

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

NATHÁLIA PACHECO BARROS

**POTENCIALIDADES E DESAFIOS DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA
CONSTRUÇÃO CIVIL: Estudo de caso comparativo entre duas residências
localizadas no Brasil e na África**

Porto Alegre

2022

NATHÁLIA PACHECO BARROS

**POTENCIALIDADES E DESAFIOS DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA
CONSTRUÇÃO CIVIL: Estudo de caso comparativo entre duas residências
localizadas no Brasil e na África**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof^a. Dra. Alessandra Teribele

Porto Alegre

2022

Dedico este trabalho aos meus pais por nunca terem medido esforços para me apoiar, incentivar e encorajar no alcance dos meus objetivos; e por me ensinarem a ter fé, acima de qualquer outro sentimento, pois é ela quem define aonde iremos chegar.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço à Deus pelo dom da vida, pela saúde, pois sem ela nada mais importa, pela força divina surgida nas madrugadas em claro e pelo fortalecimento da minha fé ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus pais pela base familiar incondicional que me proporcionam todos os dias. Ela foi a minha maior motivação para chegarmos até aqui.

À minha mãe, Mareniz, agradeço por sua confiança e pela liberdade em me permitir sempre fazer minhas próprias escolhas, inclusive por se manter ao meu lado quando decidi trocar de curso pela terceira vez na universidade. Agradeço por ter tido paciência nos meus momentos de aflição e pelas palavras reconfortantes que sempre chegavam acompanhadas de um chá quentinho nas noites de desespero.

Ao meu pai, João Mateus, agradeço por sua fé. A fé silenciosa que transparece pelo olhar de pai preocupado quando vê a filha passando noites em claro para estudar. Agradeço por cada um dos breves minutos em que passa olhando para a prateleira da cozinha, pedindo à Nossa Senhora para me dar forças para não desistir.

À minha irmã, Victória, agradeço pela ajuda nos trabalhos da faculdade que envolviam assuntos polêmicos. Ela sempre foi boa nisso! E agradeço por ter me ensinado a compartilhar e por compartilhar a vida comigo.

Ao meu namorado, Matheus, agradeço, principalmente, pela compreensão. Por todos os finais de semana em que estive só de corpo presente. Por cada texto lido sem entender sobre o assunto na tentativa de escrever duas linhas para me ajudar. E por sempre acreditar em mim e me lembrar todos os dias do quanto sou capaz.

À minha orientadora, Alessandra, agradeço por todos os direcionamentos e trocas de conhecimento que tivemos neste trabalho. E por aceitar embarcar nessa aventura comigo. Seu apoio e dedicação foram fundamentais para essa etapa da minha formação.

Agradeço ao engenheiro que despertou em mim a vontade de exercer essa profissão, meu pai, meu exemplo e inspiração. Sua experiência e seu conhecimento valem mais do que qualquer diploma.

Por fim, agradeço a todos meus amigos e familiares, em especial às minhas melhores amigas Camila, Elen e Karol, que tiveram seus convites negados por um bom tempo, mas que compreenderam que o motivo valeria à pena.

E valeu!

“Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda.” (CORTELLA, 2018).

RESUMO

Sendo um dos pilares da Indústria 4.0, a manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D, vem ocupando grande espaço no mundo inteiro, com aplicação em diversas áreas, como saúde, educação, indústrias aeronáutica e automotiva, engenharia civil, entre outros. No que tange à aplicação no segmento da construção civil, o processo de construção por manufatura aditiva evoluiu gradativamente nos últimos anos e indica, futuramente, ser um dos principais processos produtivos nesse ramo. Operacionalmente, o funcionamento de uma impressão 3D parte de um modelo 3D gerado em computador e segue com a fabricação de camadas sucessivas que, unidas, formam uma única peça, sendo o caso desse estudo, uma unidade habitacional. Contudo, por se tratar de uma tecnologia razoavelmente nova no mercado, alguns desafios ainda estão sendo enfrentados e, para isso, se torna necessário ampliar o estudo a fim de identificar soluções para esses possíveis problemas. Este trabalho objetiva abranger conceitos e evidências da aplicação da impressão 3D no segmento da construção civil, trazendo, em particular, duas startups de tecnologia e suas edificações como objeto de estudo de caso, analisando e discutindo os aspectos positivos e negativos da impressão 3D na construção civil. Algumas evidências desafiam situações de logística e tamanho de maquinário, conhecimento técnico para operacionalizar os equipamentos, alta proporção no valor de investimento e custos com manutenção, restrição na fabricação de cobertura de vãos, entre outros. Os resultados analisados possibilitaram mapear as técnicas de impressão 3D e compará-las com o método de construção civil tradicional, identificando expressiva redução de tempo para a execução estrutural de paredes, variabilidade de matéria prima e demais ganhos advindos da tecnologia.

