticas e embalagens, oferecendo uma boa resistência mecânica e química. Existem derivados como o polietileno tereftalato modificado com glicol (PETG), que se torna mais claro e menos frágil, e o Politereftalato de trimetileno (PETT), que é mais rígido do que o PETG e transparente. O nylon é um polímero muito utilizado na indústria e engenharia, com ótima resistência química, porém é muito sensível à umidade. Os polímeros flexíveis TPE (Elastômero Termoplástico), Poliuretano Termoplástico (TPU) e Copoliéster Termoplástico possuem menor custo e maior produção em comparação com elastômeros normais. O PC (policarbonato) é o mais resistente ao impacto, muito durável e se assemelha ao vidro por ser transparente (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

2.3.2 Cimentícios

Os materiais cimentícios utilizados na impressão 3D são compostos de agregado fino, apresentando aspecto de rejunte e argamassa. Para possibilitar a impressão em 3D, uma argamassa adequada é composta por aglutinante, agregado miúdo e água (CHEN *et al.*, 2022).

Essas argamassas aplicadas em impressoras 3D atingem rapidamente uma alta resistência, sendo compostas por cimento, materiais finos, adições de pozolana e, em muitos casos, adjuvantes retardadores. Os equipamentos essenciais para a impressão de massa cimentícia por extrusão incluem misturadoras, bomba de transporte (que pode ser substituída por trabalho manual), impressora e uma extrusora para depositar as camadas dos materiais (TEIXEIRA, 2018).

2.3.3 Propriedades Importantes

As propriedades importantes para a aplicação de uma argamassa na manufatura aditiva estão relacionadas à umidade do material. Isso requer características como uma boa capacidade de bombeamento, permitindo que o material se mova facilmente ao longo do tubo. Além disso, é necessário que a argamassa tenha capacidade de impressão, isto é, que seja depositada com facilidade pelo bico de

deposição. A capacidade de construção também é fundamental, envolvendo a resistência do material ao peso das camadas consecutivas. Por fim, é necessário considerar o tempo aberto, que corresponde ao intervalo de tempo durante o qual o material mantém uma trabalhabilidade adequada para a impressão (LIM *et al.*, 2012).

Existe uma oposição entre a capacidade de construção e a capacidade de extrusão no processo de confecção do concreto 3D. Ambas as propriedades são importantes tanto para permitir que o material se mova de forma fluida durante o bombeamento, quanto para garantir uma construção rápida da estrutura interna. A obtenção da propriedade de extrudabilidade requer o uso de materiais que sejam facilmente bombeáveis durante a impressão. Por outro lado, para garantir uma boa construtibilidade, os materiais precisam se fixar firmemente entre as camadas (WENG *et al.*, 2019).

As propriedades reológicas influenciam no estado de deformação e no fluxo da matéria. Durante o processo de impressão 3D, as argamassas são submetidas a um escoamento forçado, o que resulta em uma alteração contínua e baixa resistência ao cisalhamento. No contexto da impressão, onde é essencial garantir a integridade do objeto, é fundamental observar essas propriedades reológicas. Por exemplo, a viscosidade, que indica a resistência à deformação ao escoamento causada pelo atrito entre as camadas do fluido, e a consistência, que avalia a capacidade da argamassa de preservar suas dimensões e formato após sair da forma ou sofrer esforços (DINIZ, 2023).

O concreto impresso requer certas propriedades essenciais em seu estado endurecido, como densidade elevada, alta resistência à compressão, à flexão e à tração, devido à influência da aderência entre as camadas. Essa aderência é influenciada pela estrutura anisotrópica das camadas, que pode formar vazios e enfraquecer a capacidade de suporte do material. Além disso, o concreto deve apresentar baixa retração por secagem, uma vez que a construção é realizada sem o uso de estruturas de suporte, como formas, o que pode levar à evaporação da água do concreto e resultar em possíveis rachaduras (LE *et al.*, 2012).

3 MÉTODO DA PESQUISA

A figura 5 apresenta uma sequência das etapas seguidas ao longo da realização da pesquisa, ilustrando de maneira clara o processo metodológico utilizado para alcançar os objetivos propostos, proporcionando uma visão geral do planejamento e execução do trabalho.

Figura 5 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autoria Própria (2023).

O estudo tem como finalidade entender a efetividade do uso da Impressão 3D na construção civil. O tipo de pesquisa utilizada é descritiva, uma vez que, segundo Diana (2019), esse tipo de pesquisa tem como objetivo descrever um tema com mais detalhes, ampliando a compreensão dos leitores e consequentemente transferindo novas informações sobre o tema, sem utilizar de suposições inadequadas.

Foi adotada uma abordagem de pesquisa qualitativa, que busca apresentar dados descritivos, sem serem quantificados, com o objetivo de expressar de forma reflexiva as informações coletadas sobre

o tema em estudo. Tem como objetivo fornecer novos conhecimentos para o avanço da área de estudo na construção civil, sem prever alguma aplicabilidade prática. Trata-se de uma pesquisa básica, de análise bibliográfica, utilizando materiais teóricos, artigos, periódicos, livros, revistas, jornais, dissertações e teses publicadas, com foco na tecnologia da Impressão 3D na construção civil.

