



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Câmpus de Sorocaba

FELIPE PESSOA RUIZ

**Estudo de Viabilidade da Aplicação de Impressão 3D em Empreendimentos na
Construção Civil**

Sorocaba

2022

FELIPE PESSOA RUIZ

ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE IMPRESSÃO 3D EM
EMPREENDIMENTOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia de
Sorocaba, Universidade Estadual Paulista (UNESP),
como parte dos requisitos para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. José Arnaldo Frutuoso Roveda

Sorocaba

2022

R934e	Ruiz, Felipe Pessoa Estudo de viabilidade da aplicação de impressão 3d em empreendimentos na construção civil / Felipe Pessoa Ruiz. -- Sorocaba, 2022 46 f. : il., tabs., fotos Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba Orientador: José Arnaldo Frutuoso Roveda 1. Engenharia. 2. Impressão tridimensional. 3. Construção Civil. 4. Estudos de viabilidade. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Câmpus de Sorocaba

ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE IMPRESSÃO 3D EM
EMPREENDIMENTOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

FELIPE PESSOA RUIZ

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Profº. Drº. Everson Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. JOSÉ ARNALDO FRUTUOSO ROVEDA
Orientador/UNESP - Campus de Sorocaba

Prof. Dr. Eduardo Paciencia Godoy
UNESP - Campus de Sorocaba

Eng. Eduardo Bueno Mendes
UNESP - Campus de Sorocaba

Novembro de 2022

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, que permitiu a mim, à minha família e amigos, superar estes tempos de dificuldades com saúde e união, mantendo ao meu lado as pessoas maravilhosas que citarei.

A meus pais, Silvio Ruiz e Rosana Teixeira Pessoa Ruiz, que sempre me apoiaram incondicionalmente, tiveram paciência e deram o seu melhor para que eu chegasse até aqui.

Ao amor da minha vida, Nicole Bueno Mendes, que fez essa realização ser possível e me apoiou de uma forma que nunca imaginei que pudesse ser apoiado.

Ao meu irmão, Renato Pessoa Ruiz, que sempre me motivou e se preocupou.

Aos meus amigos, especialmente à Bruna Monique Souza e ao Rafael Antunes Ferreira, que me mantiveram firme e me ajudaram nos estudos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. José Arnaldo Frutuoso Roveda por me ajudar mesmo com um cronograma tão apertado, e homenageando-o agradeço também aos demais membros da seção de graduação, especialmente ao Adriano Luiz Imenes Dias pelo grande auxílio e disponibilidade oferecidos.

RUIZ, F. P. **Estudo de viabilidade da aplicação de impressão 3d em empreendimentos na construção civil**. 2022. 46 f. Trabalho de Graduação (Engenharia de Controle e Automação) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2022.

RESUMO

Os processos da impressão 3D resultam na construção de objetos tridimensionais, a partir de um desenho ou modelo digital, por meio da adição sucessiva de camadas de material. Intrinsecamente, essa definição permite não apenas reduzir desperdícios de matéria-prima, resultando em economias substanciais em indústrias que trabalham com matérias-primas valiosas, como também permite a criação de peças e estruturas mais leves e resistentes, com geometrias complexas ou personalizadas. Para a área da construção civil, a alta flexibilidade desta tecnologia faz com que seja possível sua inserção dentro de diversos processos já estabelecidos na indústria, atuando na substituição dos métodos tradicionais ou como complemento a eles, resultando em benefícios como reaproveitamento e economia de materiais, redução no tempo de construção e no trabalho manual, dessa forma, fazendo com que o investimento no ramo tenha crescido exponencialmente, criando um ambiente fértil para novas empresas. Diante das novas perspectivas de inovação e crescimento de mercado, este trabalho tem como objetivo apresentar, através de pesquisas em artigos científicos, livros e informações de sites, um estudo sobre a viabilidade de aplicação da impressão 3D em empreendimentos da construção civil. Para tanto, é apresentada uma análise de fatores referentes a avanços tecnológicos, benefícios e desafios, situação de mercado e impactos socioambientais. Os resultados indicam que a viabilidade de empreendimentos aplicando impressão 3D na construção civil é confirmada quando pautada por estudos específicos relacionados à particularidade de cada proposta de valor.

Palavras-chave: Impressão 3D. Construção civil. Viabilidade. Manufatura Aditiva.

RUIZ, F. P. **Feasibility study of the application of 3D printing in civil construction projects.** 2022. 46 f. Graduation Project (Bachelor degree in Control and Automation Engineering) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2022.

ABSTRACT

3D printing processes result in the construction of three-dimensional objects, from a digital drawing or model, through the successive addition of layers of material. Intrinsically, this definition allows not only to reduce raw material waste, resulting in substantial savings in industries that work with valuable raw materials, but also allows the creation of lighter and stronger parts and structures, with complex or customized geometries. Within the civil construction area, the high flexibility of this technology makes it possible to insert it into several processes already established in the industry, acting in the replacement of traditional methods or as a complement to them, resulting in benefits such as reuse and savings of materials, reduction in construction time and manual work, thus, making the investment in the field have grown exponentially, creating a fertile environment for new companies. In view of the new perspectives of innovation and market growth, this work aims to present, through research in scientific articles, books and information from websites, a study on the feasibility of applying 3D printing in civil construction projects. presented an analysis of factors referring to technological advances, benefits and challenges, market situation and socio-environmental impacts. The results indicate that the feasibility of projects applying 3D printing in civil construction is confirmed when guided by specific studies related to the particularity of each value proposition.

Keywords: 3D printing. Construction. Viability. Additive Manufacturing.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- Calçado com partes impressas em 3D.....	19
FIGURA 2	- Cabeça de injeção do módulo de propulsão para foguetes	19
FIGURA 3	- Assentos customizados impressos em 3D da Porsche	20
FIGURA 4	- Aparelhos dentais Impressos em 3D	20
FIGURA 5	- Impressão de modelos arquitetônicos	21
FIGURA 6	- Infográfico do funcionamento da impressora SLA.....	23
FIGURA 7	- Infográfico do funcionamento da impressora SLS.....	24
FIGURA 8	- Infográfico do funcionamento da impressora FDM.....	25
FIGURA 9	- Ponte impressa em 3D pela IAAC.....	28
FIGURA 10	- Ponte para ciclistas impressa 3D pela BAM e TU/e.....	29
FIGURA 11	- Método de criação de moldes da FreeFAB Wax.....	30
FIGURA 12	- Estrutura do telhado do prédio 6 Bevis Marks, impressa em 3D.....	31
FIGURA 13	- Impressão do maior edifício impresso em 3D do mundo.....	32
FIGURA 14	- Impressão 3D da estrutura do projeto TECLA.....	33
FIGURA 15	- Casa de isolamento feita em 3D pela Winsun.....	34
FIGURA 16	- Correlações entre as características da construção e as características da impressão 3D	36
FIGURA 17	- Comparação entre construção impressa em 3D e construção convencional	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	- Tridimensional
ABS	- Acrílico Butadieno Estireno
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
BIM	- <i>Building Information Modeling</i>
CAD	- <i>Computed Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
COVID-19	- Doença do Coronavírus de 2019
FDM	- <i>Fused Deposition Modeling</i> (Modelagem por Fusão e Depósito)
IAAC	- <i>Institute for Advanced Architecture of Catalonia</i>
MCA	- <i>Mario Cuchinella Architects</i>
SLA	- <i>Stereolithography</i> (Estereolitografia)
SLS	- <i>Selective Layer Sintering</i> (Sinterização Seletiva a Laser)
STL	- <i>Stereolithography Tessellation Language</i>
PETG	- Polietileno Tereftalato Glicol
PLA	- Ácido Polilático
TPU	- Termoplástico de Poliuretano
TU/e	- Universidade de Tecnologia de Eindhoven
WASP	- <i>World's Advanced Saving Project</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
1.4 Metodologia	12
2 EVOLUÇÃO INDUSTRIAL	14
2.1 Contexto Histórico	14
2.3 Indústria 4.0	14
3 IMPRESSÃO 3D: CONTEXTUALIZAÇÃO	16
3.1 Aspectos Históricos	16
3.2 Expansão e Diversificação	17
3.3 Aplicações Atuais e Futuras	18
3.4 Principais Processos de Impressão 3D	22
3.4.1 Estereolitografia (SLA)	22
3.4.2 Sinterização Seletiva a Laser (SLS)	23
3.4.3 Modelagem por Fusão e Depósito (FDM)	24
4 IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL	26
4.1 Empreendimentos de Sucesso em Empresas Inovadoras e Tradicionais	27
4.2 Vantagens e Benefícios da impressão 3D na Construção Civil	34
4.3 Desafios da Impressão 3D na Construção Civil	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1 Discussões Finais	41
6 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Usualmente o engenheiro está incluído na elaboração de novas experimentações e, em vários momentos, possui a responsabilidade integral sobre o progresso de sistemas complexos. Para que consiga manejar suas atividades com sucesso, é necessário que este tenha conhecimentos sobre as metas a serem alcançadas e os meios teóricos e práticos aplicáveis a cada etapa. Os conhecimentos científicos, econômicos, sociais e práticos aliados à recomendação, perspicácia e inspiração de um engenheiro são aptidões que estão incessantemente colocadas em prática na missão de criação, aperfeiçoamento e implementação de utilidades que realizem uma função ou objetivo.

Neste trecho, por diversas vezes, engenheiros se deparam com novas tecnologias e métodos que prometem impactar ou até mesmo revolucionar sua área de atuação. O engenheiro de controle e automação em particular, por consequência de possuir uma ampla base teórica que abrange mecânica, eletrônica e informática, tem capacidades para atuar e coordenar projetos nas mais diversas áreas. Desse modo, aquele que utilizar de suas aptidões teóricas e práticas em conjunto com sua criatividade e perspicácia para identificar novas tendências e possíveis inovações, poderá obter uma vantagem competitiva muito superior em relação aos demais, quer seja para empreender, quer seja para implantar em sua empresa de atuação.

Dentro de uma aparente infinidade de tecnologias e áreas promissoras dentro do escopo de estudos do controle e automação, a combinação inovadora entre impressão 3D e construção civil, tem recebido cada vez mais atenção e interesse para investimentos.