Palavras-chave: Manufatura aditiva. Impressão 3D. Método construtivo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos formadores da indústria 4.0.....	18
Figura 2 - Variações de nomenclatura de manufatura aditiva	21
Figura 3 - Representação esquemática da tecnologia de FDM.....	24
Figura 4 - Representação de material de suporte para FDM	25
Figura 5 - Representação esquemática da tecnologia de SLA.....	26
Figura 6 - Representação esquemática da tecnologia de LOM.....	27
Figura 7 - Representação esquemática da tecnologia de SLS.....	28
Figura 8 - Representação esquemática do processo de 3DP	30
Figura 9 - Representação de material de suporte para CC	33
Figura 10 - Representação esquemática de reforço em CC	34
Figura 11 - Representação esquemática de instalação de tubulação em CC	35
Figura 12 - Representação esquemática de instalação elétrica em CC	35
Figura 13 - Construção de residências isoladas.....	36
Figura 14 - Construção de edifícios de vários andares	36
Figura 15 - Construção de grandes estruturas com várias unidades	36
Figura 16 – Metodologia de pesquisa para o estudo de caso	49
Figura 17 – Projeto da impressora 3D da startup Be MORE 3D	55
Figura 18 – Modelo digital da 3D Housing	57
Figura 19 – Planta baixa da edificação	67
Figura 20 - Shaft planejado para parede hidráulica.....	70
Figura 21 – Exemplo de módulo de parede hidráulica sugerido para a edificação ...	71

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Máquina de impressão em CC.....	32
Fotografia 2 - Representação de estrutura impressa por CC	34
Fotografia 3 - Quadro de impressão da 3DCP	39
Fotografia 4 - Técnica de 3DCP em operação	41
Fotografia 5 - Impressão 3D em execução nos Estados Unidos.....	42
Fotografia 6 - Edificação em impressão 3D nos Estados Unidos.....	42
Fotografia 7 - Elemento estrutural de parede impresso em fábrica	43
Fotografia 8 - Edificação em transporte até o canteiro de obras	43
Fotografia 9 - Edificação impressa em 3D nos Estados Unidos após instalação	44
Fotografia 10 - Edificação em impressão 3D na Itália	45
Fotografia 11 - Interior da edificação em impressão 3D na Itália	45
Fotografia 12 - Edificação em impressão 3D na Holanda	46
Fotografia 13 - Ponto em que se pode perceber a troca de bicos da impressora	46
Fotografia 14 - Edificação africana construída pela Be More 3D	52
Fotografia 15 - Edificação brasileira construída pela InovaHouse3D	53
Fotografia 16 - Impressora 3D da startup Be More 3D.....	56
Fotografia 17 - Fundação da 3D Housing	58
Fotografia 18 - Impressora montada no canteiro de obras.....	58
Fotografia 19 - Coleta de insumos para a impressora.....	59
Fotografia 20 - Abastecimento de concreto na impressora 3D	59
Fotografia 21 - Impressão das primeiras camadas da 3D Housing	60
Fotografia 22 - Elementos como suporte para os vãos das esquadrias	61
Fotografia 23 - Inserção de vergas nos vãos da 3D Housing.....	62
Fotografia 24 - Impressão das camadas finais da 3D Housing	62
Fotografia 25 - Instalações elétricas e hidráulicas da 3D Housing	63
Fotografia 26 - Interior da 3D Housing com instalações aparentes	64
Fotografia 27 - Impressão 3D finalizada da 3D Housing	64
Fotografia 28 - Perspectiva externa da 3D Housing	65
Fotografia 29 - Interior da 3D Housing	66
Fotografia 30 - Impressora Alya 130 desenvolvida pela InovaHouse3D	68
Fotografia 31 - Processo de impressão da edificação.....	69
Fotografia 32 - Exemplo do processo de instalação de um <i>shaft</i> modular	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das tecnologias pela materialidade	23
Quadro 2 - Impacto econômico da CC na construção civil.....	38
Quadro 3 - Especificações técnicas da impressora fornecida pela Be More 3D	56
Quadro 4 - Dimensões do equipamento desenvolvido pela InovaHouse3D	67
Quadro 5 - Parâmetros utilizados para o projeto.....	69
Quadro 6 - Comparativo entre as dimensões dos equipamentos.....	75
Quadro 7 - Comparativo entre as edificações	76
Quadro 8 - Prazo de construção por métodos construtivos tradicionais	79
Quadro 9 - Prazo de execução por método construtivo por impressão 3D	80
Quadro 10 - Produtividade por método construtivo	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Orçamento comparativo da etapa estrutural de paredes72