A escolha do tema se baseou na necessidade de implementar novas técnicas nos processos da construção civil e na presença do conservadorismo, especialmente no Brasil, em relação ao desempenho de edificações construídas com o uso da manufatura aditiva. Após definir a problemática, foi realizado um estudo aprofundado sobre o assunto, a fim de compreender melhor o problema, conhecer exemplos de edificações construídas com essa tecnologia e compreender, até o momento, os motivos pelos quais essa técnica ainda não é amplamente empregada.

A escolha dos documentos utilizados foi realizada utilizando alguns critérios a fim de garantir uma base de dados relevante sobre o tema e de fontes confiáveis. Os critérios de inclusão estabelecidos buscaram selecionar apenas os documentos que abordam diretamente a aplicação da Impressão 3D na construção civil, excluindo a abordagem da tecnologia em outras áreas e os que apresentam o tema de uma forma superficial. Foram priorizados os temas publicados em fontes confiáveis, excluindo matérias de fóruns de discussão e páginas de opinião sem respaldo científico, garantindo a qualidade dos dados coletados.

Foram realizadas pesquisas sobre o tema em estudo utilizando as ferramentas de pesquisa Google Acadêmico, Capes, Scielo, Mendeley e Science Direct, priorizando os termos de busca. Após a inserção das palavras-chave, como "Impressão 3D", "Manufatura Aditiva" e "Construção Civil", foram exploradas também suas respectivas traduções em inglês. Isso permitiu uma investigação mais abrangente do objetivo da pesquisa, selecionando a opção de filtro relacionada ao tema "construções".

A partir disso, foram selecionados documentos publicados nos últimos dez anos, no máximo. Após a determinação da periodização, os textos foram escolhidos por meio da leitura dos títulos, seguida pelos resumos e conclusões dos estudos correspondentes, para entender o conteúdo abordado e obter uma visão geral das informações encontradas. Foram identificados os principais tópicos abordados em relação ao uso da Impressão 3D na construção civil, como as tecnologias utilizadas, materiais empregados, tipos de construções que podem ser realizadas, vantagens e desvantagens, entre outros. Foram feitas comparações entre os materiais coletados para analisar as convergências e divergências nas informações apresentadas por diferentes autores. Além disso, os dados obtidos foram analisados em relação ao contexto de evolução da tecnologia da Impressão 3D, como avanços na adoção de novos materiais e construções inovadoras.

A compilação dos trabalhos abrange um período de publicação que varia de 2014 até 2023. Os países de origem dos documentos incluem, entre outros, Brasil, Alemanha, Reino Unido, Portugal, Estados Unidos, Espanha, Holanda, China e Austrália.

Foram utilizados 45 documentos. Posteriormente, esses documentos selecionados foram salvos na plataforma de armazenamento na nuvem, Google Drive, contribuindo assim para uma melhor organização dos materiais designados.

Com o intuito de auxiliar na análise dos dados e na construção da discussão da problemática em estudo, foram elaborados fichamentos a partir da leitura dos materiais salvos na plataforma de armazenamento na nuvem. Esses fichamentos visaram proporcionar uma melhor estruturação das ideias dos autores pesquisados, assim como de suas respectivas referências fundamentais para a efetivação desta pesquisa.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

Ao fazer uma análise abrangente dos trabalhos científicos disponíveis sobre o assunto, buscou-se apresentar uma visão geral das pesquisas realizadas até o momento, destacar as principais obras desenvolvidas com a tecnologia, as ideias relevantes dos autores, e identificar as vantagens e limitações existentes, além de compreender em qual área está havendo maior foco de pesquisas que possam contribuir em uma melhor direção futura. Além disso, este estudo visa oferecer clareza para a área acadêmica da engenharia e arquitetura, profissionais da indústria da construção e pesquisadores interessados em adotar a impressão 3D como uma técnica inovadora para substituir processos manuais na construção de estruturas.

4.1 CONSTRUÇÕES REVOLUCIONÁRIAS IMPULSIONADAS PELA IMPRESSÃO 3D

Nos últimos anos, a impressão 3D tem sido aplicada com sucesso na construção civil, promovendo edificações inovadoras. A seguir destaca-se alguns exemplos que mostram o potencial dessa tecnologia.

4.1.1 Experiências Iniciais com Impressão 3D na Construção Civil

A primeira ponte construída por impressão 3D foi inaugurada em 2016, pela empresa *The Institute for Advanced Architecture of Catalonia* (IAAC), na Cidade de Madri, na Espanha. Essa ponte possui uma extensão de 12 metros e é composta por 8 seções de concreto reforçado. Já em 2017, na Holanda, foi produzida a primeira ponte para ciclistas utilizando essa tecnologia. Essa conquista foi resultado de uma parceria entre a *Eindhoven University of Technology* e a empresa BAM Infra, e o projeto foi concluído em apenas três meses. A ponte holandesa consiste em aproximadamente 800 camadas de concreto (SILVA *et al.*, 2019). A Figura 6 apresenta fotos dessas duas pontes pioneiras.

