



REVOLUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: AVANÇOS DA IMPRESSÃO 3D EM CONCRETO

Zanetti, Dionatan¹

Stankievicz, Lindomar Lucas²

Dal Molin, Débora³

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso investiga a impressão 3D e seu impacto na construção civil. Inicialmente, é apresentada uma contextualização sobre a tecnologia, abordando seu processo, aspectos históricos e evolução. Explora-se quando e como surgiu a impressão 3D, bem como os materiais utilizados e suas principais aplicações em diversos setores. Em seguida, concentra-se na aplicação da impressão 3D na construção civil, examinando os motivos para sua utilização, suas vantagens em relação aos métodos tradicionais e realizando um comparativo entre ambos. Uma análise detalhada é realizada sobre os métodos de impressão em concreto, incluindo as máquinas utilizadas e os diferenciais desses processos. São destacadas diversas aplicações realizadas ao redor do mundo, como a construção de pontes, casas e prédios, demonstrando o potencial da tecnologia na indústria da construção. Por fim, são discutidas as dificuldades enfrentadas na implementação da impressão 3D na construção civil brasileira, incluindo questões regulatórias, financeiras e de infraestrutura.

Palavras- chave: Impressão em Concreto, Impressão 3d, Manufatura aditiva, Tecnologia.

¹ Acadêmico do curso de engenharia civil da faculdade de Ampère/FAMPER

² Orientador. Mestre em Tecnologia e Gestão da Inovação. Professor da Faculdade de Ampère/FAMPER

³ Co orientadora. Mestre em História. Professora da Faculdade de Ampère/ FAMPER

1 INTRODUÇÃO

A introdução de novas tecnologias e métodos de produção pode impulsionar significativamente o crescimento econômico de uma nação, conforme destacado por Joseph Schumpeter (2023) em sua obra "Capitalismo, Socialismo e Democracia". Nesta segunda edição ampliada do livro original de 1942, Schumpeter introduz o conceito de "destruição criativa", ressaltando como a inovação tecnológica não só impulsiona o crescimento econômico, mas também transforma indústrias tradicionais. O autor enfatiza, ainda, o papel crucial do empreendedorismo no desenvolvimento econômico.

Pode-se afirmar que as revoluções industriais foram períodos marcados por significativas transformações que geraram aumento de produção, e sem exceção, todas foram impulsionadas por inovações tecnológicas. Pode-se vincular a Primeira Revolução Industrial à invenção da máquina a vapor, que permitiu a mecanização de processos. Já a Segunda Revolução Industrial pode ser conectada a energia elétrica que permitiu a artesãos e pequenas empresas, que não tinham poder aquisitivo para uma máquina a vapor, pudessem mecanizar também a sua produção. Por fim, a Terceira Revolução Industrial está relacionada à automação e à eletrônica que permitiu o desenvolvimento de novas tecnologias.

Segundo Anderson (2012), autor do livro "*Makers: The new Industrial Revolution*", na essência, revolução industrial refere-se a um conjunto de tecnologias que amplificam drasticamente a produtividade das pessoas, mudando tudo, desde a longevidade e a qualidade de vida até onde e como as pessoas vivem. O autor acredita que estamos vivenciando uma nova Revolução Industrial, impulsionada pela disseminação das impressoras 3D, que estão transformando a abordagem e o processo de produção.

A teoria também é confirmada por Vieira et al (2021):

Esta nova fase, não trata apenas de novas tecnologias, mas da conexão entre elas, conceitos como: inteligência artificial, realidade aumentada, big data, nanotecnologia, biologia sintética, internet das coisas definem a quarta revolução industrial. No ramo da construção civil, as novas tecnologias estão cada vez mais engajadas, e um bom exemplo é o uso de Impressão 3D nas construções.

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso (TCC) é analisar a tecnologia de impressão 3D na construção civil, com ênfase na impressão em concreto. Pretende-se avaliar sua aplicação prática em projetos construtivos e apresentar de maneira clara e acessível as vantagens e desvantagens associadas a essa técnica. Buscando contribuir para uma compreensão mais abrangente sobre a viabilidade, aplicabilidade e desafios de implementação dessa inovação na indústria da construção.

De encontro aos objetivos, a metodologia deste trabalho baseia-se na condução de uma pesquisa bibliográfica e na análise crítica do material (livros, artigos científicos, monografias, dissertações de mestrado e outros) relacionados à impressão 3D na construção civil e impressão em concreto. O processo inclui a seleção cuidadosa de artigos relevantes em bases de dados acadêmicos, a leitura atenta e a síntese das informações pertinentes. A abordagem adotada visa sintetizar os dados provenientes de estudos anteriores, permitindo uma compreensão da impressão 3D convencional e a impressão 3D aplicada na construção civil.

2 - JUSTIFICATIVA

A evolução tecnológica tem desempenhado um papel fundamental na redefinição dos processos tradicionais da construção civil, e a impressão 3D emerge como uma das inovações mais promissoras nesse contexto. Este trabalho propõe-se a investigar a influência da impressão 3D na construção civil, destacando sua relevância por meio de estudos de casos e análises de aplicações práticas.

A justificativa para este estudo é baseada na necessidade de compreender o impacto e as oportunidades oferecidas pela impressão 3D na construção civil. Esta tecnologia apresenta potencial para revolucionar a maneira como estruturas são concebidas, projetadas e construídas, permitindo a fabricação de componentes complexos de forma eficiente e econômica. Casos de sucesso ao redor do mundo, como a construção de pontes, casas e edifícios utilizando impressão 3D, evidenciam sua viabilidade e potencial transformador.

Ao apresentar esses casos práticos e analisar as aplicações reais da impressão 3D na construção civil, este estudo visa fornecer uma visão das possibilidades oferecidas por essa tecnologia inovadora. Além disso, busca-se compreender os desafios enfrentados na implementação da impressão 3D e contribuir para o avanço do conhecimento nessa área.

3 - DESENVOLVIMENTO

3.1 - IMPRESSÃO 3D CONVENCIONAL

A impressão 3D, também chamada de fabricação aditiva e RP – Rapid Prototyping, é um processo de criação de uma peça física através de um modelo virtual, onde é acumulado material em linhas, que unidas horizontalmente em uma superfície formam camadas, e essas dispostas uma sobre a outra, verticalmente, formam o modelo. A variação mais conhecida de impressoras 3D são as de uso doméstico, devido a sua estrutura ser compacta, de baixo custo e fácil manuseio.

Essa tecnologia vem sendo amplamente usada em diversos setores, como automobilístico, arquitetura, medicina, odontologia, basicamente todas as engenharias, e também por órgãos públicos como exército, marinha e aeronáutica.

Segundo Raulino (2011), a Prototipagem Rápida (RP – *Rapid Prototyping*) é um processo de fabricação baseado na adição de material em camadas planas que surgiu no final dos anos 80, devido à crescente necessidade da indústria em reduzir custos no processo de desenvolvimento de produto.

O primeiro registro do surgimento da tecnologia foi no ano 1986 quando foi emitida a patente da impressora SLA (Estereolitografia) a Chuck Hull, co-fundador da empresa 3D Systems Corporation, 3 anos depois (1989) o pesquisador Carl Deckard recebeu patente de outro tipo de impressão - SLS (Sinterização a Laser Seletiva) que mais tarde foi adquirida pela 3D Systems, ainda nesse mesmo ano Scott Crump - co-fundador da Stratasys Inc. solicitou a patente para outro método, o FDM (Modelagem por Fusão e Deposição) que foi concedida à empresa somente em 1992.

Figura 1: Primeira impressora 3D, tecnologia SLA criada por Chuck Hull.



FONTE: Vtex (2018)

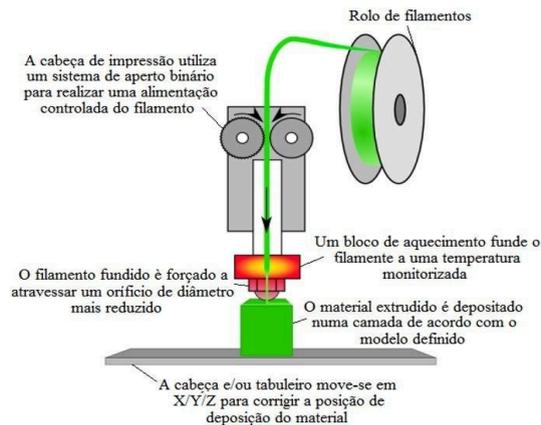
Além dessas citadas, existem outras tecnologias que possibilitam o processo de impressão 3D, mas até hoje essas são as três mais difundidas no mercado, FDM, SLA e SLS. Apesar de todas pertencerem ao modelo de fabricação aditivo, possuem aplicações e características de fabricação distintas.