LISTA DE SIGLAS

3D	Três Dimensões
3DCP	<i>3D Concrete Printing</i>
3DP	<i>3D Printing</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	<i>Additive Manufacturing</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CC	<i>Contour Crafting</i>
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
EPS	<i>Expanded Polystyrene</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modelling</i>
IOS	<i>Internet of Services</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
LOM	<i>Laminated Object Modelling</i>
NBR	Norma Brasileira de Regulação
QR	<i>Quick Response</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SLA	<i>Stereolithografy</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
STL	<i>StereoLithography</i>
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Tema	12
1.2 Delimitação do tema	12
1.3 Problema	12
1.4 Objetivos	12
1.4.1 Objetivo geral	12
1.4.2 Objetivos específicos.....	13
1.5 Justificativa	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Indústria 4.0	15
2.1.1 Aspectos Históricos	15
2.1.2 Quarta Revolução Industrial	16
2.1.3 Indústria 4.0 na Construção Civil.....	19
2.2 Manufatura Aditiva	20
2.2.2 Princípios de Funcionamento da Impressão 3D	21
2.2.3 Tecnologias de Impressão 3D	23
2.2.3.1 Modelagem por Deposição Fundida – FDM	23
2.2.3.2 Estereolitografia - SLA.....	25
2.2.3.3 Modelagem de Objetos Laminados – LOM	26
2.2.3.4 Sinterização Seletiva a Laser - SLS	28
2.2.3.5 Impressão 3D - 3DP	29
2.3 Impressão 3D na Construção Civil	30
2.3.1 Tecnologias de Impressão 3D na Construção Civil	31
2.3.1.1 Contour Crafting – CC	31
2.3.1.2 Concrete Printing – 3DCP	39
2.3.2 Edificações Fabricadas por Impressão 3D	41
2.3.2.1 Estados Unidos	41
2.3.2.2 Itália.....	44
2.3.2.3 Holanda	45
3 METODOLOGIA	48
3.1 Estratégia de Pesquisa	49
3.2 Delineamento da Pesquisa	49