Figura 6 – Fotos da primeira ponte construída com impressão 3D e da primeira ponte para ciclistas utilizando essa tecnologia.



Fonte: (a) IAAC (2016); (b) SMADM (2017).

WinSun é a empresa que mais se destaca, mundialmente, nesse ramo de construções com manufatura aditiva, tendo obtido êxito na construção de 10 casas em 24 horas, bem como na edificação do primeiro prédio impresso em 3D, localizado na China, com 6,6 metros de altura, 10 metros de largura e 40 metros de comprimento, conforme mostra a Figura 7. Essa empresa se destaca por ser capaz de construir prédios de 6 andares com material impresso em 3D, seus métodos de construção podem reduzir 60% dos gastos com materiais, 30% de duração da obra e 80% em mão-de-obra (SEVENSON, 2015).

Figura 7 – Primeiro edifício do mundo construído com Impressão 3D pela *WinSun*.



Fonte: Sevenson (2015).

Segundo COBOD (2023b), o primeiro edifício construído por impressoras 3D na Europa chama-se *The BOD*, localizado na Dinamarca, conforme exibida na Figura 8. Foi construído pela empresa COBOD, com uma área de 50 m² e todas as suas paredes são curvas. Durante a construção, foram

inseridos manualmente reforços no interior das paredes. Dois anos depois, a construção foi reproduzida com uma nova impressora chamada BOD2, capaz de imprimir no local edifícios de vários andares em um prazo reduzido de 22 dias para 3 dias, em comparação com a primeira construção.

Figura 8 – Primeiro edifício construído com Impressão 3D na Europa.



Fonte: COBOD (2023b).

A primeira edificação impressa em 3D no Brasil, conforme exposta na Figura 9, foi realizada em Natal, Rio Grande do Norte, no ano de 2020, pelas empresas InovaHouse3D e 3DHomeConstruction, idealizada por estudantes de engenharia da cidade de Brasília, com recursos limitados. A construção teve sua primeira estrutura com área de impressão de 3 metros de altura, 7,6 metros de largura, e 12 metros de comprimento e segue os padrões de uma casa popular. O valor do metro quadrado ficou em torno de R\$50,00. O processo de fabricação da estrutura foi realizado em uma semana, utilizando uma impressora em formato de pórtico e a tecnologia *Contour Crafting* (MARTINELLI, 2020).

Figura 9 – Primeira casa impressa em 3D no Brasil.



Fonte: Martinelli (2020).

4.1.2 Avanços de Construções Utilizando Impressão 3D

O edifício produzido em 3D, conhecido como o “Escritório do Futuro”, foi planejado para ser a sede da *Dubai Future Foundation*, como apresentado na Figura 10. O projeto reduziu os custos de mão de obra em 50% a 80% e os resíduos em 30% a 60%. Suas peças foram construídas e montadas em Dubai, sendo totalmente operacional, com sistemas elétrico, hidráulico e telefônico integrados (SAKIN; KIROGLU, 2017).

Figura 10 – Escritório da Futuro, sede da Dubai Future Foundation.



Fonte: Sakin e Kiroglu (2017).

A empresa americana *Azure Printed Homes* constrói estúdios, edículas e edificações por meio da Impressão 3D, conforme mostrado um exemplo na Figura 11, foi executado empregando mais de 60% de material plástico proveniente de garrafas descartadas. Essa abordagem se beneficia de um processo 70% mais rápido e 30% mais econômico em comparação com os métodos de construção clássicos, além de contribuir para a preservação do meio ambiente (RONBARNOY, 2022).

Figura 11 – Edificação impressa utilizando materiais plásticos.



Fonte: Ronbarnoy (2022).

A WASP é uma empresa italiana responsável por projetar e construir a edificação chamada "Gaia", construída em uma área de 20 m², conforme apresentada na Figura 12. A casa foi feita utilizando materiais como terra, arroz, madeira, concreto e cimento. O objetivo da construção foi promover uma abordagem sustentável e de baixo custo, utilizando a impressora *Crane WASP*. A edificação foi concluída em apenas 10 dias, com um total de 100 horas de impressão (CHIUSOLI, 2018).

Figura 12 – Edificação chamada Gaia, construída pela impressora *Crane Wasp*.



Fonte: Chiusoli (2018).

Na Califórnia, a empresa *Mighty Buildings* tem alcançado sucesso com a Impressão 3D construindo condomínios compostos por casas neutras em carbono por meio da Manufatura Aditiva, conhecidas como *casas net zero*, conforme mostra a Figura 13. Essas casas têm a proposta de neutralizar a emissão de carbono e são projetadas para utilizar fontes de energia sustentáveis, além de gerar 99% menos resíduos. Elas são construídas utilizando um material termofixo chamado *Light Stone*, que é altamente durável e termicamente estável, apresentando resistência à tração e flexão superior ao concreto, pesando 30% menos (MIGHTY BUILDINGS, 2022).

Figura 13 – Condomínio formado por casas neutras em carbono fabricadas com Impressão 3D.



Fonte: Mighty Buildings (2022).