A área da construção civil, segundo (CELERE, 2018), apesar ser tradicionalmente mais lenta em relação à adoção de novas tecnologias e com dificuldades em inovar, encontra na impressão 3D uma alta compatibilidade com as demandas do mercado de construção, podendo levar a mudanças significativas no campo de projetos e nas perspectivas de crescimento do setor, introduzindo novas técnicas, estabelecendo novos desafios e criando novas ferramentas. Nesse segmento, a impressão 3D é creditada como elemento central de uma nova revolução industrial, na qual digitalização, informação e conectividade transformam a inovação de produtos.

Pela perspectiva das empresas, a crescente velocidade no desenvolvimento de tecnologias que impactam a manufatura e a consequente pressão de mercado gerada pela modernização da concorrência, faz com que se torne muito atrativa a ideia da adoção da impressão 3D para assim tornarem-se ágeis e flexíveis e unirem-se à tão estimada Indústria 4.0.

Espera-se que a tecnologia da impressão 3D traga benefícios significativos às indústrias e empresas, porém tais benefícios são raramente percebidos na prática (CANDI; BELTAGUI, 2019). Diante de tal panorama, torna-se de interesse dos empreendedores e dos engenheiros responder a uma questão importante: *é viável empreender aplicando impressão 3D na área da construção civil?*

Para abordar essa problemática, esta dissertação introduz conceitos base necessários para entendimento e contextualização da impressão 3D, tais como:

- Contextualização histórica da indústria;
- Contextualização histórica da impressão 3D;
- Aplicações atuais e futuras da impressão 3D na indústria;
- Principais processos de impressão 3D;
- Contextualização da impressão 3D na construção civil;
- Empreendimentos de sucesso em empresas inovadora e tradicionais;
- Vantagens e desafios da impressão 3D.

Dada a vastidão de temas associados à impressão 3D e suas aplicações, e de forma a evitar uma generalização do tema, serão colocadas algumas restrições ao seu âmbito. Como tal os seguintes tópicos não serão alvos de estudo:

- Detalhes técnicos sobre a construção e funcionamento da impressora 3D;
- Composição química dos pós ou resinas usadas na impressão de objetos;
- Softwares de CAD e suas limitações;
- Comparação dos diferentes métodos de impressão 3D;
- Métodos tradicionais de manufatura;
- Métodos de impressão 3D na construção.

Os métodos de impressão 3D na construção como (Contour Crafting, D-shape, Mesh Mould, entre outros) não serão abordados visto que não é do escopo deste estudo se aprofundar em particularidades técnicas de cada máquina, e sim fundamentar bases para análises mais generalizadas e servir de orientação para indagações aprofundadas a respeito da viabilidade dos empreendimentos. Desse modo não atrelando os resultados em função de tecnologias proprietárias de empresas específicas ou técnicas que podem se tornar obsoletas devido à rápida evolução da tecnologia da impressão 3D.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O trabalho tem por seu objetivo realizar uma análise de viabilidade de aplicação da impressão 3D em empreendimentos na área de construção civil, utilizando-se de fundamentação teórica e raciocínio crítico adquiridos no decorrer do curso.

1.1.2 Objetivos específicos

Para o entendimento e desenvolvimento do objetivo geral, este trabalho apresentará informações gerais sobre impressão 3D e suas caracterizações, bem como tratará de informes bibliográficos tendo como parâmetro a contextualização do tema. Posteriormente serão abordadas as seguintes temáticas de forma detalhada:

- Evidenciar as tendências da automação, bem como a inclusão de tecnologias na indústria;
- Caracterizar uma contextualização geral sobre a impressão 3D e seus avanços;
- Identificar e nortear sobre as principais aplicabilidades da impressão 3D na indústria.
- Contextualizar o cenário da construção civil frente à aplicação da impressão 3D.
- Fornecer exemplos de empresas com projetos comerciais de referência os quais aplicam a impressão 3D na construção civil.
- Identificar perspectivas para o futuro da impressão 3D na construção civil.
- Revisar e dar fundamento sobre a viabilidade de empreendimentos que aplicam a impressão 3D na área.

1.4 Metodologia

A metodologia usada, bem como, a fundamentação neste trabalho, foi uma pesquisa bibliográfica qualitativa, seguindo os preceitos do estudo exploratório, no qual foi classificado e determinado o conteúdo utilizado a partir de livros, dissertações, teses e artigos, usando como principais bases de dados Capes, Scholar e Scielo.

De acordo com Lakatos e Marconi (2017), o estudo bibliográfico ou de fontes secundárias é o que especialmente interessa a este trabalho. Trata-se da verificação de toda a bibliografia já publicada, em livros, revistas, publicações avulsas e impressas. Dessa maneira entende-se, que

a bibliografia tem em suas fontes um alto nível de credibilidade, oferecendo segurança no uso das suas informações, dando legitimidade ao estudo e ao autor que dela se utiliza.

A junção dos artigos selecionados foi determinada com a análise dos títulos e dos resumos de cada um. As escolhas dos artigos para a verificação tiveram em consideração documentos em português e inglês, com publicações feitas entre 2001 e 2022.

Percebeu-se poucas referências bibliográficas atualizadas sobre a automação na construção, especialmente sobre impressoras 3D aplicadas à indústria da construção. Devido a isto, optou-se por pesquisar em sites de empresas fabricantes e proprietárias da tecnologia aplicada à construção civil, contudo, as informações fornecidas são restritas e limitadas, evidenciando-se uma grande confidencialidade de dados e detalhes sobre os funcionamentos e características das impressoras 3D.

O progresso do presente texto encontra-se ramificado em cinco principais tópicos, listados a seguir: A evolução Industrial; Impressão 3D: Contextualização; Impressão 3D na Construção Civil; Resultados e Discussões; Conclusão e, por fim, as referências bibliográficas que foram usadas para a pesquisa.

2 EVOLUÇÃO INDUSTRIAL

2.1 Contexto Histórico

Os sistemas de produção de indústria como conhecemos hoje começaram a ser moldados com a revolução industrial na Inglaterra, que se iniciou por volta de 1760 e se propagou para os Estados Unidos no século seguinte até 1840. No início da primeira revolução foi desenvolvida a máquina a vapor impulsionada pelas muitas jazidas de carvão que existiam na Inglaterra e foram primeiramente aplicadas na fabricação de tecidos e na mineração. Essas primeiras máquinas são consideradas o marco da revolução industrial e também o início da indústria 1.0.

Em meados de 1850 a primeira revolução industrial evoluiu para o que chamamos de segunda revolução industrial com o advento da eletricidade e da linha de montagem, possibilitando o surgimento da produção em massa. Em decorrência do uso de novas energias do petróleo e da eletricidade, equipamentos inéditos puderam ser projetados e incorporados à linha de produção. O marco mais lembrado pelo ocidente é a produção em massa do modelo Ford T-1913.

A terceira revolução industrial, chamada também de revolução digital, teve início na década de 1960 e foi impulsionada pelo desenvolvimento dos semicondutores, dos controladores lógicos programáveis, da computação e, posteriormente na década de 1990, da Internet. Tais processos de automação, mecanização e robotização aparecem como verdadeiras modernizações da indústria, provocando mudanças drásticas devido ao aumento da produtividade e transformação das técnicas tradicionais de produção e negócio.

Pode-se dizer que esse progresso facilitou o sistema, permitindo que as produções se tornassem mais econômicas, ágeis e padronizadas, substituindo em partes a mão de obra humana, restando apenas a necessidade de supervisão (TOYOTA; SCOPEL, 2006; CAMPANA; OPLUSTIL, 2011; TSAFNAT et al., 2014).

2.3 Indústria 4.0

No início do século XXI, com a evolução dos computadores, das tecnologias da ciência da informação, da nanotecnologia, biotecnologia e da big data, a manufatura evoluiu para uma inteligência distribuída e para processos mais autônomos, este período marca o início da manufatura avançada ou da indústria 4.0. Esta quarta revolução industrial é pautada em

conectividade e é uma oportunidade de mudar radicalmente a maneira como a indústria responde às necessidades da sociedade, uma vez que as revoluções industriais anteriores foram lideradas por inovações nos processos e sistemas de fabricação, o avanço da indústria 4.0 é impulsionado por um ambiente generalizado, interconectado e inteligente. Nesta transformação, sensores, máquinas, peças de trabalho, e sistemas de tecnologia da informação serão interconectados, se comunicarão e analisarão dados para prever falhas, configurarem-se e adaptarem-se a mudanças (RÜßMANN, 2015).

A indústria 4.0 é uma abordagem na qual componentes e máquinas estão se tornando inteligentes e ligados pela internet. O conceito está relacionado com a ideia de ‘indústria inteligente’, dispondo da utilização de recursos da tecnologia da informação para ter suas funções planejadas e controladas de maneira otimizada, com habilidade de gerenciar e moderar grande porção de informações no tempo mais limitado possível, permitindo sua gestão e controle.

Nove tecnologias recebem o título de Nove Pilares da Indústria 4.0, muitas dessas tecnologias já são empregadas na manufatura, porém na Indústria 4.0, elas transformarão a produção.

Células otimizadas isoladas se unirão como um fluxo de produção totalmente integrado, automatizado e otimizado, levando a uma maior eficiência e mudando as relações tradicionais de produção entre fornecedores, produtores e clientes - bem como entre humanos e máquinas (RÜßMANN, 2015).

Os nove pilares da Indústria 4.0 são: *Big Data* e Análise, robôs autônomos, simulação, Integração horizontal e vertical do sistema, a internet das coisas industrial, cibersegurança, a nuvem, realidade aumentada e a impressão 3D. A respeito da importância da impressão 3D nesta nova indústria, segundo Rüßmann (2015), na Indústria 4.0, a impressão 3D será utilizada para produzir pequenos lotes de produtos personalizados que oferecem vantagens de construção, como projetos complexos e leves. Os sistemas de manufatura aditiva descentralizados e de alto desempenho reduzirão as distâncias de transporte e o estoque disponível.

Para ser possível discorrer sobre a importância da impressão 3D como um dos pilares da Indústria 4.0, é de suma importância fornecer elementos de compreensão desta tecnologia para sustentar as conclusões a respeito deste trabalho.

3 IMPRESSÃO 3D: CONTEXTUALIZAÇÃO

A impressão 3D refere-se a uma série de processos de manufatura aditiva, que abrange um amplo espectro de processos e tecnologias, a maioria dos quais usa luz ou calor para criar objetos físicos a partir de polímeros, pós ou filamentos, sem as penalidades de custo tradicionalmente associadas a ferramentas e produção de baixo volume (WELLER et al., 2015). Estes processos permitem a criação de produtos, dos mais diversos tipos, por meio da junção de materiais através da sobreposição progressiva de camadas de plástico, metal ou outro material, diretamente ordenadas de acordo com arquivos digitais projetados tridimensionalmente, que podem ser elaborados por meio de uma variedade de softwares de CAD (*Computer Aided Design*), ou através de scanners 3D.