3.2 - MÉTODOS DE IMPRESSÃO 3D CONVENCIONAL

3.2.1 FDM (Modelagem por Fusão e Deposição):

É uma das tecnologias mais conhecidas e amplamente utilizadas, o método usa como material uma bobina de filamento plástico, que é direcionado pela extrusora da máquina até o cabeçote de impressão, neste, ocorre o aquecimento do material no bloco aquecedor que posteriormente é guiado ao bico e depositado na mesa de impressão, que também é aquecida para o material se solidificar e aderir as camadas de maneira controlada.

Figura 2: Esquema de funcionamento do método FDM.



FONTE: Victor (2019)

Vantagens:

- Simplicidade de operação;
- Baixo custo de aquisição e manutenção;
- Ampla compatibilidade de materiais;
- Manuseio limpo, o material não é tóxico.

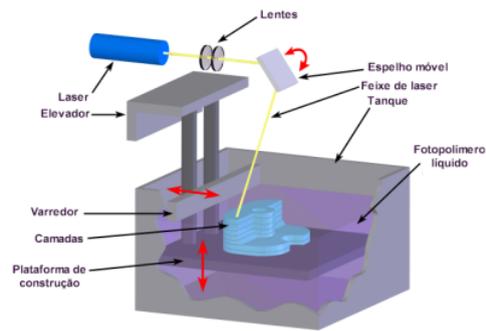
Desvantagens:

- Média qualidade da superfície, as linhas de impressão ficam aparentes;
- Precisão limitada para peças muito pequenas;
- Necessidade de uso de suportes, que pode acabar deixando marcas na peça após serem retirados;
- Impressão lenta.

3.2.2 SLA (Estereolitografia):

Essa metodologia utiliza resina líquida que é enrijecida através de um laser UV, sendo solidificada camada por camada, semelhantemente ao método FDM, porém de baixo pra cima, pois a mesa de impressão é mergulhada no tanque de resina e objeto fica grudado na parte superior. A maioria das resinas exigem um pós-processamento para garantir sua estabilidade, então após a conclusão da impressão a peça é submetida a uma lavagem e cura sob luz UV.

Figura 3: Esquema de funcionamento do método SLA.



FONTE: Ichi (2010)

Vantagens:

- Alta resolução em detalhes finos;
- Ótima precisão métrica;
- Superfície da peça totalmente lisa.

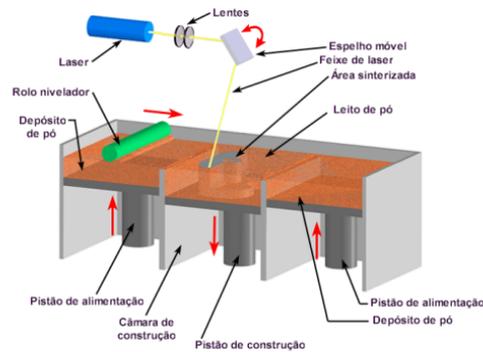
Desvantagens:

- Custo, tanto a impressora quanto o material tendem a ser mais caros comparados ao FDM;
- Algumas resinas podem ser tóxicas, exigindo cuidado no manuseio;
- A maioria das resinas possuem a necessidade de pós processamento;
- Necessidade de uso de suportes.

3.2.3 SLS (Sinterização a Laser Seletiva):

Na SLS é utilizado pó para realização da impressão, existindo diversas variedades de materiais, como Nylon, Poliuretano, metais, cerâmicos e outros. Nesse sistema é usado um feixe laser para fundir seletivamente as camadas do pó, após a primeira camada a mesa de impressão é rebaixada e uma nova camada de pó é espalhada, iniciando novamente a sinterização, esse ciclo é repetido até a conclusão do objeto. Para finalizar, a peça é resfriada e o excesso de pó é retirado.

Figura 4: Esquema de funcionamento do método SLS.



FONTE: Ichi (2010)

Vantagens:

- Ausência de suportes, o pó faz a função de suporte temporário;
- Versatilidade de materiais;
- Produção de peças com geometrias complexas;
- Alta resolução.

Desvantagens:

- Custo elevado;
- Necessidade de limpeza após finalização da peça;
- Cuidado extra no manuseio e necessidade de uso de EPI 's.

3.3 - MATERIAIS USADOS NA IMPRESSÃO 3D CONVENCIONAL

Na impressão 3D convencional, uma variedade de materiais é empregada para atender às necessidades específicas de cada projeto. Cada material possui propriedades únicas, como resistência, flexibilidade, transparência e outros. Alguns dos materiais mais comuns são:

- PLA (Ácido Polilático): É um plástico biodegradável, geralmente produzido de recursos naturais, como milho, cana de açúcar e batata, e é amplamente utilizado em impressoras 3D FDM, devido a sua facilidade de impressão. Esse material é mais empregado para

confeccionar peças que não exijam tanta resistência, como peças de decoração e action figures.

- PLA Metalizado e Compósitos: O filamento PLA também possui algumas variações com adição de partículas especiais, como metal e madeira, proporcionando propriedades adicionais, como efeito metálico ou uma textura similar a de madeira.
- ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno): Outro plástico comum, conhecido por ser mais resistente a impactos e ao calor, porém sua impressão é um pouco mais delicada sendo recomendado utilizar impressoras fechadas. É frequentemente utilizado na produção de peças robustas.
- PETG (Copolímero de Etileno Tereftalato e Glicol): Combina as vantagens do PLA e do ABS, oferecendo resistência e trabalhabilidade. É adequado para peças que exigem robustez, como protótipos mecânicos.
- Nylon (Poliamida): É conhecido por sua flexibilidade, entretanto, tende a absorver umidade deixando sua impressão um pouco mais desafiadora comparada aos outros materiais. O material é seguro para ter contato com alimentos, por isso, uma de suas utilizações é a fabricação de utensílios de cozinha e brinquedos para crianças e animais.
- Resinas Fotossensíveis: Utilizadas em impressoras 3D de SLA (estereolitografia), são resinas líquidas que solidificam quando expostas à luz UV, possui como diferencial alta precisão e qualidade, por isso é comumente empregada na odontologia e medicina.
- Poliuretano Termoplástico (TPU): Outro material que tem como característica a maleabilidade, apropriado para a impressão de peças macias, como calçados e protótipos de borracha.
- Pós Metálicos: Esses são empregados na impressão 3D SLS (Sinterização a Laser Seletiva), sendo comum o uso do alumínio, titânio, cobre, aço inoxidável, e outros. Sua principal aplicação é na

indústria metal mecânica, sendo empregado no setor automobilístico, aeroespacial, naval e demais.

Em síntese, a tecnologia de impressão 3D proporciona uma extensa variedade de materiais, cada qual projetado para satisfazer as necessidades específicas de cada projeto. A evolução constante e a diversificação dos materiais disponíveis na impressão 3D continuam a estimular avanços em diversas áreas, consolidando seu papel revolucionário na fabricação aditiva.

3.4 - PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D

O processo de realização de uma impressão 3D envolve diversas etapas, desde o design digital até a obtenção do objeto físico. Independente do modelo da máquina adotada os passos para impressão de um modelo virtual são semelhantes, sendo:

Passo 1- Criação do modelo 3D em softwares de desenho, pode ser criado através do Solidworks, Revit, Sketchup, entre outros, e também softwares mais simples como o Tinkercad em que o modelo é formado pela união de formas geométricas.

Passo 2- Com o modelo desenhado, é realizada a exportação do arquivo para o formato compatível com o fatiador, geralmente é utilizado o formato STL.

Passo 3- Configura-se os parâmetros de impressão, é definido os ajustes de velocidade, temperatura, altura de camada, entre outros. Quanto mais priorizar a qualidade do objeto, maior será o tempo de impressão.

Passo 4- Após definir as configurações principais, o software de impressão compila os dados e gera o GCode do objeto, gerando camadas horizontais de um conjunto de comandos para a impressora se movimentar nas direções x, y e z extrudando material. Basicamente, o gcode diz à impressora onde ir, quando ir, com que velocidade ir e quanto de material depositar naquele local.

Passo 5- Inicialização da máquina e calibragem, nessa fase são realizados ajustes na impressora, como o nivelamento e preparação da mesa de impressão e a introdução do material a ser usado para confecção da peça.

Passo 6 - Após a conclusão da peça, é necessário a remoção dos suportes e o pós processamento, caso necessário, também pode ser realizado alguns processos de acabamento, como lixação, revestimento com massas, pintura, entre outros.

Resumidamente, o processo de impressão 3D é uma jornada composta por passos distintos, cada um desempenhando um papel crucial na transformação de um conceito digital em uma criação física. E como pode-se ver a tecnologia é uma técnica abrangente e versátil que engloba diversos métodos.

Enquanto a impressão 3D tradicional é empregada em vários setores e com uma ampla gama de materiais, a impressão 3D voltada para concreto se destaca como uma aplicação especializada, especialmente relevante na indústria da construção civil. Essa abordagem apresenta soluções inovadoras para construir de forma mais eficiente e sustentável.