4.2 AVANÇOS NA PESQUISA DE ARGAMASSAS PARA CONSTRUÇÃO IMPRESSA EM 3D

Hambach e Volkmer (2017) apresentaram os primeiros resultados de um compósito fabricado por impressão 3D, utilizando pasta de cimento Portland e fibras de carbono, vidro e basalto com comprimentos variando de 3 a 6 mm. A pesquisa tinha o objetivo de analisar soluções para substituir concretos reforçados com aço por fibras curtas de reforço. Essas novas adaptações demonstraram alta resistência à flexão (até 30 MPa) e compressão (até 80 MPa), devido ao processo de impressão proporcionar o alinhamento das fibras dentro da estrutura impressa.

Brun (2021) implementou uma pesquisa visando avaliar as condições tecnológicas de uma argamassa impressa em 3D capaz de atender aos padrões necessários para sua execução, utilizando misturas com diferentes materiais para encontrar a melhor performance de resistência e extrusão, incluindo ensaios de consistência e propriedades de resistência no estado fresco e endurecido. De acordo com sua tese, os melhores resultados foram obtidos com o uso de uma proporção de cimento/agregado de 1:1, granulometria de rocha calcária inferior a 1 mm, proporção de cinza volante de 30% em relação ao peso do cimento, quantidade de superplastificante não superior a 1%, relação água/cimento de 0,36% e uma proporção de 0,5% do peso do cimento para o acelerador de pega foi suficiente.

Barbosa (2022) realizou uma pesquisa com o objetivo de produzir uma argamassa utilizando substituição parcial de cimento por argila calcinada e filler calcário, utilizando traços de 20, 30 e 35% de cimento com percentuais de 39 a 54% de metacaulim e de 19 a 30% de filler calcário. Os resultados obtidos demonstraram boa trabalhabilidade, tixotropia e resistência para um material imprimível. Concluiu-se que as argamassas com maior concentração de filler calcário apresentaram maior resistência nos ensaios de compressão, indicando que a substituição do cimento em argamassas imprimíveis pode ser uma opção sustentável.

Estudos foram realizados por Araújo, Ferreira e Cerri (2022) utilizando resíduos da construção civil, incluindo pó de bloco cerâmico com dimensões inferiores a 0,15 mm, cal hidratada, argila e solução de silicato de sódio. O propósito desses estudos foi combinar uma massa à base de pó de bloco cerâmico ativada com hidróxido de cálcio, juntamente com argila e silicato de sódio. Os resultados mostraram que uma adição de apenas 10% de argila foi suficiente para obter uma fração vermelha fluida, especializada para impressão em 3D, apresentando resultados satisfatórios em termos de resistência mecânica, conforme as normas brasileiras para alvenaria de vedação.

Jesus *et al.* (2022) realizaram um estudo utilizando cinza do bagaço da cana-de-açúcar como substituto do cimento Portland em argamassas de impressão 3D. Os resultados foram promissores, com

uma proporção de 5% de cinza na mistura da argamassa, apresentando resistência mecânica similar a uma mistura com cimento após 28 dias, e mantendo as propriedades adequadas nos estados fresco e endurecido. Essa alternativa se mostra viável para reduzir as emissões de carbono e o consumo de energia na construção civil, além de aproveitar a disponibilidade abundante da cana-de-açúcar no Brasil e na Índia.

Diniz (2023) analisou o efeito da areia, da água e da adição de metacaulim nas propriedades de extrusão e construtibilidade de compósitos cimentícios para impressão 3D. Verificou-se que a relação água/ligantes desempenha um papel importante na fluidez dos materiais, afetando sua capacidade de extrusão. O metacaulim mostrou-se adequado para controlar a extrudabilidade e retardar o tempo de pega. Observou-se que a substituição parcial do cimento reduziu a tixotropia, resultando em deformações e comprometendo a construtibilidade. Concluiu-se que misturas contendo 30% de metacaulim foram viáveis para alcançar boa construtibilidade e extrusão em maiores teores de água.

Zhou, Gou e Zhang (2023) realizaram ensaios substituindo a areia natural por rejeitos de bauxita em uma argamassa de Impressão 3D. Com o estudo, concluíram que a proporção ideal de rejeitos de bauxita como agregado miúdo é de 35%, resultando em uma argamassa imprimível com boa trabalhabilidade e alta resistência mecânica, otimizando a construtibilidade do material.

4.3 DESAFIOS E PERSPECTIVAS

As técnicas de Impressão 3D podem ajudar a resolver alguns problemas de construção com materiais cimentícios. É uma tecnologia que tem crescido na última década, em especial em estudos nas universidades, porém é mais utilizada a maneira de impressão por extrusão. De acordo com ensaios feitos percebeu-se que os materiais não podem ser produzidos sem ter as características fundamentais para impressão. Adicionalmente, o desempenho mecânico, que pode ser acertado com adição de fibras e a durabilidade são alterados pelo processo de impressão (TEIXEIRA, 2018).