Os processos da impressão 3D resultam na construção de objetos através da adição de camadas de material e se diferenciam da manufatura tradicional na qual o objeto é formado através da retirada sucessiva do material que não faz parte da geometria da peça. Intrinsecamente, essa definição permite não apenas reduzir desperdícios de matéria-prima resultante da produção de componentes, resultando em poupanças substanciais em indústrias que trabalham com matérias-primas valiosas (COYKENDALL et al., 2014), como também, permite a produção de peças mais leves e mais resistentes (GIBSON; RONEN; STUCKER, 2010).

A impressão 3D vem sendo considerada um marco histórico no progresso dos processos de confecção, já que possibilita a construção de itens acabados e customizados, simplificando a construção, encurtando consideravelmente o tempo de fabricação de peças e planejamento de processos e assim, eventualmente sendo possível reduzir custos. Anderson (2012) reproduz a nova perspectiva ressaltando que a impressão 3D favorece a individualização e customização, ao contrário da construção em massa que favorece a revisão e a padronização.

Os impactos gerados por esse novo método de manufatura trouxeram inovações não só no custo e nas propriedades dos materiais, mas também trouxeram mais liberdade para o projetista, que pôde passar a preocupar-se mais com o design da peça e menos com a possibilidade de produzi-la.

3.1 Aspectos Históricos

A impressão 3D surgiu na década de 1980, ou seja, há mais de 30 anos, com o primeiro relato de impressão em um modelo sólido sendo feito pelo pesquisador japonês Hideo Kodama,

do Instituto de Investigação Industrial de Nagoya, no Japão, em 1981. No entanto, em 1984, nos Estados Unidos, Charles Hull, cofundador da empresa 3D Systems, foi quem ficou conhecido como o pai da impressão 3D, patenteando seu protótipo sob o nome de *Stereolithography* (SLA), o qual se diferenciava dos processos desenvolvidos anteriormente devido ao uso do formato do ficheiro STL (*Stereolithography Tessellation Language*), onde estão contidas as instruções de impressão. Entretanto, essa tecnologia apenas começou realmente a ser usada e considerada um bom negócio nos últimos anos, assim como Hull dizia que aconteceria (HICKEY, 2014).

Em 1987, a empresa 3D Systems desenvolveu a primeira impressora 3D para fins comerciais, sob o nome de SLA-1. Coincidentemente, esta tecnologia não era a única em desenvolvimento naquele momento, pois ainda no mesmo ano, nos Estados Unidos, o pesquisador da Universidade do Texas, Carl Deckard, entrou com um pedido de patenteamento para seu processo sob nome de *Selective Layer Sintering* (SLS). Esta patente foi emitida em 1989 e a SLS foi posteriormente licenciada para a empresa DTM, que mais adiante viria a ser adquirida pela empresa 3D Systems em 2001.

Em 1989 também foi o ano em que, nos Estados Unidos, Scott Crump, cofundador da empresa Stratasy, inicia o processo de patenteamento de um novo processo de impressão 3D, denominado de *Fused Deposition Modelling* (FDM), sendo a patente emitida em 1992 (SANTOS, 2016).

A partir de então, foram gradualmente introduzidas novas evoluções na impressão 3D, com novas técnicas ganhando espaço. Contudo, apesar de várias tecnologias com bases promissoras já estarem em desenvolvimento desde a década de 90, suas patentes as mantinham restritas a poucas universidades e centros de pesquisa, limitando o emprego, investimento e melhoramento do setor.

3.2 Expansão e Diversificação

As tecnologias de impressão tridimensional não eram viáveis para a utilização em maior parte, visto que, por mais de 20 anos, a utilização desta tecnologia restringiu-se às companhias com capacidade aquisitiva. Aqueles que tinham acesso à impressão 3D eram grandes centros de tecnologia ou companhias de grande peso, capazes de arcar com os valores dos equipamentos. Contudo, o cenário mudou na primeira década do século XXI quando patentes de alguns tipos de impressão 3D expiraram e a criação de um projeto *open source* (software que pode ser usado, copiado, estudado, modificado e redistribuído sem restrição) denominado

RepRap, disponibilizou tudo de forma gratuita na internet, inclusive modelos e artigos que auxilia a criar novas unidades (BALZANI, 2017; PAIVA; NOGUEIRA, 2021).

O projeto RepRap foi criado em 2004, na Inglaterra, com o objetivo de criar máquinas autorreplicáveis e com livre acesso para todos. Ou seja, com código aberto. A RepRap foi a primeira impressora 3D de baixo custo criada e, por ser de código aberto, revolucionou a tecnologia open source. Podemos dizer que a construção da primeira RepRap, possibilitou que essa tecnologia, que antes era bastante cara, se tornasse muito mais acessível e se desenvolvesse (SOARES, 2017, s/p).

A partir deste marco, a impressão 3D foi mais explorada e isso impulsionou muitos avanços, facilitando a difusão de produtos e protótipos relacionados para inúmeras áreas do mercado. Já é possível imprimir desde um simples objeto em plástico até próteses médicas, comida e partes do corpo humano (PAIVA; NOGUEIRA, 2021). Isso demonstra como a impressão 3D já evoluiu com o tempo, entretanto, ela continua evoluindo.

3.3 Aplicações Atuais e Futuras

A utilização de prototipagem 3D proporcionou uma alteração vantajosa na atualidade, com a alternativa de criação de peças e itens de vários formatos e tamanhos, que são capazes de ser usadas em vários meios, criando dessa maneira uma eventualidade de se engenhar muitos produtos. Seu grande diferencial em relação a mais processos é que a tecnologia não requer ferramentas especiais para fixação ou moldes e os protótipos são arranjados em menor tempo sem a urgência de cálculos de geometrias e curso de movimento do equipamento.

Nota-se aqui que a impressão 3D facilita a individualização e customização, ao contrário da fabricação em massa que favorece a repetição e a padronização. Agora, tanto a massificação quanto a customização são métodos viáveis de fabricação automática. (PESSOA, 2016).

A cada ano vem surgindo uma grande diversidade de materiais disponíveis para impressão, mais simples ou mesmo compostos, o que tende a reverter em uma maior aplicação da tecnologia (CANDI; BELTAGUI, 2019). Um dos proveitos do processamento de impressão 3D é a sua variedade de aplicações em diversos setores. Podemos ver uma aplicação na indústria de bens-de-consumo na Figura 1.

Figura 1 – Calçado com partes impressas em 3D.



Fonte: AMFG (2019).

De acordo com Gomes et al. (2017), a indústria aeroespacial vem usando a prototipagem 3D no progresso de tecnologias em escalas mais baixas, produzindo pequenas peças, ferramentas e protótipos. Num cenário futuro, a impressão 3D poderá vir a permitir o desenvolvimento e impressão de asas (CAMPBELL et al, 2012) e motores de aviões (KELLER, 2015). A Figura 1 mostra uma parte do sistema de propulsão de foguetes impressa em 3D.

Figura 2 – Cabeça de injeção do módulo de propulsão para foguetes.



Fonte: AMFG (2019).

Na indústria automobilística, como afirma Santos (2016), já se encontra empregado a impressão 3D no processo de criação de protótipos de peças e desenvolvimento de ferramentas personalizadas. Logo poderemos presenciar a introdução da impressão 3D no mercado de peças automóveis sobresselentes (REEVES; MENDIS, 2015). A figura 3 mostra um exemplo de aplicação nessa indústria.

Figura 3 – Assentos customizados impressos em 3D da Porsche



Fonte: AMFG (2019).

O setor da saúde, tem dado utilização à impressão 3D no desenvolvimento de próteses, implantes dentários, aparelhos auditivos e instrumentos médicos. Em pesquisas mais avançadas já é visto o início do desenvolvimento de tecidos e órgãos humanos, além da realização de modelos 3D como complementos a tomografias computadorizadas, ressonâncias magnéticas ou mesmo sonografias 3D/4D. a Figura 4 mostra uma aplicação na odontologia para a impressão 3D.

Figura 4 – Aparelhos dentais Impressos em 3D



Fonte: AMFG (2019).

A impressão 3D também começou a dar os seus primeiros passos na indústria alimentícia, permitindo a impressão de talheres e fôrmas. Há similarmente testes com a produção de alimentos simples, como pizza, espaguete, bolachas, chocolates e cubos de açúcar (SUN et al., 2015), além de pesquisas voltadas para impressão de carne. Num cenário futuro poderemos vir a assistir à elaboração de receitas mais complexas com os mais diversos ingredientes nas

cozinhas de qualquer pessoa (DAVIS; BURGEN; CORBYN, 2015), tal como a impressão de alimentos no espaço para astronautas (NASA, 2013).

De acordo com Cabeza et al. (2016) a tecnologia de impressão 3D também abrange uma série de aplicações para o meio rural. Ainda que pouco usada neste meio, há processos que envolvem a prototipagem de peças e componentes de maquinários agrícolas, impressão de peças para comedouros e bebedouros, dentre outros. Tudo com eventualidade de construção na própria propriedade, visando a guarida das atividades desenvolvidas, tanto na reposição de peças, reduzindo dessa forma os custos com esboços (ZUCCA et al., 2018).

Na vertente da arquitetura, a impressão 3D colabora para a diminuição dos custos de progresso e construção de esboços de produtos e arquitetônicos, especialmente através da prototipagem rápida, que auxilia a identificar e distinguir os pontos fracos ou fortes de um projeto de produto ou construção.

Figura 5 – Impressão de modelos arquitetônicos



Fonte: CELERE (2018).

Esses são apenas algumas das potenciais aplicações industriais atuais da impressão 3D. Do mesmo modo que várias tecnologias inovadoras, causaram mudanças permanentes, a impressão 3D promete revolucionar todas as áreas de fabricação. Objetos que poderiam parecer impossíveis em um passado não muito distante, hoje já estão no mercado e ainda há um longo caminho de desenvolvimento e inovações pela frente.

3.4 Principais Processos de Impressão 3D

Conforme referido, a rápida expansão da impressão 3D propiciou o surgimento e maturação de diversas técnicas de impressão, cada qual com suas propriedades de materiais, acabamento, velocidade e custos. Segundo Volpato (2017), a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) propôs uma classificação de acordo com a tecnologia empregada, a qual resultou em sete categorias que classificam as técnicas de impressão existentes.