A tecnologia pode trazer benefícios expressivos para a indústria da construção civil, como a redução de desperdícios de materiais, redução de custos com mão de obra e o aumento na velocidade de construção. Considerando que o setor possui uma margem de lucro apertada também pode trazer competitividade a pequenas empresas.

Neste TCC busca-se elucidar o funcionamento da impressão 3D em concreto, apresentar os problemas que a tecnologia pode solucionar, e as aplicações já existentes no ramo da construção civil, bem como as vantagens e desvantagens de sua implementação.

3.5 - PROBLEMAS DA CONSTRUÇÃO TRADICIONAL QUE PODEM SER SOLUCIONADOS OU MINIMIZADOS COM A IMPRESSÃO 3D

Segundo Borges et al (2021), o desempenho do setor da construção civil é comprometido por uma variedade de fatores, incluindo um elevado índice de desperdício, condições de trabalho precárias, alta rotatividade dos trabalhadores, uso extensivo de mão de obra terceirizada, falta de tradição na elaboração de projetos de segurança, métodos de trabalho arcaicos resultantes de investimentos limitados em tecnologia, e índices elevados de acidentes, entre outros aspectos.

Quando se aborda a questão da mão de obra, há diversos aspectos a considerar, tais como a baixa eficiência laboral, elevada incidência de acidentes, carência de trabalhadores qualificados, alta rotatividade de colaboradores e desafios na implementação de controles eficazes no canteiro de obras.

A baixa eficiência de trabalho na construção civil pode ser atribuída a uma combinação de fatores, incluindo:

- Falta de planejamento, projetos que iniciam sem um planejamento geralmente enfrentam retrabalho e atrasos;
- Comunicação ineficiente entre equipes, que pode resultar em mal-entendidos e erros.
- A falta de treinamento adequado da mão de obra, que contribui para processos ineficientes e de qualidade inferior à necessária.
- A ausência de implementação de tecnologias, a resistência à adoção de tecnologias modernas e a falta de padronização nos métodos de construção também impactam negativamente a eficiência.

Segundo Gonçalves (2018), a indústria da construção civil no Brasil é lenta em termos de avanço tecnológico, ao mesmo tempo em que registra uma elevada incidência de acidentes fatais. Esse fator gera preocupação, a alta taxa do setor geralmente é ocasionada devido a práticas de segurança inadequadas, condições de trabalho precárias, utilização de equipamentos pesados, a presença de várias equipes no mesmo ambiente e a complexidade das atividades desenvolvidas. Além disso, em alguns casos há pressão por prazos de entregas, que podem gerar adoção de atalhos que colocam em risco a saúde e integridade dos trabalhadores.

De acordo com a pesquisa realizada por Costa (2021), em Piumhi – Minas Gerais, 61% dos entrevistados, colaboradores da construção civil, já sofreram ou vivenciaram algum tipo de acidente dentro do canteiro de obras, a pesquisa também mostra que 70% deles já receberam treinamentos em normas de segurança para execução das suas atividades no trabalho.

Dessa forma, entende-se que os riscos são eminentes e mesmo com treinamentos o perigo ainda é constante, assim se torna cada vez mais importante a

adoção de métodos e tecnologias no ramo, para automatizar processos, reduzindo o consumo de mão de obra braçal que pode ser realocada em trabalhos com menores riscos e menor exigência de força física.

É importante destacar que tanto a indústria automotiva quanto a agrícola já experimentaram essa transição, que ocorre de forma gradual. Durante esse processo, as pessoas são progressivamente retiradas de ambientes de trabalho de alto risco, ao mesmo tempo em que surgem novas oportunidades de emprego, mais especializadas e seguras. Isso resulta em melhorias significativas tanto na economia quanto na qualidade dos produtos finais. Esta informação é apoiada por Koshnevis durante sua palestra em 2012 no evento TEDxOjai.⁴

A escassez de mão de obra na construção civil também é um grande desafio, a demanda por profissionais qualificados cresce cada vez mais, superando a oferta, assim impactando a eficiência e os prazos dos projetos. Além disso, os trabalhos são temporários, isso desencadeia uma alta rotatividade, pois os trabalhadores buscam estabilidade e oportunidades mais duradouras, o que implica em constantes desafios de treinamento e adaptação.

Ainda, a construção civil pode não ser percebida como uma carreira atrativa, principalmente devido à necessidade de força braçal, somada a desafios relacionados às condições de trabalho, segurança e estabilidade. Essa situação ressalta ainda mais a necessidade urgente de estratégias que promovam a automação do setor.

Um desafio adicional se apresenta na busca por padronização nos métodos de trabalho, tornando possível a aplicação efetiva de controles de qualidade. A diversidade de práticas e técnicas empregadas por profissionais diversos na execução de tarefas pode gerar inconsistências e variações notáveis nos resultados finais.

Por exemplo, há situações em que a mesma atividade é realizada simultaneamente em locais diferentes da obra, a cargo de profissionais distintos. Especificamente no contexto da alvenaria, que é uma atividade artesanal, é comum

⁴ Essa referência está disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=JdbJP8Gxqog> (Tradução livre)

que diferentes trabalhadores assumam essa mesma tarefa, resultando em variações na qualidade do trabalho devido à natureza individualizada dessa prática.

Além disso, ao focar a alvenaria, conforme destacado por Pinho e Lordsleem (2009), observa-se que, em alvenarias convencionais, as perdas médias de tijolos podem chegar a até 17%, e as de argamassa podem atingir surpreendentes 113%, evidenciando um desperdício considerável.

Outro ponto crucial a ser abordado refere-se ao manejo inadequado de materiais, como a madeira, frequentemente empregada em formas e escoramentos. A utilização inadequada de tábuas, caibros e compensados frequentemente resulta em cortes excessivos e peças não reutilizadas, agravando as taxas de desperdício.

Dessa forma, a construção civil pode se beneficiar da impressão 3D em diversas aplicações, além de eliminar o uso de formas para fabricação de pilares e vigas, resultando no desuso da madeira, minimiza os custos com mão de obra e reduz o tempo de construção.

Além do mais, a tecnologia também focaliza o comprometimento com a sustentabilidade, considerando que a impressora deposita uma quantidade controlada de material, é praticamente extinguido os desperdícios de matéria prima.

Adicionalmente, no âmbito geral, a gestão eficiente de materiais na construção civil é um desafio. A falta de padronização nos métodos construtivos, a diversidade de práticas entre profissionais e a ausência de estratégias para reutilização de materiais contribuem para o desperdício generalizado.

Conforme a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição - ABRECON, (2022):

Praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil são geradoras de entulho. No processo construtivo, o alto índice de perdas do setor é a principal causa do entulho gerado. Embora nem toda perda se transforme efetivamente em resíduo – uma parte fica na própria obra (...) a quantidade de entulho gerado corresponde, em média, a 50% do material desperdiçado.

Complementando, pesquisas realizadas pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP – apontam níveis de desperdício na construção

civil de 8% em perdas financeiras de materiais e até 30% em custos de retrabalho.

Nesse contexto, é de suma importância a necessidade de implementação de tecnologias que minimizem ou contenham esses desperdícios na indústria da construção, ao contrário dos métodos tradicionais de construção, que produzem excesso de entulho e geralmente utilizam mais matéria-prima do que o necessário, a impressão 3D permite criar estruturas utilizando somente a quantidade exata de material necessária, gerando benefícios econômicos e ambientais.

A introdução da impressão 3D emerge como uma possível solução para mitigar esses problemas, a implementação da tecnologia na construção civil oferece perspectivas promissoras para aumentar a eficiência operacional, reduzir acidentes e fornecer uma resposta à escassez de mão de obra qualificada, a impressão 3D pode revolucionar a abordagem tradicional da construção.

3.6 - REFERENCIAL DA IMPRESSÃO 3D APLICADA A CONSTRUÇÃO CIVIL

A impressão 3D na construção civil é uma área de pesquisa inovadora que tem ganhado crescente atenção, transformando os padrões tradicionais de construção. Neste cenário, é essencial compreender os fundamentos que alicerçam essa tecnologia, suas aplicações práticas e o impacto nas práticas construtivas. Diversos autores contribuíram para a compreensão dessa temática.

A impressão tridimensional (3DP) é um processo de fabricação que constrói camadas para criar um objeto sólido tridimensional de um modelo digital. Permite personalização em massa e formas complexas que não podem ser produzidas de outras maneiras, elimina a necessidade de produção de ferramentas e sua mão de obra associada, e reduz o fluxo de resíduos. (Yossef et al, 2015. Tradução Livre)⁵

Como referido por Yossef, a tecnologia possibilita criar designs complexos que seriam desafiadores ou impossíveis de serem produzidos por métodos convencionais, como a alvenaria. A capacidade de personalização em massa pode permitir a criação de estruturas sob medida com mais agilidade. Essa tecnologia

⁵ Three Dimensional Printing (3DP) is a manufacturing process that builds layers to create a three-dimensional solid object from a digital model. It allows for mass customization and complex shapes that cannot be produced in other ways, eliminates the need for tool production and its associated labor, and reduces waste stream.

atende as necessidades específicas de projetos arquitetônicos, proporcionando adaptabilidade às demandas de cada projeto.