A aplicabilidade da impressão 3D na construção de edificações ainda está avançando lentamente no Brasil. Atualmente, sua funcionalidade está direcionada principalmente para a produção de maquetes arquitetônicas ou estruturais, devido ao alto valor de investimento inicial. Entretanto, em Curitiba, engenheiros estão desenvolvendo uma tecnologia nacional que busca oferecer um melhor custo-benefício nessa área. Essa tecnologia em estudo é de grande importância para o crescimento do mercado da engenharia civil, pois contribui para quebrar padrões e preconceitos com novos métodos. A eficiência dessa tecnologia em escala global mostra que a Impressão 3D impulsiona questões econômicas, sociais e culturais nos locais em que é adotada. Seu benefício mais notável é a redução do desperdício de matéria-prima, uma vez que a impressão 3D permite uma utilização precisa dos materiais (SILVA *et al.*, 2019).

Um dos principais propósitos da realização de pesquisas científicas a respeito do *Contour Crafting* deve-se à necessidade de utilizar materiais eficientes na aplicação dessa tecnologia. A busca pelo desenvolvimento de materiais à base de cimento, com propriedades adequadas para impressão e favoráveis ao meio ambiente, tem sido um desafio, assim como novos métodos de aplicação da técnica de construção por contornos (HAMIDI; ASLANI, 2019).

Para Formiga e Carneiro (2020), mesmo com o crescimento nos últimos anos da Impressão 3D na construção de edifícios, em especial com concreto, e todas as suas utilidades na redução de custos, tempo e resíduos, ainda existem desafios a serem superados. Por exemplo, a fabricação em grande escala, o desenvolvimento de materiais adequados, a ausência de regulação, a garantia da integridade estrutural dos elementos impressos, o planejamento de obras e a falta de simulação computacional do processo são desafios que precisam ser enfrentados. Nesse sentido, tanto os pesquisadores quanto as empresas da área desempenham um papel importante na superação desses desafios e na transformação dessa tecnologia em uma alternativa comum na indústria da construção.

4.4 VANTAGENS E LIMITAÇÕES

A manufatura aditiva revela-se como uma forte opção para favorecer o planejamento urbano sustentável. Essa tecnologia utiliza processos que oferecem liberdade na criação de formatos geométricos e materiais que contribuem para soluções sustentáveis, resultando na redução de impactos ambientais e mudanças climáticas, além de promover o progresso social e econômico (BUSH; DOYON, 2019; SAKIN; KIROGLU, 2017).

Pelo método convencional, a construção de uma casa requer uma equipe de aproximadamente 25 trabalhadores, que podem estar expostos a riscos de segurança, e o tempo de execução do serviço é de três meses. Com o uso da tecnologia construtiva com impressão 3D, o número de funcionários pode ser reduzido de 25 para 4, e o período de construção, de três meses para 20 horas (BOTELHO; FOLLA; XAVIER, 2022).

De acordo com Florêncio (2019), destacam-se a seguir as vantagens predominantes do concreto produzido por Impressão 3D em comparação com o método convencional:

- redução do valor e da duração da obra, uma vez que o processo é automatizado, demanda menos mão de obra e diminui os resíduos de materiais;
- exatidão na confecção do projeto feito em software, evitando problemas de execução;
- liberdade e flexibilidade nos formatos das peças, difíceis de serem fabricadas utilizando métodos tradicionais;
- alinhado à sustentabilidade, o método reduz o consumo de água, cimento e outros agentes poluentes do meio ambiente;
- aprimoramento do gerenciamento de projetos e obras, diminuindo os erros de interpretação e execução e ampliando a segurança do trabalho;
- redução do uso de transportes, já que a estrutura é totalmente produzida no canteiro de obras;
- aplicações para construções de habitação social, permitindo a construção de casas em poucas horas.

Conforme observado por Volpato (2018), o método de fabricação por manufatura aditiva possui algumas ressalvas, como a diferença nas propriedades dos materiais em comparação ao modo subtrativo, o que pode resultar em limitações na produção de certas peças. Além disso, o acabamento externo tende a ser inferior ao processo manual, e podem ocorrer empenamentos do material se não for bem regulado.

Segundo Florêncio (2019), algumas limitações e motivos para a não consolidação da tecnologia na prática da indústria da construção civil são:

- conservadorismo dos profissionais e da sociedade, que preferem métodos tradicionais;
- alto custo de implantação inicial devido à compra das máquinas;
- substituição de uma mão-de-obra artesanal mais barata por uma especializada;
- preocupação com o aumento do desemprego na área;
- necessidade de um estudo de transição gradual dos trabalhadores para novos postos de trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o objetivo geral da pesquisa, foi apresentado o crescimento e eficácia dessa tecnologia no mundo todo, mostrando que essa tecnologia é capaz de realizar casas com eficiência e com inovações que contribuem para a sustentabilidade, economia de custos e diminuição de erros construtivos. No entanto, a tecnologia ainda sofre influência do preconceito por parte de profissionais e consumidores da área, devido à falta de informação sobre o tema, especialmente no Brasil. Essa falta de conhecimento contribui para a escassez de investimentos nesse tipo de fabricação.