Em meio a diversas tecnologias, os modelos SLA, SLS e FDM ganharam tração na indústria e se tornaram as técnicas de impressão 3D mais populares que existem no mercado (ASSIS, 2018). Estas técnicas se destacam na área industrial justamente devido a sua versatilidade, contando com uma grande variedade de materiais que podem ser empregados, à complexidade de formas que podem ser geradas e ao custo reduzido em comparação às demais técnicas. Observa-se, no entanto, que a FDM é a técnica mais popular para a área de construção civil, particularmente por permitir a deposição dos mais variados tipos de materiais, dentre eles concreto, plásticos, resíduos de construção e até mesmo barro.

3.4.1 Estereolitografia (SLA)

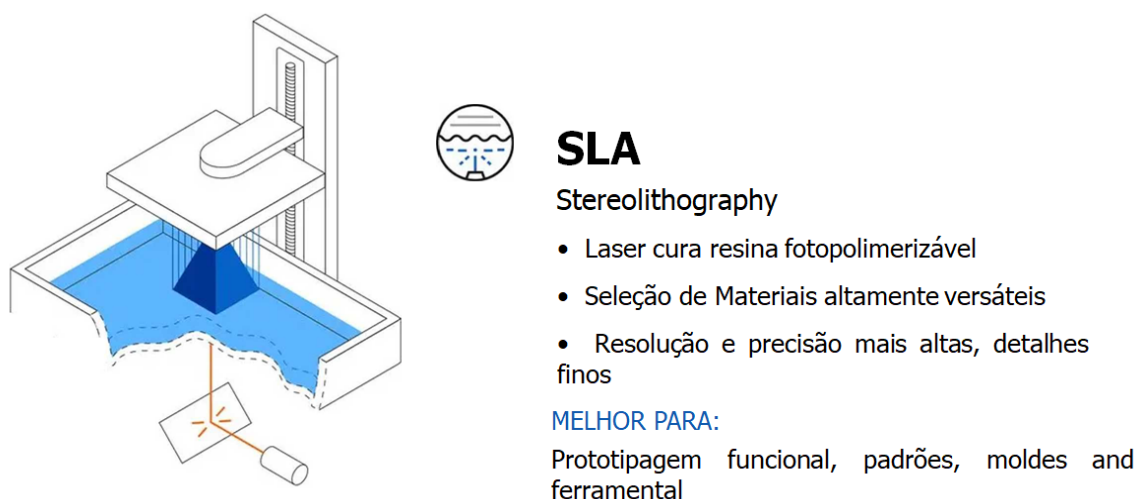
A técnica pioneira de impressão 3D, chamada de Estereolitografia, baseia-se no endurecimento (polimerização) de uma resina líquida (acrílica, epóxi ou vinil) fotossensível composta de monômeros, fotoiniciadores e aditivos, por meio de um feixe de laser ultravioleta (BADOTTI, 2003).

A impressão nesse tipo de impressora começa com a plataforma de construção totalmente mergulhada na resina. Uma vez que a resina líquida é carregada na cuba e as instruções digitais são programadas, uma unidade de laser direciona um feixe ultravioleta para um espelho refletivo e em seguida um sistema de motor e espelhos direciona o feixe focado para a superfície da resina. Primeiramente as camadas das estruturas de suporte são desenhadas, seguidas pela geometria real da peça. Após solidificada a imagem de uma camada da peça na superfície da resina, um sistema de elevador desloca a plataforma de construção para baixo, afundando-a ainda mais na resina e uma lâmina se move pela plataforma para aplicar a próxima camada de resina. O processo é repetido camada por camada até que a construção esteja completa.

Finalizado o processo, o excesso do material é removido com banho químico e a cura da peça é finalizada com luz ultravioleta para que se torne mais firme e estável. Um dos

benefícios dessa técnica é a alta precisão e acabamento das peças, fazendo-a muito utilizada para odontologia e joalheria, no entanto o custo de impressão é mais alto em relação à FDM.

Figura 6 - Infográfico do funcionamento da impressora SLA.



Fonte: Adaptado de Formlabs (2019).

3.4.2 Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

A Sinterização Seletiva a Laser é uma técnica que se assemelha à SLA, com a principal diferença que a SLS se baseia no uso de laser para aquecer e sinterizar o material em pó, que pode ser nylon, cerâmica, areia de fundição, entre outros.

A primeira etapa da impressão ocorre com o preenchimento da câmara de impressão com o pó, que fica pré-aquecido a uma temperatura abaixo da fusão para que se torne mais fácil sua elevação da temperatura. Em seguida, um rolo aquecido nivela material e um laser de alta potência é projetado no pó fazendo o material entrar em fusão, formando uma camada. A seguir a plataforma central desce e o rolo novamente percorre a superfície, cobrindo a camada recém-criada com mais pó. Este processo continua até que o objeto esteja formado.

No final do processo, o excesso do pó deve ser retirado do objeto impresso através de jato de ar comprimido ou de escovas próprias para esse propósito. O pó não sinterizado serve como suporte das camadas superiores durante o processo e, após removido, pode ser reutilizado, acarretando em pouco desperdício.

De acordo com Fernandes (2017), a principal vantagem desse método, entre os tipos de impressão 3D, é a de que ele não necessita de suportes para o apoio do modelo durante a sua fabricação, evitando alguns tratamentos pós-impressão e conferindo um acabamento excelente

à peça. Outras características benéficas das peças impressas de modo são: boa resistência mecânica e térmica e a vantagem de se utilizar diversos materiais para fabricação, como poliamidas, elastômeros, cerâmicas e metais com polímeros aglutinantes (GRIMM, 2005).

Figura 7 - Infográfico do funcionamento da impressora SLS.



Fonte: Adaptado de Formlabs (2019).

3.4.3 Modelagem por Fusão e Depósito (FDM)

A FDM (Fused Deposition Modeling) é uma técnica que utiliza termoplásticos, que podem ser PLA, ABS, PETG, Nylon, TPU, entre outros, em formato de filamentos para imprimir em 3D.

Na impressão utilizando-se esta técnica, o termoplástico é aquecido dentro da extrusora até um estado semilíquido e extrusado por um orifício no bico de impressão, sendo então depositado na mesa de impressão. Há diversas configurações para a movimentação da máquina como por exemplo, a extrusora se move nos eixos X e Y e a mesa de impressão no eixo Z, ou a extrusora se move em X e Z e a mesa se movimenta em Y, mas independentemente da configuração, uma vez que o material foi depositado em toda seção transversal da peça, a extrusora se afasta e uma nova camada tem início.

O processo que pode durar de poucos minutos a várias horas, possui vantagens de poucos desperdícios, preço de entrada de impressoras e materiais muito mais acessíveis que as outras técnicas, grande variedade de materiais aplicáveis, menor necessidade de limpeza e também menor espaço necessário, visto que os motores de acionamento necessitam de menos

potência e resfriamento que os lasers. Tais características possibilitam sua instalação em ambientes não industriais e são responsáveis pela popularização desse tipo de impressora.

Segundo Raulino (2011), esta impressora é mais utilizada para a fabricação de produtos menos exigentes, direcionados a atividades acadêmicas e produtos customizáveis para comercialização. Além disso, é comumente empregada para produzir modelos conceituais, protótipos e peças para uso final, principalmente na engenharia (STRATASYS, 2018).

Figura 8 - Infográfico do funcionamento da impressora FDM.



Fonte: Adaptado de Formlabs (2019).

4 IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Como afirmam Zucca et al. (2018), a impressão 3D vem sendo usada em vários setores, ajudando com mudanças em processos de fabricação e serviços, o que demonstra a potencialidade da técnica, impactando de modo direto o modelo atual que é conhecido. Este panorama não seria diferente com a construção civil. Conjunta, porém independentemente ao surgimento da impressão 3D, na década de 80 a área da construção civil passou por uma revolução que alterou e continua alterando permanentemente o setor. Esta revolução foi originada com o surgimento das tecnologias de CAD e na década seguinte com o BIM (*Building Information Modeling*).

O CAD revolucionou o modo que projetos eram elaborados, ao transformar os numerosos, pesados e espaçosos papéis de projeto em simples arquivos de desenho digital. Além dos ganhos incomparáveis em relação a armazenamento, catalogação e durabilidade, os desenhos computadorizados podiam ser facilmente modificados até chegar em sua versão final, além de que vários softwares trouxeram automações e ferramentas que agilizaram e flexibilizaram a criação do desenho.

Em 1992 o termo BIM foi introduzido, nessa tecnologia, um ou mais modelos virtuais da construção podem ser criados. Esses modelos se tratam de uma construção virtual equivalente a uma edificação real, permitindo vender, simular, e prever diversos erros de projeto e execução antes mesmo de começar a construção, além de fornecer suporte ao longo de todas as fases do projeto. De acordo com Sacks et al (2021), quando concluídos, esses modelos gerados por computador contêm geometria e dados precisos necessários para o apoio às atividades de construção, fabricação e aquisição por meio das quais a construção é realizada.

Pode-se concluir que a indústria da construção civil é muito favorável a avanços tecnológicos principalmente no tocante à flexibilização e digitalização, com pelo menos dois grandes avanços nos últimos 40 anos, seguindo essa tendência, é de se esperar que uma tecnologia tão promissora e versátil como a impressão 3D encontre terras férteis nesse campo. O setor é um dos que mais vem desenvolvendo materiais e tecnologias para amparo da prototipagem em seus processos produtivos e inclusive já emprega a impressão 3D com sucesso em alguns nichos. Podemos citar como exemplo a indústria de móveis que tem empregado a impressão 3D na manufatura de conectores produzidos para produção ágil de móveis (DIGIANDOMENICO et al., 2017; SANTOS, 2016). Gao et al. (2015) apontam que no setor da construção civil, impressoras 3D têm sido usadas na produção de maquetes, até mesmo há impressoras 3D capazes de desenvolver em grandeza tangível imprimindo casas e edifícios.

Abordando o mérito de casas e edifícios, através da Impressão 3D é possível criar estruturas completas, com formatos únicos (personalizados, difíceis ou até mesmo impossíveis de se realizar pelos meios convencionais), utilizando-se os mais diversos materiais, em tempo reduzido e requerendo menor quantidade de mão-de-obra em relação à construção tradicional. (CELERE, 2018).