Como também reforça Alves (2013), Mestre em Arquitetura, a impressão 3D permite a criação de estruturas altamente personalizadas, rompendo com os limites tradicionais da construção e oferecendo maior flexibilidade de design.

Com o processo de impressão simplificado, a impressão 3D pode trazer uma melhoria significativa da produtividade em termos de:

- Desperdício reduzido. O processo de impressão 3D usa pouco a mais de material do que o objeto exige.
- Flexibilidade de projeto. O processo de impressão 3D permite aos desenvolvedores projetar estruturas que são difíceis de produzir usando a prática atual de construção manual
- Redução de mão de obra. Como a maior parte do processo de impressão 3D é altamente automatizado, a mão de obra necessária no processo de construção pode ser significativamente reduzida.
- Outras melhorias econômicas, ambientais e relacionadas com a construtibilidade.
- O tempo de construção pode ser bastante reduzido utilizando tecnologias de impressão 3D
- Processo de impressão eliminará desperdícios desnecessários de materiais, reduzindo assim os impactos ambientais do processo de produção/construção. (WU et al, 2016. Tradução Livre)⁶

A tecnologia ainda necessita de operação humana para funcionar, mas ao incorporar a impressão 3D na construção, é possível minimizar a necessidade de trabalho manual extensivo, uma vez que a fabricação aditiva permite a construção de elementos estruturais de forma automatizada e programada, sendo necessário somente abastecer a máquina, adicionar os suportes para as aberturas e monitorar seu funcionamento.

⁶ With the streamlined printing process, 3-D printing can bring significant productivity improvement in terms of: • Reduced waste. The 3-D printing process uses little more material than the object requires (Bak, 2003); • Design flexibility. The 3-D printing process enables developers to design structures that are difficult to produce using the current manual construction practice (Khoshnevis, 2004). • Reduced manpower. As most 3-D printing process is highly automated, manpower required in the construction process can be significantly reduced. • Other economic, environmental and constructability-related improvements. Construction time can be greatly reduced using 3-D printing technologies. For example, the printing time for a structural wall was reduced to 65 hours from 100 hours by 3-D printing (Buswell et al., 2007). As only the required amount of materials will be needed, the printing process will eliminate unnecessary waste of materials, thus reducing the environmental impacts of the production/construction process.

3.7 - IMPRESSÃO EM CONCRETO

A impressão em concreto é uma evolução notável da construção civil, esse processo utiliza uma mistura de concreto como material e possibilita a criação personalizada e eficiente de edificações. A tecnologia promete não apenas otimizar a eficiência do setor, mas também novas possibilidades criativas no desenvolvimento de projetos arquitetônicos.

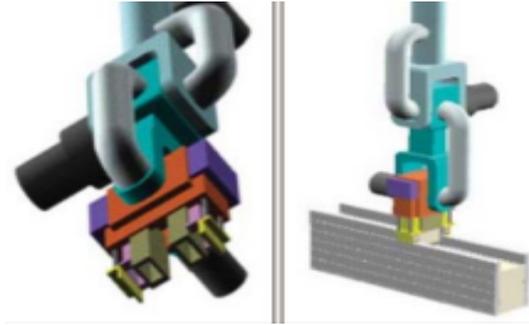
O procedimento de impressão em concreto é basicamente o mesmo adotado nas impressoras FDM, em ambos os casos, o projeto é criado em softwares de desenho, posteriormente fatiado em camadas horizontais e depois impresso por deposição de material. A distinção é o material empregado, que é um concreto com características especiais.

Em diversos países ao redor do mundo, estão sendo conduzidas pesquisas e implementações relacionadas à impressão de edifícios em concreto (3DCP). Um dos líderes e pioneiros nesses estudos é o projeto "*Contour Crafting*", liderado pelo professor Behrokh Khoshnevis na Universidade do Sul da Califórnia (USC), nos Estados Unidos (Campos, Paulo Eduardo Fonseca De, 2017).

Os elementos básicos desta tecnologia incluem um tanque de concreto, uma mangueira, um mecanismo de bombeamento, um bico e um braço robótico que guia o bico nas direções x, y e z (Carneiro; Formiga, 2020)

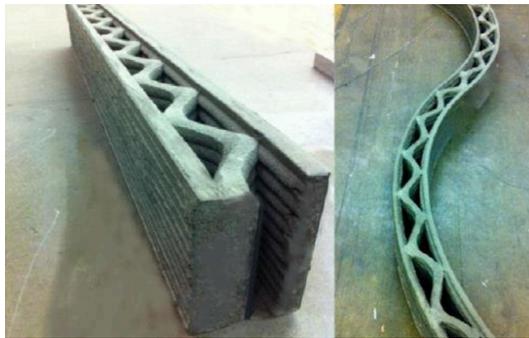
A abordagem do *Contour Crafting* compõe-se de um cabeçote de impressão que se movimenta em trilhos ao longo da área projetada para a construção, esse cabeçote é equipado com três bicos de deposição, dois são usados para fazer as camadas internas e externas da parede, enquanto o terceiro é utilizado para o preenchimento, realizado em uma fase subsequente. O cabeçote de impressão da máquina também conta com duas espátulas, que são responsáveis pelo acabamento superficial da parte externa de cada camada, proporcionando uma suavização da superfície da parede deixando-a mais uniforme e lisa.

Figura 5: Representação do bico de deposição da impressora *Contour Crafting*.



FONTE: Khoshnevis (2004)

Figura 6: Parede retilínea e parede curva impressa com a metodologia *Contour Crafting*.



FONTE: Tobi (2018)

De acordo com Rosenfield (2014), Behrokh Khoshnevis, foi laureado com o Grande Prêmio no concurso "*Create the Future*" promovido pela revista *NASA Tech Briefs* devido à sua proposta intitulada "*Robotic Building Construction by Contour Crafting*". Uma das bases do projeto é a capacidade de realizar construções seguras em ambientes adversos, nesse contexto, a USC (Universidade do Sul da Califórnia) e a NASA colaboram em estudos para explorar a aplicação da tecnologia Contour Crafting no solo lunar.

Figura 7: Ilustração da possibilidade de construção na lua.



FONTE: Rosenfield (2014)

A tecnologia possui uma taxa de construção de 3 min/m² para elevação das paredes, dessa forma pretende construir uma casa de 200 m² em apenas 20 horas, com uma mão de obra de apenas 4 pessoas. Com tal velocidade de construção e menor custo, Khoshnevis pretende utilizar a tecnologia para construir habitações acessíveis e dignas para população de baixa renda e para construir rapidamente abrigos em regiões que sofreram desastres naturais (Porto, 2016).

Uma equipe de pesquisa da Universidade de Loughborough - UK desenvolveu um outro método chamado *Concrete Printing*, que semelhantemente à técnica *Contour Crafting*, utiliza um processo de construção baseado na extrusão de argamassa de cimento.

Segundo Porto (2016), essa tecnologia apresenta uma menor espessura das linhas de deposição comparada a *Contour Crafting*, com camadas de 4 a 6 mm de profundidade, permitindo uma maior liberdade projetual de detalhes. Outra diferença, é que a *Concrete Printing* apresenta apenas um bico, sendo as camadas extrudadas de forma sucessiva, dessa forma, o mesmo bico extruda as linhas externas, internas e o preenchimento caso exista.

Figura 8: Impressora Concrete Printing.



FONTE: Araújo (2023)

Outra tecnologia semelhante às citadas é a ProTo 3DP desenvolvida pela empresa Cybe Additive Industries, a empresa além de criar a impressora do zero criou também uma argamassa exclusiva, a argamassa Cybe.

Segundo Hendriks, proprietário da Cybe, a argamassa produzida reduz 32% a emissão de CO² em comparação com o concreto convencional, dentro de 1 hora é suportável e dentro de 24 horas o processo de hidratação é concluído, ainda destacou que suas impressoras 3D podem imprimir usando qualquer material

semelhante a pasta, como gesso.

A impressora é impulsionada por um braço robótico capaz de atingir velocidades de impressão de até 400 mm/s, com um alcance de 3150 mm, e seu processo de construção utiliza camadas com espessura de 30 mm.

Figura 9: Impressora ProTo 3DP.



FONTE: Cybe (2019)

Em 2005, o inventor Enrico Dini registrou a patente de outro método de impressão em concreto, a D-Shape. A tecnologia funciona depositando uma camada de areia e/ou agregados miúdos e posteriormente um aglutinante que faz o endurecimento do material. Enrico destacou o potencial de sua inovação por meio da impressão de recifes artificiais, segmentos de base lunar, pontes para pedestres, fachadas arquitetônicas e outros projetos.