Foram alcançados os objetivos de apresentar diversas construções impressas em 3D existentes no mundo, demonstrando a liberdade e facilidade de construir em formatos complexos, bem como o aumento de casas construídas com materiais totalmente sustentáveis, aprovadas de acordo com os padrões de construção, realizadas de forma rápida e econômica. Do mesmo modo, foram destacadas as vantagens e limitações relacionadas à implantação dessa técnica, proporcionando uma compreensão mais aprofundada das particularidades do tema em estudo.

Observou-se um crescimento nas pesquisas relacionadas à aplicabilidade de diversos materiais nos processos de impressão, uma vez que é necessário obter algumas propriedades essenciais para a realização da construção de acordo com os padrões da construção civil. Por outro lado, nota-se um foco na utilização de materiais de baixo custo que também reduzem a poluição do planeta, possuindo propriedades tão resistentes quanto o concreto convencional.

Estudos futuros sobre a tecnologia de Impressão 3D podem se direcionar aos desafios sociais existentes para a implementação dessa técnica. É válido buscar soluções para a dificuldade dos custos iniciais em alguns países e planejar a transformação de algumas funções de trabalhadores em novos cargos especializados em métodos inovadores. Ao mesmo tempo, é necessária a implementação da tecnologia no meio acadêmico, nas suas diversas áreas de conhecimento, com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre essa nova tecnologia e desmistificar prejulgamentos.

REFERÊNCIAS

ADLUGHMIN, D-Shape looks to 3D print bridges, a military bunker, and concrete/metal mixture. 3DPRINT.COM. 2014. Disponível em: <https://3dprint.com/27229/d-shape-3d-printed-military/>. Acesso em: 17 jun. 2023.

ANGONESE, Beatriz Pinetti. **Estudo teórico comparativo entre as técnicas de manufatura aditiva - estereolitografia e sinterização seletiva a laser - para produção de scaffolds**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/26080/1/estudocomparativomanufaturasc scaffolds.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2023.

ARAÚJO, Márcia Silva de; FERREIRA, Gabriel Elias Toledo; CERRI, José Alberto. Massa cerâmica à base de resíduo da construção civil para impressão 3D por extrusão. *In: DUARTE, Armando Dias (org.). Engenharia Civil: demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 2*. Ponta Grossa-PR: Atena, 2022. cap. 6, p. 63-76. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/engenharia-civil-demandas-sustentaveis-e-tecnologicas-e-aspectos-ambientais-2>. Acesso em: 23 mai. 2023.

BARBOSA, Tuanny da Silva. **Impressão 3D de argamassas contendo argila calcinada e filler calcário**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/50722>. Acesso em: 24 mai. 2023.

BESKO, Marcos; BILYK, Claudio B.; SIEBEN, Priscila Gritten. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. **Revista Gestão, Tecnologia e Inovação**, Curitiba, v. 1, p. 9-18, 2017. Disponível em: <https://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n3/Artigo2-n3-Bilyk.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2023.

BOTELHO, Guilherme Ferreira; FOLLA, Marcelo Aparecido; XAVIER, Milton Domingos. A evolução da manufatura aditiva no meio acadêmico. **REMIPE - Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec Osasco**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 24-37, 2022. DOI: 10.21574/remipe.v8i1.367. Disponível em: <http://remipe.fatecosasco.edu.br/index.php/remipe/article/view/367>. Acesso em: 17 jun. 2023.

BRUN, Francis Giovani. **Aplicação de impressão 3D na construção civil: caso de estudo de mobiliário urbano**. Dissertação (Engenharia Civil – Construções Cíveis), 2021. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/handle/10400.8/5529>. Acesso em: 25 mai. 2023.

BUSH, Judy; DOYON, Andréanne. Building urban resilience with nature-based solutions: how can urban planning contribute? **Cities**. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275119313976?via%3Dihub>. Acesso em: 20 abr. 2023.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. **Impressão 3D na construção civil: o que já é realidade?** CTE. 2021. Disponível em: <https://cte.com.br/blog/inovacao-tecnologia/impressao-3d-na-construcao-civil-o-que-ja-e-realidade/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

CHEN, Yu, HE, Shen; GAN, Yidong; ÇOPUROĞLU, Oğuzhan; VEER, Fred; ERIK, Schlangen, A review of printing strategies, sustainable cementitious materials and characterization methods in the context of extrusion-based 3D concrete printing. **Journal of Building Engineering**, v. 45, January 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221014571>. Acesso em: 24 mai. 2023.

CHIUSOLI, Alberto. **The first 3D printed house with earth | Gaia**. 3D Wasp. 2018. Disponível em: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/>. Acesso em: 6 jun. 2023.

COBOD. **Projects and partners**. 2023a. Disponível em: <https://cobod.com/projects-partners/>. Acesso em: 16 jun. 2023.

COBOD. **The BOD**. 2023b. Disponível em: <https://cobod.com/projects-partners/the-bod-building/>. Acesso em: 6 jun. 2023.

CONTOUR CRAFTING. **Offering automated construction of various types of structures**. 2017. Disponível em: <https://www.contourcrafting.com/building-construction>. Acesso em: 16 jun. 2023.