3.3 Coleta de Dados	50
3.3.1 Caracterização das Empresas e Projetos	51
3.3.1.1 Be More 3D	51
3.3.1.2 InovaHouse3D	52
4 ESTUDO DE CASO	54
4.1 Descrição do Projeto Be More 3D	54
4.1.1 Equipamento Utilizado.....	54
4.1.2 Criação do Modelo Digital	57
4.1.3 Procedimentos Prévios de Implantação	57
4.1.4 Método Construtivo	60
4.1.5 Execução de Projetos Complementares	63
4.1.6 Acabamentos	65
4.2 Descrição do Projeto InovaHouse3D	66
4.2.1 Equipamento Utilizado.....	66
4.2.2 Método Construtivo	68
4.2.3 Execução de Projetos Complementares	70
4.2.4 Investimento Financeiro	72
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	73
5.1 Análise Comparativa entre os Projetos	73
5.1.1 Processo Construtivo	74
5.1.2 Equipamento	74
5.1.3 Elementos Estruturais	75
5.1.4 Esquadrias	75
5.1.5 Instalações Elétricas e Hidráulicas	76
5.2 Análise Comparativa entre os Processos Construtivos	77
5.2.1 Instalações Elétricas e Hidráulicas	77
5.2.2 Especificações do Equipamento	78
5.2.3 Prazos de Construção	79
5.3 Aspectos Positivos e Negativos da Impressão 3D na Construção Civil	80
5.3.1 Aspectos Positivos	80
5.3.2 Aspectos Negativos.....	82
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

O processo de manufatura aditiva, popularmente denominado como impressão 3D, é uma das inteligências originadas a partir da Indústria 4.0 e apresenta extensa aplicabilidade em diversos setores do mercado. O emprego do recurso no segmento da construção civil vem demonstrando forte ascensão pelo mundo nos últimos anos, o que reflete na importância de identificar quais são os atributos promissores e adversos advindos da tecnologia (LEMOS, 2018).

Diante de um histórico de alta competitividade no mercado da construção civil, o avanço tecnológico se torna uma vantagem significativa para empresas do ramo que ambicionam obter destaque frente às demais. Uma das estratégias para estar em evidência é aprofundar o conhecimento sobre tecnologias que intensifiquem produtividade, atributo que uni mão de obra e tempo, e que pode ser otimizado a partir da impressão 3D (COTTELLER, 2014).

De forma generalizada, assim como toda inovação, a tecnologia de impressão 3D ainda precisa ser lapidada e estudada para suprir alguns desafios que vem enfrentando. Parâmetros como especificações técnicas, limitações do equipamento e métodos de construção por deposição de materiais são alguns dos pontos a serem estudados e analisados para que haja a possibilidade de pleitear o processo frente ao método tradicional de fabricação (LEMOS, 2018).

Nesta pesquisa, exploram-se as técnicas construtivas, por meio da análise de processos e conceitos teóricos; e da aplicação da impressão 3D do mercado da construção de edificações, considerando o paradigma entre os benefícios oferecidos pela tecnologia e os desafios enfrentados na sua aplicação. Nesse contexto, a proposta da presente pesquisa apresenta os conceitos da tecnologia e os possíveis desafios a serem enfrentados diante de um cenário de incertezas.

Visando explorar a aplicação das técnicas de manufatura aditiva na construção civil, foi determinado como objetivo geral da pesquisa a descrição do processo construtivo por impressão 3D e os aspectos técnicos envolvidos com a sua aplicação na construção de edificações em concreto. Com base no levantamento bibliográfico exploratório associado ao estudo de caso, foram atribuídos objetivos específicos que pretendem detalhar as técnicas construtivas utilizadas por duas empresas startups em impressão 3D.

A partir dos processos descritos, foram definidos critérios para análise e discussão, permitindo identificar aspectos positivos e negativos da utilização da impressão 3D, comparada ao processo de fabricação tradicional.

1.1 Tema

O tema abordado neste estudo refere-se à análise dos métodos de aplicação de impressão 3D, técnica de manufatura aditiva, na fabricação de residências.

1.2 Delimitação do tema

A abordagem da temática é demarcada pelo estudo dos conceitos e das técnicas de impressão 3D empregadas no segmento da construção civil, limitando-se ao estudo do uso do concreto como matéria prima para a fabricação de residências. Analisar a aplicação da tecnologia no setor, bem como etapas específicas do processo construtivo, pode contribuir para identificar os aspectos positivos e negativo, comparada ao processo de fabricação tradicional.