Figura 10: Recifes artificiais impressos em D-Shape.



FONTE: D-Shape (2012)

Sua criação foi reconhecida com diversos prêmios, como o *Industry Icon* no 3D Printshow de 2014 em Londres. Em 2018, a RILEM (União Internacional de Laboratórios e Especialistas em Materiais, Sistemas e Estruturas de Construção) o homenageou com o *Pioneering Achievement Award* em Zurique, e ele também foi laureado com o *Prêmio Design for Asia* e o *Prêmio Global de Design* de Hong Kong.

“Andrea Morgante”, arquiteto registrado pela ARB (Conselho de Registro de Arquitetos) do Reino Unido, realizou uma contribuição junto a D-Shape para a construção de uma estrutura autoportante complexa chamada, pavilhão Radiolaria, medindo 3 x 3 x 3 metros e fabricada em arenito artificial apresenta excelentes propriedades de resistência, a estrutura é um modelo em escala de um pavilhão final de 10 metros de altura a ser construído em Pontedera, Itália.

Figura 11: Maquete Pavilhão Radiolaria em D-Shape.



FONTE: Turner (2009)

Embora essas tecnologias compartilhem o objetivo comum de imprimir estruturas de concreto e similares, suas características específicas e abordagens únicas tornam cada uma delas adequada para diferentes requisitos de projetos.

A área da impressão em concreto está em contínua evolução, com constantes surgimentos de novas tecnologias e aprimoramentos nos materiais

empregados. Mas atualmente, esses quatro métodos destacam-se como os principais impulsionadores de avanços significativos na implementação da impressão 3D na indústria da construção civil.

3.8 - CONCRETO COMO MATERIAL DE IMPRESSÃO

O concreto utilizado na impressão 3D pode variar de acordo com a impressora adotada, mas, de maneira geral, mantém certas propriedades específicas, como fluidez controlada e viscosidade, para permitir que o material seja expelido pelo bico de extrusão da máquina.

Normalmente, sua composição inclui cimento Portland, areia, agregados miúdos e aditivos para melhorar sua trabalhabilidade, resistência e aderência entre camadas. Também pode conter polímeros, fibras, plastificantes e outros.

Além de ser essencial que o concreto permaneça maleável o suficiente para ser depositado camada por camada pelo bico de extrusão da impressora, é necessário que o concreto solidifique de forma rápida e ganhe resistência suficiente para suportar a próxima camada da impressão sem deformações.

A obtenção da composição precisa e do traço adequado para o concreto utilizado na impressão 3D é uma tarefa desafiadora devido à predominância de concretos patenteados. A maioria dos concretos desenvolvidos para essa finalidade estão protegidos por patentes, o que dificulta o acesso às suas formulações.

Florêncio et al (2017), destacam essa questão, em sua pesquisa de prospecção tecnológica identificaram 39 depósitos de patentes relacionadas ao concreto para impressão 3D, os dados analisados indicam um aumento significativo nos depósitos nos anos de 2016 e 2017, com uma concentração de 79,49% da amostra considerada durante esse período. Ainda, o estudo mostra que a China se destaca como o principal centro de desenvolvimento, detendo 89,74% dos depósitos de patentes relevantes, enquanto no Brasil não há patentes depositadas, revelando uma carência na pesquisa e desenvolvimento dessa tecnologia no país.

No Brasil, pode-se citar Padilha (2020) que realizou um estudo a respeito das propriedades mecânicas de peças impressas em concreto, ela utilizou para análise um traço de concreto para impressão 3D que inclui cimento Portland CPV-ARI, sílica

ativa e filer calcário como materiais cimentícios complementares, areia natural fina foi usada como agregado miúdo, água potável e um aditivo superplastificante MC-PowerFlow 4000 foi adicionado para melhorar a trabalhabilidade.

Em síntese, a composição do concreto para impressão 3D é um aspecto crucial para garantir a qualidade e viabilidade das estruturas produzidas. A seleção e dosagem cuidadosa dos materiais é fundamental para alcançar as propriedades necessárias de fluidez, resistência e aderência entre camadas. As pesquisas e desenvolvimentos contínuos nesse campo são essenciais para aprimorar os traços de concreto disponíveis.

3.9 - PROJETOS DESTAQUES DA IMPRESSÃO 3D EM CONCRETO REALIZADOS PELO MUNDO.

ESTADOS UNIDOS

Conforme Minari (2021), o Departamento Militar do Texas, nos EUA, e a empresa de tecnologia Icon construíram com impressão 3D em concreto as instalações do quartel *Camp Swift Training Center*, que fica localizado em Bastrop - Texas e possui 353 metros quadrados, abrigando 72 soldados em treinamento.

A edificação foi construída com um material proprietário da Icon, conhecido como “Lavacrete”, uma mistura de cimento portland e aditivos especiais que permitem que a estrutura seja protegida contra invasores microscópicos, como bactérias e fungos. Além disso, destacando sua robustez, o Lavacrete alcançou uma resistência de 6000 psi, equivalente a 41 MPa.

As Forças Armadas dos Estados Unidos planejam empregar a tecnologia de impressão 3D na construção de novos quartéis, visando redução de custos e otimização do tempo. A proposta consiste em produzir instalações para os soldados em áreas avançadas de combate, tanto dentro quanto fora do território norte-americano.

Figura 12: Foto interna do quartel Camp Swift Training Center



FONTE: Icon (2021)

Figura 13: Foto externa do quartel Camp Swift Training Center



FONTE: Icon (2021)

Além desse projeto a Icon está envolvida com diversos outros, como por exemplo, o bairro Wolf Ranch localizado no Texas - EUA, a cerca de 50 quilômetros ao norte de Austin, que será composto por 100 residências impressas em 3D e está sendo desenvolvido em parceria com a construtora Lennar e o escritório de arquitetura dinamarquês Bjarke Ingels Group.

Figura 14: Bairro Wolf Ranch - TEXAS



FONTE: Icon (2022)

Segundo a CNN Brasil (2023) e a revista AEC Web (2023) a primeira casa do

bairro Wolf Ranch foi inaugurada no final de julho de 2023. As construtoras anunciaram que algumas unidades já foram vendidas e são encontradas em oito modelos diferentes de plantas baixas, variando de 139 m² á 195 m², e todas já são equipadas com energia solar, os preços das casas impressas em 3D variam de US\$475 mil a US\$599 mil.

Figura 15: Vista externa da casa modelo na comunidade Wolf Ranch.



FONTE: Icon (2022)

Figura 16: Vista interna da casa modelo na comunidade Wolf Ranch.



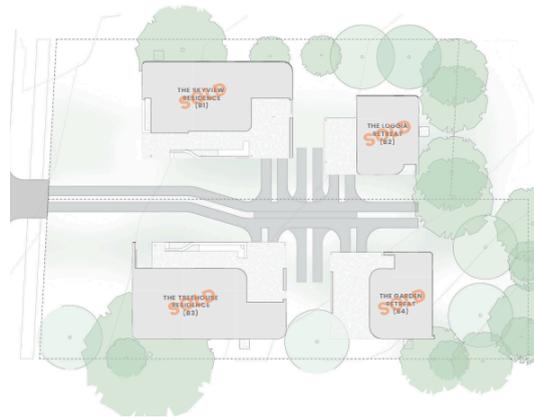
FONTE: Icon (2022)

Além dessas duas iniciativas, a Icon também fez uma parceria com a empresa 3Strands que compreende o projeto habitacional de quatro residências distintas, construídas de maneira sustentável por meio da tecnologia de impressão 3D, localizadas no coração de East Austin. Cada residência foi projetada pelo escritório de arquitetura Logan Architecture, e atualmente todas as unidades já se encontram vendidas.

As unidades possuem dois andares, sendo o pavimento térreo impresso em

3D e o primeiro pavimento feito em Steel Frame. Segundo o fundador da ICON, Jason Ballard: “A comprovada tecnologia de impressão 3D oferece residências mais seguras e resistentes, projetadas para suportar incêndios, enchentes, vento e outros desastres naturais. O desempenho é melhor que o das casas construídas convencionalmente”.

Figura 17: Planta de localização das residências East 17th Street Residences.



FONTE: East 17th Street Residences (2022)

Figura 18: Residência B2 - The Loggia Retreat. Conforme referência da imagem X está localizada do lado superior direito da imagem.



FONTE: East 17th Street Residences (2022)

Figura 19: Imagens do interior das residências East 17th Street Residences.



FONTE: East 17th Street Residences (2022)

Em complemento a isso, a ICON é referência no assunto quando se trata de impressão 3D em concreto, além dos projetos citados também está envolvida na construção de diversas outras edificações como o Hotel El Cósmico, House Zero, The Chicon House, Mars Dune Alpha, Community First Village, Project Olympus e diversos outros.