CORRÊA, Fabiano Rogério. **Impressoras 3D podem reduzir desperdício de matéria-prima nos canteiros**: com promessa de revolucionar o setor da construção civil, tecnologia possibilitará, ainda, maior controle da qualidade. AECWEB, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/impressoras-3d-podem-reduzir-desperdicio-de-materia-prima-nos-canteiros/13190>. Acesso em: 16 jan. 2023.

DALLASEGA, Patrick; RAUCH, Erwin; LINDER, Christian. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. **Computers in Industry**, p. 205-225. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361517305043?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jun. 2023.

DIANA, Juliana. **Pesquisa descritiva, exploratória e explicativa**: qual a diferença entre pesquisa descritiva, exploratória e explicativa? Diferença, 2019. Disponível em: <https://www.diferenca.com/pesquisa-descritiva-exploratoria-e-explicativa/#:~:text=A%20principal%20diferen%C3%A7a%20entre%20esses,para%20compreender%20causas%20e%20efeitos>. Acesso em: 4 fev. 2023.

DINIZ, Hugo Alessandro Almeida. **Avaliação da influência da incorporação de metacaulim e das relações areia/ligantes e água/ligantes nas propriedades de concretos para impressão 3D**. 2023. Tese (Engenharia dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/52423>. Acesso em: 24 mai. 2023.

FLORÊNCIO, Eduardo Quintella. **A impressão 3D em concreto e seu impacto na produção da arquitetura**: o futuro da construção civil? Dissertação (Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5537>. Acesso em: 30 mai. 2023.

FORMIGA, Caio Vinicius Efigenio; CARNEIRO, Marcos Lajovic. **Impressão 3D em concreto**: revisão da literatura e desafios. ABEPRO. Goiás, 2021. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_WPG_346_1779_41448.pdf. Acesso em: 6 jun. 2023.

HAMBACH, Manuel; VOLKMER, Dirk. Properties of 3D-printed fiber-reinforced portland cement paste. **Cement and Concrete Composites**. Germany, p. 62-70, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946516301093?via%3Dihub>. Acesso em: 27 jun. 2023.

HAMIDI, Fatemeh; ASLANI, Farhad. Additive manufacturing of cementitious composites: materials, methods, potentials, and challenges. **Construction and Building Materials**, p. 582-609. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819313194?via%3Dihub>. Acesso em: 19 abr. 2023.

INÁCIO, Danilo; DROZDA, Fabiano Oscar; SILVA, Wiliam de Assis; MARQUES, Marcos Augusto Mendes; SELEME, Robson. A importância da manufatura aditiva como tecnologia digital para a indústria 4.0: uma revisão sistemática. **Revista Competitividade e Sustentabilidade**, v. 7, n. 3. 653–667 p, 2020. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/comsus/article/view/23861>. Acesso em: 17 mai. 2023.

INSTITUTO EUVALDO LODI DO RIO GRANDE DO SUL. **Você sabe o que é a fabricação aditiva?** Confira! IELRS, 2019. Disponível em: <https://www.ielrs.org.br/industria-inteligente/voce-sabe-o-que-e-fabricacao-aditiva-confira>. Acesso em: 12 jan. 2023.

JESUS, M.; TEIXEIRA, J.; ALVES, J. L.; PESSOA, S.; GUMARÃES, A. S.; RANGEL, B. Potential use of sugarcane bagasse ash in cementitious mortars for 3D printing. In: SILVA, Lucas F. M. **Materials Design and Applications IV**. Springer, Cham, 2022, p. 89–103. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-18130-6_7. Acesso em: 27 jun. 2023.

LE, Thanh, AUSTIN, S.A.; LIM, S.; BUSWELL, R.A.; LAW, R.; GIBB, A. G. F.; THORPE, T. Hardened properties of high-performance printing concrete. **Cement and Concrete Research**. United Kingdom, p. 558-566. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884611003255?via%3Dihub#bb0185>. Acesso em: 27 jun. 2023.

LIM, S.; BUSWELL, R.A.; LE, T. T.; AUSTIN, S.A.; GIBB, A. G. F.; THORPE, T. Developments in construction-scale additive manufacturing processes. **Automation in Construction**, v. 21, p. 262-268, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580511001221?via%3Dihub>. Acesso em: 23 mai. 2023.

MARTINELLI, Juliana. **As tecnologias de impressão 3D mais utilizadas: FFF, SLA e SLS**. Inova House 3D. 2019. Disponível em: <https://www.inovahouse3d.com.br/post/blog-tecnologias-de-impressao-3d>. Acesso em: 16 jun. 2023.

MARTINELLI, Juliana. **Brasil constrói sua primeira casa modelo impressa em 3D!** Inova House 3D. 2020. Disponível em: <https://www.inovahouse3d.com.br/post/brasil-constr%C3%B3i-sua-primeira-casa-modelo-impressa-em-3d>. Acesso em: 6 jun. 2023.

MIGHTY BUILDINGS. **Combining 3D printing, robotics, and material science**. Mighty Buildings. 2022. Disponível em: <https://www.mightybuildings.com/technology>. Acesso em: 7 jun. 2023.