A impressão de estruturas já é uma realidade em empresas como a chinesa Winsun, pioneira no setor, que desde 2003 emprega a impressão 3D na arquitetura e construção e vem se tornando destaque com a impressão do prédio mais alto feito com impressora 3D do mundo em 2015. Recentemente esta empresa vem trabalhando na construção de casas de isolamento para ajudar com a pandemia de Covid19 (WINSUN, 2020), assim como com a norte-americana Apis Cor, responsável pela construção do maior prédio do mundo feito com impressora 3D em Dubai e também por construir uma casa em menos de 24h (APIS-COR, 2019).

Diante do contexto supracitado, analisa-se casos de sucesso da aplicação da impressão 3D tanto em empresas inovadoras, as quais são criadas devido a inovações trazidas por essa nova tecnologia, assim como nas tradicionais que passaram a incorporá-la em seu portfólio. Faz-se interessante levantar os benefícios obtidos pela adoção da tecnologia e também os desafios percebidos pelas corporações.

4.1 Empreendimentos de Sucesso em Empresas Inovadoras e Tradicionais

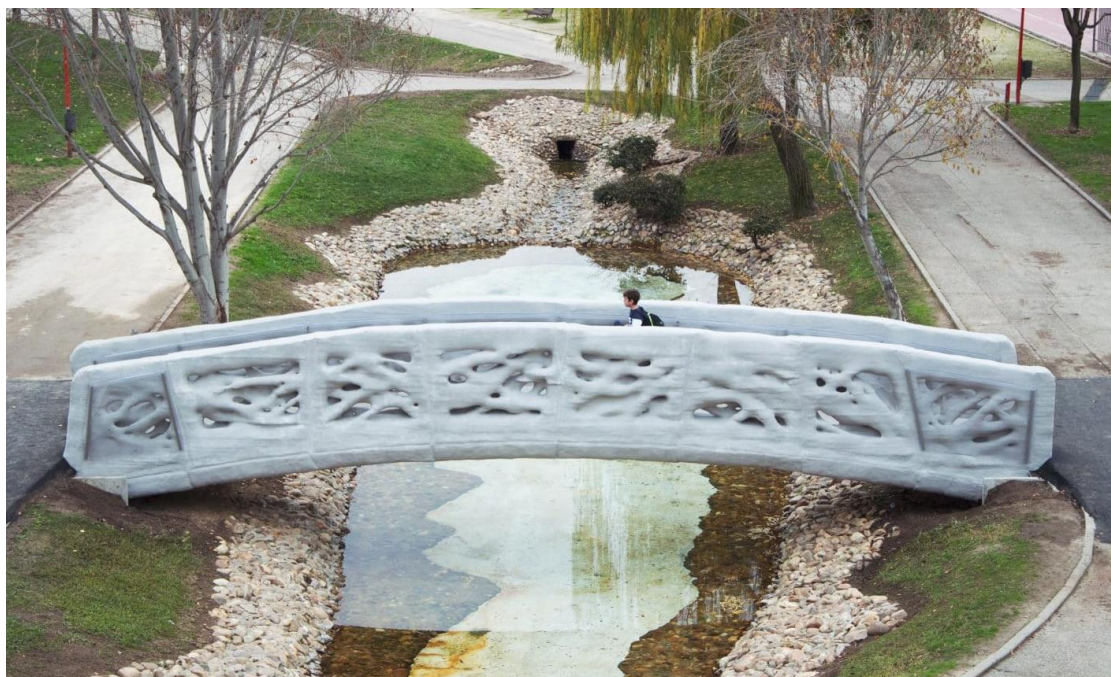
A impressão de pontes é um dos casos pioneiros de aplicação da impressão 3D na indústria da construção civil. Esta aplicação mostra grande valia pois pode ser escalável para diferentes necessidades e a área de infraestrutura oferece grande demanda por soluções. As estruturas complexas de metal ou volumosas de concreto que geralmente devem ser trabalhadas no local, são substituídas por seções pré-impresas que podem apenas ser montadas no local.

Apesar de grandes esforços terem sido aplicados em pontes de menor porte, como para pedestres e ciclistas, com a evolução da tecnologia e o auxílio de designs computacionais, que otimizam a performance com redução de materiais, é possível que pontes para veículos se tornem uma realidade. Alguns casos de destaque no ramo se apresentam:

- Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC): Em 2016 o IAAC inaugurou, em Madri, a primeira ponte em escala real (Figura 9) construída por impressão 3D, a qual possui 12 metros de extensão e é composta por oito seções de concreto micro reforçado (IAAC, 2016?). Seu formato único, que desafia os métodos tradicionais de

fabricação, foi desenvolvido através de design paramétrico, o qual otimiza a distribuição de material e diminui a geração de resíduos por meio da reciclagem de materiais utilizados na manufatura e através de design computacional, que com uso de algoritmos generativos permitem maximizar a performance estrutural enquanto utiliza material apenas onde é necessário.

Figura 9 - Ponte impressa em 3D pela IAAC.



Fonte: IAAC (2016).

- BAM Infra e Universidade de Tecnologia de Eindhoven (TU/e): Em 2018, inaugurou-se a primeira ponte do gênero para ciclistas na Holanda, a qual a empresa BAM Infra afirma ser a "primeira ponte de concreto reforçado e pré-esforçado impressa em 3D do mundo" (BAM, 2017) (Figura 10). A estrutura de 8 metros, constituída de 800 camadas de concreto armado pré-esforçado é fruto de uma parceria entre a empresa BAM Infra e a Universidade de Tecnologia de Eindhoven e levou 3 meses para ser concluída. O design exclusivo da ponte usa 40% menos concreto que uma ponte de concreto vazado tradicional, o que a torna um processo de construção mais sustentável, adicionalmente, a impressão 3D acaba com a necessidade de materiais auxiliares como a cofragem, reduzindo muito a quantidade de resíduos, o uso de matérias-primas escassas e as emissões de carbono.

Figura 10 - Ponte para ciclistas impressa 3D pela BAM e TU/e.

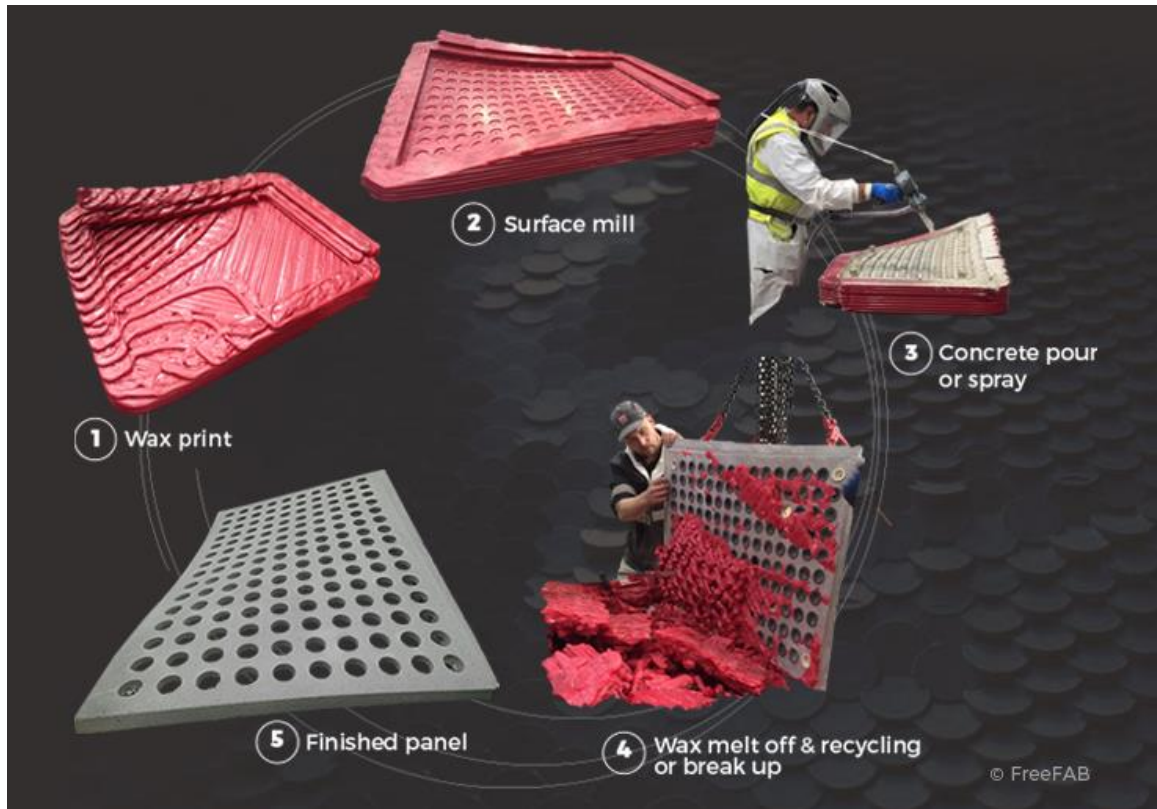


Fonte: BLOCK (2017).

Deve-se enfatizar que a impressão 3D não necessita ser obrigatoriamente a única tecnologia de fabricação envolvida em um projeto, podendo ser combinada ou utilizada como apoio para a construção tradicional. É possível, por exemplo, imprimir os próprios componentes estruturais que serão empregados na construção, isso permite designs mais criativos, elaborados, personalizados e até mesmo funcionais sejam implementados. De modo análogo, empresas de destaque no setor são:

- **Laing O'Rourke:** A empresa Laing O'Rourke combina a impressão 3D à fresagem em 5 eixos na tecnologia chamada FreeFAB Wax (Figura 11), a qual permite a criação de moldes de precisão para a construção e demais indústrias. Os moldes são feitos em cera, podendo ter grande variedade em design, e após serem preenchidos por concreto dão origem a elementos de construção complexos, que permitem ao projetista ou arquiteto uma maior liberdade criativa que com os modos tradicionais de fabricação resultam em projetos muito custosos ou pouco acessíveis. Além da gama de vantagens anteriores, essa tecnologia ainda tem mérito no quesito de sustentabilidade uma vez que a cera empregada pode ser reutilizada diretamente, permitindo um reaproveitamento de mais de 90% dos materiais (FREEFAB, 2021).

Figura 11 - Método de criação de moldes da FreeFAB Wax.



(1) Impressão de cera; (2) Moagem de superfície; (3) Pulverizar ou derramar concreto; (4) Derretimento e reciclagem ou quebra da cera; (5) PAINEL FINALIZADO.

Fonte: FREEFAB (2021).