BRASIL

No Brasil a implementação da tecnologia ainda está em fase inicial, pode-se destacar um projeto dos alunos Allynson Aarão César Xavier e Iago Felipe Domingos da Silva que foi influenciado e apoiado pelo Professor-doutor André Felipe Oliveira de Azevedo Dantas e surgiu dentro Universidade Potiguar (UnP).

O projeto foi a construção da primeira residência com impressão 3D do Brasil, foi realizada em 2020 na cidade de Macaíba-RN e atende os padrões de habitação de interesse social (HIS). A obra em questão conta com 66m² e levou 48 horas de impressão para ficar pronta, porém a máquina que teve a tecnologia idealizada pela Inova House 3D consegue imprimir até 200m².

Figura 20: Allynson, Iago e André diante da primeira casa impressa em 3D do Brasil, concebida por eles.



FONTE: 4Constru 3D Printing (2022)

Segundo informações da equipe, o custo do metro quadrado para construir as paredes da casa ficou em torno de R\$50,00 reais, considerando apenas a fase de impressão. Comparada à alvenaria convencional que o valor por metro quadrado chega a R\$200,00 resulta em uma economia de 75% nessa fase da construção.

Pode-se enfatizar também, a empresa 3D Printek de Caxias do Sul - RS, essa é uma fabricante brasileira de impressoras 3D de concreto que ganhou destaque na Construsul BC 2024 em Balneário Camboriú SC. Na feira, a empresa apresentou a versão S7 de suas impressoras, esse modelo conta com 11,3 m x 11,6 m de área de impressão e consegue imprimir até 4,5m de altura, com altura de camada de 5 mm a 25 mm e uma velocidade de até 600 mm/min. Segundo o Portal NSC total essa impressora custa em torno de R\$650.000,00.

Figura 21: Stand da empresa 3D Printek na feira Construsul BC 2024.



FONTE: 3D Printek(2024)

HOLANDA

Em outubro de 2017, a Universidade Tecnológica de Eindhoven, junto com a empresa de construção BAM Infra, construíram na região rural de Gemert, no norte da Holanda, a primeira ponte impressa em 3D com concreto do mundo. A estrutura conta com 8 metros de comprimento e 3,5 metros de largura e consegue suportar até 5 toneladas.

A ponte foi projetada para ser uma ciclovia e faz parte de um projeto de mobilidade urbana da cidade. Para viabilizar a construção da mesma, foi dividida em 6 partes e montada in loco.

Figura 22: Ponte ciclovia impressa em 3D da cidade de Gemert - Holanda.



FONTE: ITAMBÉ (2017)

Um diferencial do método de construção é que foi implementado no processo de impressão 3D a adição de aço, conforme a máquina deposita o concreto, um segundo bocal adiciona o cabo de aço, conferindo a ponte um adicional de robustez, contribuindo para sua longevidade e eficiência estrutural.

Figura 23: Impressora reproduzindo um dos módulos da ponte de Gemert.



FONTE: Royal BAM Group (2017)

CHINA

Outro país que se destacou com a impressão 3D de uma ponte em concreto foi a China, projetada pelo professor Xu Weiguo da Tsinghua University e construída em Xangai, possui finalidade peatonal, ou seja, para uso de pedestres, e em sua inauguração em janeiro de 2019 recebeu 100 pessoas de uma única vez, comprovando sua eficiência.

A inspiração para a estrutura de pedestres em Xangai derivou da ponte mais antiga da China, Ponte Anji, localizada em Zhaoxian no norte do país, erigida entre 589 e 618 d.C.

Figura 24: Inauguração da ponte impressa em 3D - Xangai China.



FONTE: Archdaily (2019)

Possuindo 26,3 metros de comprimento e 3,6 metros de largura, a ponte é a maior obra de arte já impressa em 3D, o processo de impressão realizado por dois braços robóticos durou 450 horas e posteriormente foi montada em uma semana.

Para construir o tabuleiro da ponte foi necessário dividi-lo em 44 elementos de concreto, enquanto os guarda-corpos foram fracionados em 68 unidades. Além disso, o concreto utilizado teve implantação de fibras de polietileno, o foco foi alcançar um desempenho superior a 80 MPa.

Pode-se destacar também, a empresa chinesa Winsun, também conhecida como Yingchuang Building Technique (Shanghai) Co. que é especializada em impressão 3D no país. Ela é responsável por diversos projetos no ramo, como:

- 3D Printed Oman Project
- 3D Printing Wave Building

- Wujiang 3D Printing Three-storey Villa
- 3D Printing Green Public Toilets
- Global First Classic Chinese Courtyard 83m²
- Global First Classic Chinese Courtyard 130m²
- 3D Printing Harvard Red Cottage
- 3D Printing 1100m² Luxury Cottage
- 3D Printing Mobile House
- Entre vários outros.

Figura 25: Casa de luxo de 1100m² impressa em 3D pela empresa Winsun.



FONTE: Winsun (2015)

Em 2015, a Winsun anunciou a conclusão do mais alto edifício impresso em 3D do mundo, denominado "2015 Global Highest 3D Printing Building". Localizado em Suzhou - China, o prédio possui cinco andares e uma área superior a 1100m². O projeto ganhou destaque devido à sua abordagem sustentável, que envolveu a inclusão de cimento reciclado e outros materiais de construção reutilizados na mistura utilizada para a impressão 3D.

Figura 26: Edifício de impressão 3D mais alto do mundo em Suzhou - China



FONTE: Winsun (2015)

Cabe destaque também a doação realizada pela Winsun ao Hospital Central de Xianning em 2020 de 15 módulos impressos em 3D para isolamento dos médicos da linha de frente ao combate do Covid-19. As unidades na verdade eram projetadas para serem casas móveis destinadas ao turismo, mas devido a pandemia foram adaptadas para atender às necessidades emergenciais durante essa crise de saúde global.

Figura 27: Vista externa das alas de isolamento.



FONTE: Arq+ (2020)

Figura 28: Vista interna das alas de isolamento.



FONTE: Arq+ (2020)

EMIRADOS ÁRABES

No emirado de Dubai em 2020, com tecnologia de impressão 3D da empresa americana Apis Cor foi desenvolvido o projeto do escritório da administração municipal. A edificação possui dois andares e conta com 640m², segundo Harrouk (2020), as paredes foram erguidas com mão de obra de apenas três trabalhadores.

Figura 29: Escritório da administração municipal de Dubai impressa 3D.



FONTE: Archdaily (2020)

Uma característica importante da construção dessa obra é a integração de armaduras. Durante o processo de impressão, foi deixado espaço estratégico para servir de forma, que posteriormente foi implementado com a armadura e concretado, criando uma estrutura sólida e resistente.

Figura 30: Detalhe construtivo da edificação.



FONTE: Archdaily (2020)

ARABIA SAUDITA

Em Riyadh, capital da Arabia Saudita, a empresa Dar Al Arkan imprimiu uma residência com a tecnologia de impressão 3D da Cobod e Cemex, a obra possui 3 pavimentos, 345m² e quase 10 metros de altura. Além do processo construtivo ser inovador, também optaram por outras tecnologias que fazem do projeto ainda mais especial.

A casa é equipada com nanotecnologia refletora de calor, um revestimento externo que atua na reflexão do calor e consegue reduzi-lo até 40% comparado ao método tradicional. Ainda, a residência foi concebida como uma casa inteligente, com sistemas de automação residencial incluindo, fechaduras de portas, ar condicionado e iluminação.

Em sintonia com a abordagem sustentável, a casa é equipada com painéis solares, consolidando-a como um exemplo notável de inovação na construção moderna e com práticas eficientes.

Figura 31: Residência concebida por Dar Al Arkan em Riyadh.



FONTE: Stylo Urbano (2023)

Além desses exemplos abordados de implementação bem-sucedida da impressão 3D na construção civil, é crucial ressaltar que existem diversos outros projetos que não foram citados. Também é importante reconhecer a constante evolução dessa tecnologia, não apenas em termos das máquinas utilizadas, mas também nos materiais empregados.

O surgimento de inúmeros projetos inovadores estão emergindo continuamente, destacando o potencial revolucionário da tecnologia de impressão

3D no setor da construção. A expectativa é que sua presença se torne cada vez mais comum, introduzindo métodos construtivos mais rápidos, econômicos, sustentáveis e personalizados.

3.10 - DIFICULDADES DA IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

A adoção da tecnologia de impressão 3D na construção civil, embora promissora, enfrenta desafios notáveis. Segundo o Portal Radar Imobiliário, a empresa brasileira Minha Casa Financiada recentemente adquiriu uma máquina de impressão 3D da Apis Cor, uma renomada empresa do setor, com previsão de chegada para o segundo trimestre de 2024, representando um investimento significativo de 5,5 milhões de reais.