1.3 Problema

De que maneira funciona o processo construtivo de uma edificação por meio da tecnologia de impressão 3D em concreto?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral da presente pesquisa é abranger conceitos e evidências da aplicação da impressão 3D no segmento da construção civil, trazendo, em particular, duas startups de tecnologia e suas edificações como objeto de estudo de caso, analisando e discutindo os aspectos positivos e negativos da impressão 3D na construção civil.

1.4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do estudo em referência são dados por:

- a) apresentar o conceito de impressão 3D e seu desenvolvimento no segmento da construção civil, com base em edificações já fabricadas por meio dessa técnica;
- b) detalhar o processo de construção das edificações fabricadas pelas empresas InovaHouse3D e Be More 3D por meio de estudo de caso;
- c) comparar os métodos construtivos utilizados pelas empresas objetos de estudo de caso;
- d) analisar critérios do processo construtivo por impressão 3D relacionados à instalação de complementares, especificação de maquinários e prazos de construção;
- e) identificar vantagens e desvantagens da aplicação da tecnologia no setor da construção civil.

1.5 Justificativa

No segmento de atuação da construção civil, é possível presenciar situações quanto ao não cumprimento de prazos, desperdício de recursos ou carência de mão de obra qualificada. Estudar os conceitos de manufatura aditiva e sua aplicação na construção civil pode contribuir de forma positiva para empresas e profissionais desse ramo de atuação que desejem explorar um cenário onde a tecnologia pode ser responsável por otimizar muitas dessas adversidades.

A proposta de fabricar unidades habitacionais a partir de uma impressora 3D vem despertando a curiosidade do mercado em conhecer a tecnologia que propõe suprir alguns desafios diários presentes em obra. Além da técnica proporcionar a fabricação de forma customizada, a forma automatizada de operacionalização reduz a mão de obra braçal, otimizando o tempo e eliminando possíveis falhas humanas (LEMOS, 2018).

Além disso, a crescente densidade populacional dos grandes centros urbanos vem acompanhada da multiplicação das construções de moradias que, na maioria das vezes, por carência de prazo ou recurso financeiro, acontece em ritmo acelerado e

com baixa infraestrutura. Em paralelo, o grande volume de resíduos produzido nas obras e o alto consumo de recursos naturais para a construção das mesmas causa impacto negativo para o meio ambiente, refletindo diretamente no tema sustentabilidade (KHOSHNEVIS, 2019).

Nesse mesmo viés, a alta demanda populacional acaba sucedendo muitas famílias a recorrerem para habitações precárias ou em zonas de risco, contribuindo para o problema de déficit habitacional. A construção de moradias por impressão 3D para programas de habitação social seria uma alternativa de forte potencial para suprir essa carência, além de proporcionar agilidade no processo construtivo e contribuir para a contenção de resíduos gerados (KHOSHNEVIS, 2019).

Por outro lado, a adaptação às mudanças não é uma tarefa simples de ser considerada no mercado profissional. Se tratando da área da construção civil no Brasil, um dos princípios da economia do país, o receio de investir em uma tecnologia, considerada por alguns, incerta, e arriscar comprometer um processo que já se encontra consolidado, é um dos fatores preocupantes (MARTINS, 2017).

Com base nesse paradigma, o presente trabalho propõe apresentar a tecnologia de impressão 3D e os principais aspectos positivos identificados a partir da sua aplicação na área da construção civil. Com análises que sugerem a otimização de processos, de custos, de tempo e de produtividade, caracteriza-se a justificativa para a escolha da impressão 3D como tema delimitado nesta pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A estrutura adota para a apresentação do estudo em referência tem como base a coleta de conceitos e ideias relevantes acerca do tema manufatura aditiva. Com base em uma extensa pesquisa bibliográfica por meio de publicações, artigos e demais periódicos, se realizou o levantamento de informações que compõe esse documento.