- A empresa sueca Skanska, oitava maior construtora do mundo em 2019 (ENR, 2020?), é um referencial no que se diz a inserção da impressão 3D dentro de processos de uma empresa tradicional. A construtora aplicou a impressão 3D para construir as complexas junções para suporte da estrutura de aço do telhado de seu prédio 6 Bevis Marks, em Londres (Figura 12). A estrutura foi feita por peças de revestimento impressas em plástico e montada no local, proporcionando uma economia significativa de custo e tempo em relação à solução de ferro fundido tradicional, que seriam muito mais difíceis de produzir. Esta estrutura recebeu uma recomendação ao prêmio Structural Steel Design Awards 2016 (SKANSKA, 2016?).

Figura 12 - Estrutura do telhado do prédio 6 Bevis Marks, impressa em 3D.



Fonte: SKANSKA (2016?).

Ao abordar-se a impressão 3D na construção civil, o nicho mais aquecido, com tangibilidade atual de aplicações e com maior destaque na mídia é o de impressão de casas e edifícios completos, esta proposta tem engajado diversas empresas em desenvolver métodos revolucionários e confiáveis que possam ser aplicados a curto prazo e que consigam abordar a problemática global de habitações. Alguns dos projetos de maior destaque são mencionados:

- Apis Cor: Um exemplo da evolução que a impressão 3D traz nesta indústria é a inauguração do maior edifício construído por impressora 3D do mundo (Figura 13). Segundo Ramirez (2020), este edifício projetado pela empresa Apis Cor e construído em Dubai, conta com uma área de 640m² e 9,5m de altura e servirá para trabalho administrativo do município de Dubai. Segundo a empresa, o prédio foi construído com a ajuda de um guindaste para mover a impressora ao longo dos vários segmentos da obra e devido às condições climáticas adversas e extremas e aos desafios do projeto, foi possível adquirir conhecimentos que os permitiram criar uma mistura própria para servir de matéria-prima e também aprimoramentos nas tecnologias que os permitirão desenvolver uma versão mais confiável e duas vezes mais rápida da impressora.

Figura 13 - Impressão do maior edifício impresso em 3D do mundo.



Fonte: APIS-COR (2019).

- Mario Cuchinella Architects (MCA) e WASP: O projeto chamado de TECLA, desenhado pelos arquitetos da MCA e construído pela empresa WASP, promete ser um marco para habitações sustentáveis, de baixo custo e eficientes. O design do projeto (Figura 14) é inspirado em uma colmeia de vespas e construído a partir de barro de uma fonte local e, para sua construção, utilizaram-se duas impressoras 3D simultaneamente controladas por um pacote de software próprio. Após misturar a terra local com água, as duas impressoras expõem 350 camadas de barro em um padrão ondulatório para garantir estabilidade estrutural. Resíduos de arroz são adicionados à mistura para melhorar as propriedades de isolamento térmico. Ao fim do processo, são geradas duas áreas interconectadas em formato de domo, que contém uma área aberta, sala de estar e um quarto com suíte. A ideia é além de reduzir imensamente as emissões de carbono em relação a outros métodos que empregam concreto ou plástico, é também a de não deixar resíduos caso seja necessário demoli-la e ultimamente fornecer uma solução completa focada em sustentabilidade, contando com um pequeno lago para coletar água da chuva e água cinza e passá-la por um processo de fitodepuração antes de retornar à residência e inclusive dispondo de painéis solares que geram energia limpa. Os planos da empresa são o de enviar para o mundo todo, containers contendo o kit para montagem da infraestrutura completa.

Figura 14 - Impressão 3D da estrutura do projeto TECLA.



Fonte: WASP (2020).

- Winsun: A empresa chinesa Winsun, umas das pioneiras e modelos na área de impressão de edifícios, ofereceu uma resposta engenhosa, flexível e emergencial para contribuir com a luta à crise de Covid-19, na qual imprimiu e doou 15 casas de isolamento para o hospital de Xianning para ajudar a tratar os casos de infecção pela doença. De acordo com Winsun (2020), as 15 residências foram impressas em um dia, porém a empresa possui capacidades para impressão de até centenas no mesmo período. Os materiais utilizados são materiais reciclados, areia e resíduos de construção, a estrutura é de duas a três vezes mais resistente que a de concreto reforçado convencional, além de que as casas são leves e não precisam de fundação, podendo ser transportadas por caminhão para onde haja necessidade. O destino final das casas também é ecologicamente correto, podendo ser reaproveitadas como guaritas, banca de jornal, salas de estar ou mesmo trituradas e reaproveitadas em outras obras impressas em 3D.

Figura 15 - Casa de isolamento feita em 3D pela Winsun.



Fonte: WINSUN (2020).

4.2 Vantagens e Benefícios da impressão 3D na Construção Civil

Mesmo havendo vários tipos de impressoras 3D é possível fazer um apanhado geral das vantagens desse processo, que pode se aplicar à maioria desses equipamentos. Como segue:

- **Flexibilidade:** Designs únicos e personalizados provenientes do desenho assistido por computador (CAD) e da Modelagem da Informação da Construção (BIM) se tornam simples de se implementar. As casas de isolamento para COVID-19 feitas pela empresa Winsun são um exemplo dessa customização.
- **Autonomia e economia na construção:** Demanda pouca intervenção humana e reduz a necessidade de outros tipos de equipamentos.
- **Maior previsibilidade e rapidez:** É possível prever com maior exatidão o tempo de produção. E o processo de impressão 3D também é muito mais rápido do que o convencional.
- **Sustentabilidade:** Impressoras 3D podem utilizar materiais recicláveis e também reaproveitar restos de outras obras, como é o caso do prédio mais alto impresso em 3D do mundo.

- Propriedades especiais. Criação de estruturas que possuem formatos e funcionalidades especiais, tais como maior flexibilidade ou isolamento térmico, sem aumentar o peso, por exemplo.

4.3 Desafios da Impressão 3D na Construção Civil

Analogamente à sumarização geral de benefícios, pode-se condensar alguns dos desafios mais frequentes dos projetos em:

- Alto custo de entrada: Apesar de ser extremamente econômica em sua operação, por muitas vezes se tratar de tecnologia proprietária, uma impressora 3D para construção civil pode custar entre 500 mil e 2 milhões de dólares. Empresas como a Apis Cor realizam treinamento para quem comprar suas impressoras. Uma alternativa para este problema é o desenvolvimento da própria impressora por parte do empreendedor. Por se tratar em maioria, de uma impressora FDM, seu funcionamento é amplamente conhecido e implementável, porém as particularidades da aplicação podem ser um empecilho para o funcionamento.
- Controle dos materiais: A impressora 3D utiliza materiais líquidos ou semilíquidos que endurecem conforme a impressão é realizada. A temperatura e as condições climáticas interferem nesse processo, fator que exigirá habilidade da equipe para entender e adaptar novos materiais à obra.
- Regulamentação: A utilização de impressão 3D na construção civil muitas vezes esbarra em questões burocráticas, em lugares que demandam regulamentações específicas para o uso dessa tecnologia.
- Dimensão: Uma grande limitação se faz presente nas áreas em que há a maior demanda de trabalho, se considerarmos que áreas com maior necessidade habitacional já são altamente populosas e largamente construídas, a necessidade de impressoras que possam construir prédios com múltiplos andares é imperativa. Como podemos observar, há um grande esforço por parte das empresas nesse quesito e é possível que em breve novas tecnologias e avanços sejam desenvolvidas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao comparar-se a indústria de construção civil às demais, é possível perceber que este é um setor extremamente promissor para empreendimentos na área da impressão 3D e um dos mais aquecidos da última década. De acordo com (BCG, 2018), a alta compatibilidade da impressão 3D se deve a três fatores principais: a variedade de materiais adequados (notadamente, polímeros, metais, cerâmicas e argamassa ou concreto); a liberdade quase ilimitada de design; e a capacidade de fabricar formas complexas no local ou fora do local, de forma flexível e barata. Acrescente a essas características o poder da produção automatizada e autônoma e você terá uma combinação quase perfeita para a indústria da construção. Na figura 16 são apontadas as correlações entre as características da construção e as características da impressão 3D que evidenciam a dinâmica de oferta e demanda entre as duas áreas.

Figura 16 - Correlações entre as características da construção e as características da impressão 3D.



Fonte: Traduzido de BCG (2018).

Esta importância é visada não só por empresas para alcançar novos mercados e se manter competitiva em relação à concorrência, mas também por governos. O Reino Unido desenvolveu uma Estratégia Nacional para Manufatura Aditiva, que estima que apenas na construção a tecnologia poderia contribuir com mais de US\$ 1 bilhão para o PIB anual e criar 15.000

empregos até 2025. Nos Estados Unidos, o Departamento de Defesa está estudando a ideia de imprimir quartéis militares, usando materiais locais, para seu pessoal em todo o mundo (BCG, 2018). Os Emirados Árabes Unidos, considerado referência em inovação e engenharia, criou a “*3D printing strategic alliance*” (Aliança estratégica de impressão 3D, em tradução livre) para acelerar a adoção e o uso desta tecnologia no mundo, por meio do fornecimento de uma plataforma que une todas as partes interessada.

Em linha com a visão de Sua Alteza Sheikh Mohammed bin Rashid Al Maktoum, a 3D Printing Strategic Alliance foi criada para formar uma rede abrangente de entidades governamentais, acadêmicas e empresas de impressão 3D nos Emirados Árabes Unidos e no mundo. Com o objetivo de fornecer uma plataforma que une todas as partes interessadas que trabalham neste setor vital, a 3D Printing Strategic Alliance acelera a adoção e o uso desta tecnologia emergente para apoiar todas as indústrias governamentais, econômicas, de saúde e científicas. (DUBAI-FUTURE, 2020).

Este trecho deixa clara a importância da impressão 3D tanto no planejamento a longo prazo envolvendo todas as indústrias, quanto também a medidas emergenciais, como para dar suporte ao setor de saúde durante a pandemia de COVID-19 conforme citado na página oficial da aliança. A Dubai Future Foundation vai ainda mais longe e traça como objetivo ter 25% de suas construções feitas por impressão 3D até 2030. Desse modo, estimando uma redução de demanda de mão-de-obra em 70%, redução de custos de 90% e diminuição no tempo de construção em 80% (RAMIREZ, 2020). Deve-se salientar que comprometimentos dessa magnitude corroboram com importância e garantem investimentos expressivos na área da impressão 3D aplicada à construção civil, inclusive por demais países que seguirão a tendência conforme a sua viabilidade econômica for atestada.