Apesar de existirem outras opções de máquinas de menor custo no mercado brasileiro, como a fabricante nacional 3D Printek, mencionada anteriormente, o alto custo do equipamento necessário é um dos principais obstáculos, especialmente para pequenas empresas. Além disso, a resistência da indústria da construção civil aos métodos tradicionais e artesanais também dificulta o avanço dessa tecnologia.

Outro fator importante é a falta de regulamentação no Brasil para o uso da impressão 3D na construção. Como a tecnologia ainda é recente, ela não possui muitas regras e normas específicas. Essa falta de regulamentação pode gerar insegurança e dificultar a aceitação da tecnologia no mercado.

Adicionalmente, a impressora 3D requer um espaço apropriado para sua operação, o que pode se tornar um problema, especialmente em grandes cidades, onde o espaço disponível é limitado. Considerando o modelo de impressão Concrete Printing ou o Contour Crafting ambos possuem um trilho lateral, caso for desejado construir a parede da obra na divisa do lote e já existir uma edificação vizinha também construída até na divisa, não há espaço para o equipamento.

Entretanto, isso é um problema pontual, específico de projetos que não tenham afastamento lateral da edificação vizinha, e que pode ser contornado utilizando outras tecnologias de impressão, como a ProTo 3DP que utiliza braço

robótico e que nessa situação conseguiria realizar a impressão de maneira adequada.

Em suma, apesar dessas dificuldades, é fundamental reconhecer que a impressão 3D está em constante evolução. À medida que a tecnologia avança, muitos desses desafios estão sendo gradualmente superados e com o crescimento do mercado logo será possível encontrar máquinas com custos mais acessíveis, independentemente das atuais barreiras, acredita-se que é um cenário promissor para a integração bem-sucedida dessa tecnologia no setor da construção brasileira.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada neste trabalho revela o significativo potencial da impressão 3D na indústria da construção civil. A partir da contextualização histórica e evolução técnica é possível compreender como essa tecnologia tem sido aplicada em diversos campos, desde a produção de pequenas peças até estruturas complexas como pontes, casas e prédios. As vantagens da impressão 3D, como a redução de resíduos, tempo e custo, bem como a possibilidade de criar designs personalizados e otimizados, destacam-se em comparação com os métodos tradicionais de construção.

A análise dos métodos específicos de impressão em concreto e suas máquinas correspondentes evidenciou um campo de pesquisa e desenvolvimento, com diferenciais notáveis em termos de eficiência. No entanto, apesar do vasto potencial demonstrado, a implementação da tecnologia enfrenta desafios significativos, incluindo questões regulatórias, financeiras e de infraestrutura. A necessidade de investimentos em pesquisa, capacitação e políticas de incentivo torna-se evidente para viabilizar a adoção efetiva da impressão 3D na construção civil, principalmente no Brasil.

Por fim, este estudo destaca não apenas as conquistas alcançadas até o momento, mas também as oportunidades e obstáculos que se apresentam no caminho rumo à integração da impressão 3D na indústria da construção civil.

Compreender e enfrentar esses desafios é fundamental para aproveitar todo o potencial dessa tecnologia e promover avanços significativos no setor, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Como sugestão para futuros trabalhos no segmento, recomenda-se a análise da viabilidade econômica da implementação da tecnologia de impressão 3D em concreto no Brasil, considerando que em breve a tecnologia será implementada no país pela empresa Minha Casa Financiada e por empresas que adquirirem as máquinas da 3D Printek, logo possuíra dados comparativos com os métodos tradicionais e será possível tal análise.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

A maior ponte do mundo de concreto impressa em 3D é concluída em Xangai. **Casa Vogue**. 2019. Disponível em:

<<https://casavogue.globo.com/Arquitetura/noticia/2019/01/maior-ponte-do-mundo-impressa-em-3d-de-concreto-e-concluida-em-xangai.html>>. Acesso em: 21 fev. 2024.

About Winsun-Yingchuang Building Technique. **Winsun**. (S/D). Disponível em: <<http://www.winsun3d.com/En/About/>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

ALVES, Tiago Vieira de Castro. **Ferramentas CAD/CAM e a arquitetura Digital**. Faculdade de Arquitetura da Universidade de Porto. Dissertação de Mestrado. Porto. 2013.

ANDERSON, Chris. **Makers A Nova Revolução Industrial**. Elsevier Brasil, 2012.

ARAUJO, Thainá. Inovação na construção civil: visão geral sobre a impressão 3D no Brasil. **Civilização Engenharia**. 2023. Disponível em: <<https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2023/06/06/inovacao-na-construcao-civil-visao-geral-sobre-a-impressao-3d-no-brasil/>>. Acesso em: 23 jan 2024.

AREND, Rodrigo. Tecnologia de impressão 3D na construção de casas chega ao Brasil. **Imobi Report**. 2023. Disponível em:

<<https://imobireport.com.br/tecnologia-de-impressao-3d-na-construcao-de-casas-che-ga-ao-brasil/>>. Acesso em: 02 de maio de 2024.

BALDWIN, Eric. Primeiro condomínio de casas feitas com impressão 3D é colocado à venda nos EUA. **Archdaily**. 2021. Disponível em:

<<https://www.archdaily.com.br/br/958484/primeiro-condominio-de-casas-feitas-com-i-mpressao-3d-e-colocado-a-venda-nos-eua>>. Acesso em: 24 fev. 2024.

BENETTI, Estela. Impressora 3D que constrói casas em 15 dias está exposta em Balneário Camboriú. NSC total. 2024. Disponível em:

<<https://www.nsctotal.com.br/colunistas/estela-benetti/imprensa-3d-que-construi-casas-em-15-dias-esta-exposta-em-balneario-camboriu>>. Acesso em: 02 de maio de 2024.

BERMAN, Barry. **3D printing: the new industrial revolution**. Elsevier. v. 55, n. 2, p. 155-162. Hempstead. 2012.

CARVALHO, Humberto Almansa; SOUZA, João Carlos; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. **Benefícios da gestão de projetos e planejamento em relação ao impacto ambiental causado por desperdício em obras**. XV encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. Maceió, 2014.

Como as impressoras 3D afetarão a gestão e a evolução dos negócios?. **VTEX**. 2018. Disponível em:

<<https://vtex.com/pt-br/blog/tendencia/como-as-imprensoras-3d-afetarao-a-gestao-e-a-evolucao-dos-negocios/>> Acesso em: 01 mar 2023.

Construção da primeira casa impressa em 3D do Brasil!. **4Constru**. Instagram, 6 abr. 2022. Disponível em:

<https://www.instagram.com/tv/CcBIEVaM_ad/?igsh=MXQwdjVzaXJmeGZ0aA>.

Acesso em 15 fev. 2024.

COSTA, Igor Silva; CARVALHO, Laisa Cristina. **ACIDENTES DE TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: Análise da incidência na cidade de Piumhi, Minas Gerais**, Minas Gerais. 2021.

CUNHA, Renato. O edifício impresso em 3D mais alto do mundo está completo.

Stylo Urbano. 2023. Disponível em:

<<https://www.stylourbano.com.br/o-edificio-impresso-em-3d-mais-alto-do-mundo-esta-completo/>>. Acesso em: 03 mar. 2024.

CyBe Construction - 3D Construction Company We redefine construction. **Cybe.**

2019. Disponível em: <<https://cybe.eu/>>. Acesso em: 10 mar. 2024.

DE FARIA BORGES, Nathália; VILAÇA, Isabela Pessanha; LAURINDO, Quézia Manuela Gonçalves. **Acidentes do trabalho e cultura de segurança no setor da construção civil.** Exatas & Engenharias. Campos dos Goytacazes. 2021.

DINI, Enrico et al. Recifes Artificiais Impressos em 3D. **D-shape.** Bahrein. 2012.

Disponível em: <<https://d-shape.com/Prodotti/coral-reef/>>. Acesso em: 17 mar. 2024.

Dubai inaugura o maior prédio construído por impressora 3D. **Tech Tudo.** 2020.

Disponível em:

<<https://www.tecmundo.com.br/produto/150147-dubai-inaugura-maior-predio-construido-impressora-3d.htm>>. Acesso em: 27 fev. 2024.

Empresa brasileira do mercado imobiliário é a primeira do país a imprimir casas

em até 48 horas. **Radar Imobiliário**. 2024. Disponível em: <<https://portalradarimobiliario.com.br/noticia/3186/empresa-brasileira-do-mercado-imobiliario-e-a-primeira-do-pais-a-imprimir-casas-em-ate-48-horas>>. Acesso em: 04 mar. 2024.

Empresa chinesa constrói primeiro edifício do mundo com uma impressora 3D. **Tech Tudo**. 2015. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2015/01/empresa-chinesa-constroi-primeiro-edificio-do-mundo-com-uma-impressora-3d.ghtml>>. Acesso em: 20 fev. 2024.