2.1 Indústria 4.0

A integração entre tecnologias distintas e a automação industrial, implantados no intuito de melhoria dos processos e otimização da produtividade, são aspectos que caracterizam a Indústria 4.0 (SACOMANO, *et al.*, 2018). Os tópicos a seguir apresentam o histórico dessa era tecnológica no mundo e no segmento da construção civil.

2.1.1 Aspectos Históricos

A ascensão histórica da tecnologia no mundo, ao longo dos séculos, concebeu mudanças significativas nos processos industriais e produtivos. A necessidade de acompanhar o desenvolvimento da industrialização foi motivo de transformações comportamentais na sociedade, o que favoreceu para o princípio de revoltas sociais e econômicas. Esse cenário de evolução tecnológica marcou a origem das chamadas revoluções industriais (LEMOS, 2018).

A primeira revolução industrial datada na história ocorreu na Inglaterra entre o final do século XVIII e início do século XIX. Segundo Kumar (1997, p. 119) "ela transformou o conceito de revolução" devido à substituição da mão-de-obra braçal pelo aperfeiçoamento da indústria têxtil após a introdução das máquinas à vapor e da concepção das linhas férreas. A produção que, até então, era artesanal, começou a ser manufaturada, promovendo um avanço econômico decorrente da fabricação em larga escala. Os britânicos James Watt e Richard Trevithick foram os responsáveis por introduzir a primeira locomotiva à vapor no Reino Unido, sendo dois dos nomes que marcaram o período.

Iniciada na metade do século XIX e finalizada durante a Segunda Guerra Mundial, a segunda revolução industrial foi simbolizada por um período de inovações no setor industrial, evidenciando a chegada da eletricidade e do petróleo como matérias-primas de energia. O momento foi visto como um aprimoramento das tecnologias que já haviam sido descobertas durante a primeira revolução. A indústria automobilística também foi um dos setores que progrediram durante a segunda revolução, marcada pela linha de produção em massa de Henry Ford (LEMOS, 2018).

A terceira revolução industrial ocorreu em meados do século XX e simbolizou as transformações ocorridas no setor da informática. O período também ficou conhecido como revolução digital devido à expansão do uso de computadores digitais, do avanço da tecnologia digital e das mudanças ocorridas nos sistemas de telecomunicações. Segundo Rissuto (2019, p. 14), "um dos aspectos da "Terceira Revolução Industrial" é o aumento da produtividade com a utilização de um número cada vez menor de trabalhadores. O resultado desta questão é o aumento generalizado do desemprego em todo o mundo".

O histórico apresentado acima salienta a importância que o acontecimento das revoluções industriais trouxe para a sociedade atual, no sentido de automatização, ou seja, de substituir o trabalho humano por máquinas, a qual permanece em um processo de evolução constante. Não é exagero afirmar que esse período, marcado na história, foi o responsável por garantir o surgimento da indústria e estabelecer a concepção do capitalismo. Ainda que toda essa industrialização tenha refletido negativamente no mercado de trabalho humano, o progresso decorrente representa maior relevância para a sociedade, considerando, ainda, a influência da Quarta Revolução Industrial (LEMOS, 2018).

2.1.2 Quarta Revolução Industrial

O avanço tecnológico denotado nos últimos anos é um processo contínuo de aperfeiçoamento das máquinas iniciado desde a Primeira Revolução Industrial. Com a ascensão dos setores de automação e tecnologia da informação, tais conceitos foram aplicados ao processo de manufatura, o que transformou fabricações inicialmente realizadas de forma artesanal, originando a chamada Indústria 4.0. A Quarta Revolução Industrial veio para facilitar e integrar os sistemas de produção com os dispositivos tecnológicos móveis, de forma que haja uma interação