É importante salientar que não apenas novos empreendimentos idealizados ao redor da impressão 3D podem usufruir da mesma. Como apresentado, a alta flexibilidade desta tecnologia faz com que seja possível sua inserção dentro de diversos processos já estabelecidos na indústria, atuando na substituição dos métodos tradicionais ou como complemento a eles. É possível também que uma empresa de construção já estabelecida passe a oferecer serviços ou produtos novos e personalizados a seus clientes, dessa forma agregando valor a seu negócio e inclusive alcançando um público maior. Alguns dos benefícios que podem ser alcançados com a impressão 3D nessa área são: O reaproveitamento de materiais, estimativas de redução de 50 a 70% no tempo de construção, assim como de 50 a 80% no trabalho manual e economia de 30 a 60% de materiais, assim fazendo com que o investimento no ramo tenha crescido exponencialmente, criando um ambiente fértil para novas empresas (CELERE, 2018).

A pressão para modernização das empresas estabelecidas vem de duas frentes: a primeira é devido aos novos entrantes. De 2013 a 2018 o número de startups oferecendo serviços como soluções de prototipagem para arquitetos e engenheiros, software e ferramentas de projeto e grandes componentes estruturais ou até mesmo edifícios inteiros passou de 20 para 65 (BCG, 2018); a segunda é devido aos movimentos estratégicos das empresas de construção estabelecidas. Empresas como a construtora Vinci, líder do setor na França, comprou em 2017 uma participação na startup francesa XtreeE, especializada na impressão de elementos estruturais de concreto. A empreiteira multinacional AECOM assinou um acordo com a chinesa Winsun para aprimorar em conjunto o trabalho de seus clientes em impressão 3D na construção. A especialista austríaca em cofragem Doka Ventures adquiriu uma participação de 30% da Contour Crafting, startup norte-americana produtora de impressoras 3D tipo pórtico para a indústria da construção, e os exemplos não param por aí, demonstrando que para as demais empresas do setor, a adoção da tecnologia é inevitável para que se mantenham competitivas frente às demais.

A impressão 3D na construção de casas populares também atrai grande interesse por parte do consumidor final, devido em grande parte a promessas de casas construídas em tempos curtíssimos, gastando uma fração do montante que seria gasto com métodos tradicionais, principalmente em relação a materiais. Este panorama apesar de promissor e atrativo requer uma abordagem metódica, especialmente relacionada a fatores externos como infraestrutura e segurança e subsequentemente é imperativo a realização de um estudo de caso prático que valide o processo empregado e também gere métricas precisas dos resultados obtidos por tal implementação.

O financiamento para execução desses estudos de caso pode provir da própria empresa como exemplificado com o projeto da chinesa Winsun ou também através de parcerias com centros de pesquisa, universidades ou governos, como nas parcerias vistas em Apis Cor e Municipalidade de Dubai, BAM e Universidade de Tecnologia de Eindhoven, entre outras. A pesquisa e desenvolvimento de materiais é de suma importância antes e durante as fases de projeto, pois são variáveis que podem ser mais ou menos escassas de acordo com a região e também podem apresentar diferentes performances para climas distintos e fatores como se a construção é coberta ou não. Como atestado pela Apis Cor (2019), o desafio de construir em condições adversas gerou conhecimentos que os permitirão fazer grandes avanços tanto em confiabilidade e velocidade de seus métodos quanto em materiais utilizados. Similarmente ao que ocorre com os materiais utilizados, o tempo de construção é outra variável muito expressiva que, em cenários realistas, demandará a construção de uma ou mais obras para estudo e

averiguação. Apesar de que por várias vezes, manchetes anunciaram feitos extraordinários como a impressão de 10 casas em um só dia ou preços radicalmente abaixo do convencional, é de responsabilidade do engenheiro analisar os fatores e condições que permeiam essas questões, como por exemplo quantas impressoras foram utilizadas ou qual o tempo necessário para secagem das paredes e instalação das demais componentes como portas, janelas, telhado, instalações elétricas e afins ou até mesmo qual a porcentagem de custo que as paredes representam frente ao total da obra.

Na última década, um ponto focal importante que pauta a argumentação das vantagens da impressão 3D é o da sustentabilidade. A indústria da construção civil é reconhecida por provocar um grande consumo de recursos e provocar impactos ambientais expressivos, segundo Gasques (2014), a indústria da construção civil é responsável por consumir cerca de 75% de todas as matérias-primas em nível mundial e emitir um terço dos gases do efeito estufa, e este panorama se torna ainda mais alarmante ao considerar-se o crescimento populacional e a necessidade habitacional. Passou-se a esperar então que a impressão 3D pudesse solucionar essa problemática, oferecendo moradias com baixas emissões, com valores acessíveis e alta velocidade de construção. Enquanto a tecnologia pode sim abordar soluções para diversos destes problemas, como ilustrado no caso do projeto TECLA, estudos mais específicos devem ser conduzidos para cada projeto, não apenas da tecnologia desenvolvida, mas sim da aplicação completa da solução. Questões sociais e locais devem ser levadas em consideração dependendo do escopo de aplicação da tecnologia, sobretudo em locais que mais necessitam da tecnologia. Tópicos que devem ser norteadores na questão socioambiental podem ser os desafios de infraestrutura do local, os custos e emissões recorrentes do transporte da tecnologia necessária, os obstáculos legais para cada localidade, o impacto da tecnologia na vida de trabalhadores de construção, além das necessidades relacionadas à segurança do pessoal e material envolvido.

Conforme abordado, a impressão 3D trás diversos benefícios e novas abordagens para o setor da construção civil. A fim de facilitar o entendimento de tais benefícios, a Figura 17 fornece uma sumarização de diversos fatores atrelados à área, traçando uma comparação resumida e direta entre construção impressa em 3D e construção convencional.

Figura 17 – Comparação entre construção impressa em 3D e construção convencional.

A impressão 3D na construção oferece muitas vantagens		
	Impresso em 3D vs. construção convencional	
Custos	Mão-de-obra	Economia geral à medida que o design 3D se torna mais fácil e a mão-de-obra no local é reduzida
	▪ Arquitetos, designers, engenheiros	Necessidade de treinamento para se adaptar às novas tecnologias, métodos e possibilidades
	▪ Instalação	A capacidade das impressoras de trabalhar de forma autônoma, portanto, é necessária menos supervisão, mas é necessário treinamento inicial
	Equipamento	Alto custo de impressoras 3D atualmente, mas reduzida necessidade de máquinas de construção pesada
	Materiais	Misturas e materiais de concreto especiais caros, mas são necessários menos materiais e muito menos resíduos são gerados
Fatores não-custo	Logística	Necessidade de transporte da impressora para o local, compensada pela redução do uso de outras máquinas
	Entrega	Capacidade das impressoras de operar 24 horas por dia, 7 dias por semana; evitar atrasos relacionados a entregas e coordenação
	Impacto ambiental	Evita desperdícios e reduz a necessidade de materiais
	Risco do projeto	Riscos tecnológicos (por exemplo, interrupções), mas menos problemas relacionados à força de trabalho, entrega e coordenação
	Acidentes e riscos de segurança	Menos acidentes, graças ao processo de construção autônomo com pouco envolvimento humano
	Problemas de qualidade	Maior precisão da construção impressa em 3D e aparência aprimorada à medida que a tecnologia avança
 Significativamente menor  Ligeiramente menor  Igual  Ligeiramente maior		
Fontes: Entrevistas com especialistas; Análise BCG. Nota: A comparação pressupõe que a tecnologia de impressão 3D atingiu a maturidade e está incluída nos códigos e regulamentos de construção; portanto, os custos de aprovação e teste não estão incluídos.		

Fonte: Traduzido de BCG (2018).

Ao analisar e projetar cenários completos com maior grau de profundidade, o Engenheiro pode gerar *insights* valiosos para a evolução de seu próprio projeto e alcançar maior tangibilidade no seu empreendimento. Apesar de em diversas literaturas apontar-se que a impressão 3D ainda está em seus passos iniciais na área da construção civil, através da análise dos casos apresentados, pode-se concluir que o mercado demanda as soluções esperadas por essa tecnologia e por consequência, cada vez mais empresas têm surgido e investido no ramo para possam, em curto prazo, adentrar efetivamente no mercado como uma alternativa competitiva. É válido ressaltar ainda que, além de projetos conjuntos com o governo que estas empresas já implantaram na prática, a Apis Cor, a título de exemplo, já possui uma lista de espera pública para construção de casas impressas em 3D, contando com 3 modelos de design, para início de obras no ano de 2024.

5.1 Discussões Finais

A partir de toda a revisão bibliográfica apresentada e das discussões levantadas, eu acredito que o Engenheiro que desejar empreender aplicando impressão 3D na construção civil, encontrará um leque muito amplo de possibilidades de mercado.

Em países desenvolvidos o solo para essa tecnologia é muito fértil, com incentivos pesados e planejamentos sólidos por parte dos governos, além de institutos de pesquisa focados em trazer essa escala de impressões para a sociedade, com os quais parcerias podem ser feitas, beneficiando o alavancamento da startup proposta. Em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, como o Brasil, se por um lado o custo da tecnologia é muito maior e os incentivos são escassos ou inexistentes, em contrapartida muitas vezes há uma demanda e urgência ainda maior por soluções que consigam aliviar a crise habitacional. Nesse sentido, na minha opinião as propostas de empreendimentos que adentrariam o mercado brasileiro mais facilmente são as relacionadas a construção rápida de casas populares de baixo custo. Layouts padronizados com materiais de reaproveitamento de construção podem ser empregados na substituição das moradias improvisadas, comuns em todo território nacional. Casas de médio padrão também seriam bem exploradas no crescente número de condomínios.

Em países desenvolvidos, por outro lado, se vê uma demanda de casas de médio padrão devido ao alto custo de mão-de-obra, em conjunto com demanda por elementos estruturais que desempenham papel importante na construção de edifícios grandes e complexos. Acredito que estas duas áreas em especial apresentem maior permeabilidade de mercado. Uma estratégia interessante é empreender focado em atuar como empresa terceirizada, assim fornecendo um portfolio mais específico de soluções para diversas empresas, permitindo que os esforços sejam concentrados em um menor número de soluções e tornando a ideia de ser adquirida por uma empresa referência, muito mais plausível, assim como vimos em diversos exemplos citados anteriormente.

A Impressão de edifícios grandes é de fato o santo graal da impressão 3D na área, porém tais projetos são muito mais ambiciosos, e ainda esbarram em limitações técnicas conforme a escala aumenta. Empresas como a Apis-cor e a Winsun têm feito muito progresso com edifícios, mas acredito que venha a ser mais demorado que as demais aplicações até se tornar uma tendência da construção.