Empresa chinesa cria casas impressas em 3D para isolamento. **Arq+ Smart Construction**. 2020. Disponível em: <<https://www.arqsmartconstruction.com/projetos/empresa-chinesa-cria-casas-impressas-em-3d-para-isolamento>>. Acesso em: 13 mar. 2024.

Entulho. **Abrecon**. 2022. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/entulho>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

FERREIRA, Simon. Maior Prédio Impresso em 3D do Mundo é Inaugurado em Dubai. **Rescanm**. 2020. Disponível em: <<https://rescanm.com.br/maior-predio-impresso-em-3d-do-mundo/>>. Acesso em: 06 mar. 2024

FILHO, Welber Vaz de Menezes; VIEIRA, Débora Bispo; PIRES, Plínio Ferreira. **O Futuro Da Impressão 3d Na Engenharia Brasileira**. 5º Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias. Anápolis. 2021.

FLORENCIO, Eduardo Quintella et al. **Concreto para uso em impressora 3d e sua utilização na construção de edificações: um estudo prospectivo**. Cadernos de Prospecção, v. 10, n. 3, p. 578-589. Salvador. 2017.

FLORENCIO, Eduardo Quintella. **A impressão 3D em concreto e seu impacto na produção da Arquitetura: O futuro da construção civil?**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Maceió. 2019.

FORMIGA, Caio Vinicius Efigenio; CARNEIRO, Marcos Lajovic. **Impressão 3D em Concreto: Revisão da Literatura e Desafios**. XL Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Foz do Iguaçu. 2020.

GOEHRKE, Sarah. Planos de concreto: Berry Hendriks da CyBe descreve planos para impressão 3D com argamassa. **3DPrint.com**. 2015. Disponível em: <<https://3dprint.com/35727/cybe-berry-hendriks-concrete/>>. Acesso em: 14 fev. 2024.

GONÇALVES, Daniel de Souza; CAMPOS, Paulo Eduardo Fonseca De. **O concreto no processo de industrialização da arquitetura: da pré-fabricação à fabricação digital**. CONCRETO & Construções. Ed. 101. São Paulo. 2021.

GONÇALVES, Flávia Aparecida. **Segurança do trabalho na construção civil: análise da segurança nos trabalhos em altura**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2018.

Harrouk, Christele. Prefeitura de Dubai será o maior edifício do mundo construído com impressão 3D. **Archdaily**. 2020. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/931356/prefeitura-de-dubai-sera-o-maior-edificio-d-o-mundo-construido-com-impressao-3d>>. Acesso em: 17 fev. 2024.

História da impressão 3D. **3D data**. 2021. Disponível em: <

HOLLAND, Oscar. Texas, nos EUA, terá vila formada apenas por casas construídas com impressoras 3D. **CNN Brasil**. 2023. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/lifestyle/texas-tera-vila-formada-apenas-por-casas-construidas-com-impressoras-3d/>>. Acesso em: 19 fev. 2024.

ICHI, Alvaro Luis. **Análise da viabilidade da aplicação da tecnologia CAD-CAM por prototipagem rápida na confecção de estrutura metálica da prótese parcial removível comparando-a ao método convencional**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010.

Impressora de Casas. **3D Printek**. 2023. Disponível em: <<https://3dprintek.com.br/>>. Acesso em: 02 de maio de 2024.

KHOSHNEVIS, Behrokh. **Automated construction by contour crafting-related robotics and information technologies**. Automation in construction, Elsevier, v. 13, n. 1, p. 5-19. Los Angeles. 2004.

KHOSHNEVIS, Behrokh. **Contour Crafting: Automated Construction: Behrokh Khoshnevis at TEDxOjai**. Youtube- TEDx Talks, 28 abr. 2012. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=JdbJP8Gxqog>>. Acesso em 13 fev. 2024.

Maior ponte de concreto em 3D é inaugurada na China. **Cimento Itambé**. 2019. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/maior-ponte-de-concreto-em-3d-e-inaugurada-na-china/#:~:text=Uma%20ponte%20pedonal%20>>. Acesso em: 16 fev. 2024.

MINARI, Gustavo. Exército dos EUA constrói um quartel inteiro usando partes impressas em 3D. **CanalTech**. 2021. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/inovacao/exercito-dos-eua-constroi-um-quartel-inteiro-usando-partes-impressas-em-3d-194763/>>. Acesso em: 25 fev. 2024.

MORANDINI, Moisés Miranda; DEL VECHIO, Gustavo Henrique. IMPRESSÃO 3D, TIPOS E POSSIBILIDADES: uma revisão de suas características, processos, usos

e tendências. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, 2020.

NASCIMENTO, Agatha Menes do. Casas são feitas com impressora 3D nos EUA. **AECWeb**. 2023. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/casas-sao-feitas-com-impressora-3d-nos-eua/24838>>. Acesso em: 20 fev. 2024.

PADILHA, Valkiria Zucchetto. **Avaliação das propriedades mecânicas de elementos de concreto produzidos por impressão 3D**. Florianópolis. 2020.

PINHO, Suenne Andressa Correia; LORDSLEEM JR, Alberto Casado. **O custo da perda de blocos/tijolos e argamassa da alvenaria de vedação: estudo de caso na construção civil**. XVI Congresso Brasileiro de Custos. Fortaleza. 2009.

PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. Trabalho Final de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2016.

Product Center-Yingchuang Building Technique - Project Case. **Winsun**. (S/D). Disponível em: <<http://www.winsun3d.com/En/Product/prolist/id/1>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

RAULINO, Bruno Ribeiro. **Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição)**. Brasília. 2011.

ROSENFELD, Karissa. NASA Tech Brief Awards Top Honors to Contour Crafting's Automated Construction Methodology. **Archdaily**. 2014. Disponível em:

<<https://www.archdaily.com/554739/nasa-tech-brief-awards-contour-crafting-s-automated-construction-methodology-top-honors>>. Acesso em: 27 fev 2024.

RUBIN, Ariane Prevedello. **Influência da taxa de estruturação nas propriedades reológicas, físicas e mecânicas de concretos para impressão 3D (3DCP)**. Florianópolis, 2021.

SAMPAIO, Allefy Teles; LAVEZO, Ana Elisa; COUTINHO, Graziella Deldoto. **Segurança do trabalho e medidas de proteção na construção civil**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 3, p. 9983-9997. Curitiba. 2020.

SANTOS, Altair. No Texas, tecnologia 3D imprime casas com concreto bactericida. **Cimento Itambé**. 2021. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/no-texas-tecnologia-3d-imprime-casas-com-concreto-bactericida/>>. Acesso em: 11 mar. 2024.

SANTOS, Altair. Tecnologia 3D já permite imprimir pontes de concreto. **Cimento Itambé**. 2017. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/tecnologia-3d-ja-permite-imprimir-pontes-de-concreto>>. Acesso em: 15 fev. 2024.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Edipro, 2023.

Tecnologia de impressão 3D. **D-shape**. (S/D) . Disponível em: <<https://d-shape.com/3d-printing/>>. Acesso em: 17 mar. 2024.

The Genesis Collection at Wolf Ranch. **ICON**. 2022. Disponível em: <<https://www.iconbuild.com/projects/the-genesis-collection-at-wolf-ranch>>. Acesso em: 02 mar. 2024.

TOBI, Abdul Latif Mohd. Uma seção de parede construída usando Contour Crafting. **ResearchGate**. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/A-section-of-wall-constructed-using-Contour-Crafting-Image-adopted-from-8_fig1_323863227>. Acesso em: 27 fev 2024.

TURNER, Brad. Radiolaria pavilion by Shiro Studio. **Dezeen**. 2009. Disponível em: <<https://www.dezeen.com/2009/06/22/radiolaria-pavilion-by-shiro-studio/>>. Acesso em: 22 fev. 2024.

VICTOR, João. Impressão 3D : mais importante do que se imaginava. **MEDIUM**. 2019. Disponível em: <<https://medium.com/@joaovamaralb/impress%C3%A3o-3d-mais-importante-do-que-se-imaginava-2aac1576c4d3>>. Acesso em: 21 fev 2024.

WALSH, NP. Maior ponte peatonal feita de concreto e impressão 3D é concluída na China. **Archdaily**. 2019. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/909636/maior-ponte-peatonal-feita-de-concreto-e-impressao-3d-e-concluida-na-china>>. Acesso em: 17 fev. 2024.

Welcome to East 17th Street Residences. **East17thstreetresidences**. S/D. Disponível em: <<https://www.east17thstreetresidences.com/>>. Acesso em 03 mar 2024.

WU, Peng; WANG, Jun; WANG, Xiangyu. **A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry**. 2016.

YOSSEF, Mostafa; VILAÇA, CHEN; An. **Applicability and Limitations of 3D Printing for Civil Structures**. Iowa State University. Ames - Iowa. 2015.