PORTO, Gabriele de Bonis Patekoski; KADLEC, Thalita Malucelli de Moraes. **Mapeamento de estudos prospectivos de tecnologias na revolução 4.0: um olhar para a indústria da construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8115>. Acesso em: 2 jun. 2023.

PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://www.arataumodular.com/app/wp-content/uploads/2022/07/Estudo-dos-Avancos-da-Tecnologia-de-Impressao-3d-e-da-Sua-Aplicacao-na-Construcao-Civil.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2023.

RONBARNOY. **Azure has been selected to create the first community to be 3D printed from recycled plastic**. Azure Printed Homes. 2022. Disponível em: <https://www.azureprintedhomes.com/post/azure-has-been-selected-to-create-the-first-community-to>

be-3d-printed-from-recycled-plastic. Acesso em: 7 jun. 2023.

SAKIN, Mehmet; KIROGLU, Yusuf Caner. 3D Printing of buildings: construction of the sustainable houses of the future by BIM. **Energy Procedia**, v. 134, p. 702-711, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217346969?via%3Dihub>. Acesso em: 20 abr. 2023.

SEVENSON, Brittney. **Shanghai-based winsun 3D Prints 6-story apartment building and an incredible home**. 3DPRINT.COM. 2015. Disponível em: <https://3dprint.com/38144/3d-printed-apartment-building/>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SILVA, Alexandre Macedo da; FERREIRA, André Silvestre; SILVA, Igor Oliveira da; MAIA, Saulo Oliveira; FARIA, Rodrigo Nascimento Portilho de. **Impressão 3D na construção civil**. 2019. 7 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres, Anápolis, 2019. Disponível em: http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/8486/1/6_AlexandreAndreIgorSaulo.pdf. Acesso em: 10 abr. 2023.

SILVA, Jorge Vicente Lopes da. **A manufatura aditiva (impressão 3D): desafios e oportunidades para as empresas inovadoras**. Medium, 2018. Disponível em: <https://medium.com/hist%C3%B3rias-weme/a-manufatura-aditiva-impress%C3%A3o-3d-desafios-e-oportunidades-para-as-empresas-inovadoras-19edab646004>. Acesso em: 18 mai. 2023.

SMADM. **Holanda inaugura ponte construída com impressão 3D**. LWT Sistemas. 2017. Disponível em: <https://www.lwtsistemas.com.br/2017/10/22/ponte-construida-com-impressao-3d/>. Acesso em: 6 jun. 2023.

SOUZA, Pâmela. **Impressão 3D na construção civil: entenda a importância dessa técnica inovadora**. Voitto, 2021. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/impressao-3d-na-construcao-civil>. Acesso em: 12 jan. 2023.

TEIXEIRA, João Hildeberto Silva. **Impressão 3D com extrusão de materiais cimentícios**. Dissertação (Design Industrial e de Produto) - Faculdade de Belas Artes do Porto, Porto, 2018. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/117813>. Acesso em: 29 mai. 2023.

THE INSTITUTE FOR ADVANCED ARCHITECTURE OF CATALONIA-IAAC. **3D printed bridge**. IAAC. 2016. Disponível em: <https://iaac.net/project/3d-printed-bridge/>. Acesso em: 6 jun. 2023.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2018. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=ni9dDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 20 mai. 2023.

WENG, Yiwei *et al.* Feasibility study on sustainable magnesium potassium phosphate cement paste for 3D printing. **Construction and Building Materials**, p. 595-603, 10 out. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819312127?via%3Dihub>. Acesso em: 18 mai. 2023.

WU, Peng; ZHAO, Xiambo; BALLER, Jessica Hedi; WANG, Xiangyu. Developing a conceptual framework to improve the implementation of 3D printing technology in the construction industry. **Architectural Science Review**, p. 133-142, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00038628.2018.1450727>. Acesso em: 18 abr. 2023.

ZHOU, Longfei; GOU, Mifeng; ZHANG, Haibo. Investigation on the applicability of bauxite tailings as fine aggregate to prepare 3D printing mortar. **Construction and Building Materials**. China, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822035607?via%3Dihub>. Acesso em: 27 jun. 2023.

ISABELLA MANGUEIRA DA SILVA

ESTUDO EXPLORATÓRIO DO USO DA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de artigo, submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 13 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RAQUEL FERREIRA DO NASCIMENTO**
Data: 02/08/2023 14:38:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Raquel Ferreira do Nascimento – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **JOHN WILLIAMS FERREIRA DE SOUZA**
Data: 02/08/2023 18:19:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

John Williams Ferreira de Souza – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
 **LEONARDO DE SOUZA DIAS**
Data: 02/08/2023 16:02:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Leonardo de Souza Dias – UFPB
Examinador Externo



Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Versão Final do TCC

Assunto: Versão Final do TCC
Assinado por: Isabella Silva
Tipo do Documento: Dissertação
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Isabella Mangueira da Silva, ALUNO (201822200013) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 25/08/2023 10:34:00.

Este documento foi armazenado no SUAP em 25/08/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 922596
Código de Autenticação: 19dbe6c1a4