6 CONCLUSÃO

Sumarizando os assuntos abordados, percebe-se que as possibilidades da aplicação da impressão 3D na construção civil são muito vastas. Seja na impressão de partes estruturais, pontes, casas ou até mesmo edifícios, cada empresa requererá um estudo completo pautado por variáveis comerciais, sociais e ambientais para que se extraia o maior potencial possível da tecnologia.

Devido a seu potencial de redução de resíduos e emissões, a impressão 3D pode exercer um papel chave na descarbonização da indústria de construção, além disso, processos automatizados de construção devem reduzir tempo e despesas com a execução da obra. A viabilidade de empreendimentos aplicando impressão 3D na construção civil é confirmada e demonstrada ao passo que empresas com técnicas e processos de impressão mais maduros como a Winsun ou a Apis Cor passam a fornecer soluções completas com benefícios tangíveis aos contratantes, deve-se ressaltar, no entanto, que um planejamento adequado e estudos especificamente focados são imperativos para garantir a viabilidade do empreendimento em questão.

Conclui-se ainda que em cenários de países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, o ramo de casas populares de baixo custo se torna o mais acessível do ponto de vista de mercado, e conforme o país se torna mais desenvolvido, essa necessidade migra para casas de médio padrão, elementos estruturais e edifícios. Em ambos os cenários, o empreendimento em startups que forneçam soluções mais focadas que resolvam problemas comuns a empresas relacionadas à construção também se mostra uma estratégia frutífera.

De um modo geral, a impressão 3D tem demonstrado e continuará a demonstrar que é uma tecnologia viável para se aplicar na construção civil. As vantagens obtidas com seu emprego vão desde economias de tempo e recursos até diminuição de riscos de segurança, impactos ambientais e garantia de qualidade, o que supera e muito as desvantagens oriundas, sendo as mais notórias: a necessidade de treinamento especializado e o custo de entrada. Acredito que com tantos benefícios, e um cenário tão fértil, a aplicação da impressão 3D na construção civil é extremamente viável e os empreendimentos que se desenvolverem poderão ser comparados com as primeiras empresas de tecnologia que emergiram no começo da internet.

REFERÊNCIAS

- AMFG. **Industrial Applications of 3D Printing: The Ultimate Guide**. 2019. Disponível em: < <https://amfg.ai/industrial-applications-of-3d-printing-the-ultimate-guide/>>. Acesso em: 23 nov. 2022.
- ANDERSON, C. **Makers: a nova revolução industrial**. Elsevier, 2012.
- APIS-COR. **The World's Largest 3D Printed Building**. 2019. Disponível em: <<https://www.apis-cor.com/dubai-project>>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- ASSIS, M.A.P. **Impressão 3D, Modelos de Negócios e os Novos Cenários para a Propriedade Intelectual**. 2018. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Minas Gerais, 2018.
- BADOTTI, A. **Avaliação do processo de metalização superficial aplicado às peças obtidas por estereolitografia**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- BALZANI, R. N. **A Produção de Impressoras Tridimensionais de Baixo Custo para Estudante de Arquitetura**. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Universidade Federal de Brasília (UnB), Brasília - DF, 2017.
- BAM. **A World First: the first fully 3D printed, structurally pre-stressed concrete cycle bridge in the world**. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/39iAq7b>>. Acesso em: 04 jun. 2022.
- BCG. **Will 3D Printing Remodel the Construction Industry?**. 2018. Disponível em: < <https://www.bcg.com/publications/2018/will-3d-printing-remodel-construction-industry>>. Acesso em: 02 jun. 2022.
- BLOCK, I. **“World’s First” 3D-Printed Concrete Bridge Opens In The Netherlands**. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/3HtYr7W>>. Acesso em: 12 Jun. 2022.
- CABEZA, E.U.R., et al. **A cultura maker como democratização tecnológica no meio rural**, São Paulo: Ciência Alimentando o Brasil (CAB), 2016.
- CAMPANA, G. A.; OPLUSTIL, C. P. Conceitos de automação na medicina laboratorial: revisão de literatura. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v. 47, n. 2, p.119 – 127, 2011.
- CAMPBELL, T., et al. Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing. **Strategic Foresight Report**, out. 2012. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/257942754>>. Acesso em: 22. jan. 2022.
- CANDI, M.; BELTAGUI, A. Effective use of 3D printing in the innovation process. **Technovation**, fev./mai. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2018.05.002>>. Acesso em: 02 jan. 2022.

CELERE. **Impressão 3D na construção civil: cenário atual e perspectivas de futuro.** 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/3MHXoC9>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

COYKENDALL, J., et al. 3D opportunity in aerospace and defense: Additive Manufacturing takes flight. **Deloitte University Press**, jun. 2014.

DAVIS, N.; BURGEN, S; CORBYN, Z. Future of food: how we cook. **The Guardian**, Berlim, set. 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3Hkh0LJ>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

DIGIANDOMENICO, D.; LANDIM, G.; FISCHER, H. Trançado: recursos computacionais aplicados no processo de projeto de mobiliário urbano. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 12, n. 3, p. 47-58. nov. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v12i3.134232>>. Acesso em: 04 jan. 2022.

DUBAI-FUTURE. **Dubai Future Foundation Activates 3D Printing Strategic Alliance.** 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3tBM8k7>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

ENR. **ERN 2020 Top 400 Contractors.** 2020?. Disponível em: <<https://www.enr.com/toplists/2020-Top-400-Contractors-Preview>>. Acesso em: 13 jun. 2022.

FERNANDES, L. **5 Tipos de Impressão 3D e Seus Benefícios. In: Blog Fluxo Consultoria.** Fluxo. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/3tG4osu>> Aceso em: 16 jun. 2022.

FREEFAB. **Laing O'Rourke.** 2021. Disponível em: <<https://www.freefab.com/>>. Acesso em: 07 abr. 2022.

GAO, W., et al. The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. **Computer-Aided Design**, v. 69, p. 65-89. dez. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cad.2015.04.001>>. Acesso em: 23 abr.. 2022.

GASQUES, Ana Carla. Impactos ambientais dos materiais da construção civil: breve revisão teórica. **Revista Tecnológica**, v. 23, n. 1, p. 13-24, 2014.

GIBSON, I.; RONEN, S.W.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing.** 2. ed. Springer, 2010.

GOMES, R.R., et al. Análise, modelagem e impressão 3D de um frame para vants do tipo quadricópteros para voos em ambiente indoor. **Revista Univap**, v. 22, n. 40 p. 414, jan. 2017.

GRIMM, T. **Choosing the Right RP System.** A study of seven RP Systems, 2005.

HICKEY, Shane. Chuck Hull: The father of 3D printing who shaped technology. **The Guardian**, Berlim, jun. 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/3QhSH56>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

IAAC. **The Institute for Advanced Architecture of Catalonia designs the first 3D printed bridge in the world.** 2016?. Disponível: <<https://bit.ly/3xmVcdT>>. Acesso em: 17 abr. 2022.

KELLER, M. **These Engineers 3D Printed a Mini Jet Engine, Then Took it to 33,000 RPM**. GE Reports, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3Qch9EW>>. Acesso em: 01 jun. 2022.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2017.

NASA. **3D Printing: food in space**. 2013. Disponível em: <<https://go.nasa.gov/39jeMQI>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

PAIVA, T.N.; NOGUEIRA, C.C. Estudo Comparativo das Principais Tecnologias de Impressão 3D. **JNT-Facit Business And Technology Journal**. Ed. 24. Págs. 193-212. 2021.

PESSOA, V. **Estudo dos Avanços da Tecnologia de Impressão 3D e da sua Aplicação na Construção Civil**. 2016. 94 f. Dissertação (Graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2016.

RAMIREZ, V.B. **World's Biggest 3D Printed Building Opens in Dubai**. Singularity Hub. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3xn8ZB7>>. Acesso em: 04 jun. 2022.

RAULINO, B.R. **Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida**. 2011. 152 f. Dissertação (Graduação) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

REEVES, P.; MENDIS D. The Current Status and Impact of 3D Printing Within the Industrial Sector: An Analysis of Six Case Studies. **SSRN Electronic Journal**, Inglaterra, p. 86, abr. 2015.

RÜßMANN, Michael et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston consulting group**, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.

SACKS, R., et al. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2021.

SANTOS, S.L.B. **Impressão 3D: perspectivas de adoção na indústria portuguesa**. 2016. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2016.

SOARES, P. S. **Impressora 3D: o projeto RepRap**. In: Expresso da Engenharia. 2017. Disponível em: <<https://expressoengenharia.wordpress.com/2017/12/21/impressora-3d-o-projeto-reprap/>>. Acesso em: 17 jun. 2022.

SKANSKA. **6 Bevis Marks**. 2016?. Disponível em: <<https://www.skanska.ro/what-we-do/projects/57267/6-Bevis-Marks>>. Acesso em: 07 jan. 2022.

STRATASYS. **Tecnologia FDM: peças duráveis impressas em 3D com termoplástico de verdade**. 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/3O9Kn5A>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

SUN, J, et al. An Overview of 3D Printing Technologies for Food Fabrication. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, p. 1605–1615. abr. 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.1007/s11947-015-1528-6>>. Acesso em: 02 jan. 2022.

TAKAGAKI, L. K. Tecnologia de Impressão 3D. **Revista Inovação Tecnológica**, São Paulo, v.2, n. 2, p. 2840, jul./dez. 2012.

SAFNAT, G, et al. **Systematic review automation technologies**. Systematic Reviews, v. 3, n. 1, p. 74, 2014.

TOYOTA, S.; SCOPEL, S. **Mecanização, Automação e Automação - Uma Revisão Conceitual**. 2006.

VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Editora Blücher, 2007.

WASP. **TECLA**. 2020. Disponível em: <<https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/>>. Acesso em: 13 jun. 2022.

WELLER, C.; KLEER, R.; PILLER, F. T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. **International Journal of Production Economics**, Alemanha, v. 164, p. 43-56, jun. 2015.

WINSUN. **Yingchuang 3D printing isolation house helps Pakistan**. 2020. Disponível em: <http://www.winsun3d.com/En/News/news_inner/id/56>. Acesso em: 02 jan. 2022.

ZUCCA, R., et al. **Uso de resíduos de construção como agregado graúdo destinado à confecção de blocos para alvenaria de vedação**. Enciclopédia Biosfera, 2018.