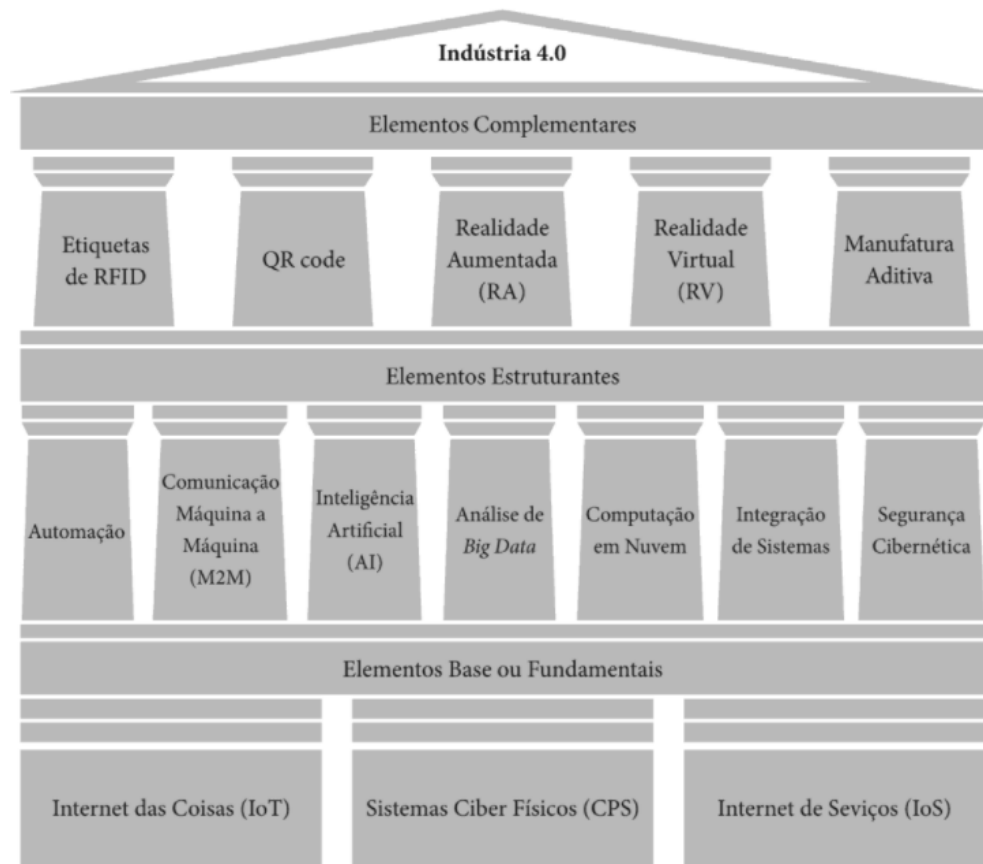
entre eles, por meio de acesso à internet, independentemente do local onde o usuário se encontre (SACOMANO, *et al.*, 2018).

Em síntese, o marco da 4ª Revolução Industrial parte do emprego da inteligência artificial na conversão de um processo de fabricação manual para uma produção totalmente automatizada, a qual não necessita de nenhuma intervenção humana (LEMOS, 2018). A propagação dos dispositivos inteligentes reflete na descentralização de controle e na automatização dos processos produtivos de distintas plataformas e arquiteturas tecnológicas, otimizando a produtividade em diversos segmentos. Detalhando o processo, as máquinas são desenvolvidas para receber a transferência de informações autônomas e operar com um sistema de autoconfiguração, proporcionando a entrega de resultados otimizados (SANTOS, 2018).

A base de inovações tecnológicas da Indústria 4.0, conforme explicado acima, abrange diversas plataformas que podem ser segmentadas como elementos formadores da nova revolução. Esses elementos, segundo Sacomano (2018), podem ser classificados, com intuito didático, como fundamentais, estruturantes e complementares. As tecnologias compreendidas como elementos fundamentais são as plataformas CPS (sistemas ciber físicos), IOT (internet das coisas) e IOS (internet de serviços).

Os elementos estruturantes são compostos pelas tecnologias de automação, comunicação máquina a máquina, inteligência artificial, computação em nuvem, integração de sistemas e segurança cibernética. Por fim, os elementos complementares contribuem com as plataformas de etiquetas de RFID, código QR, realidade aumentada, realidade virtual e manufatura aditiva. "O termo Indústria 4.0 talvez devesse ser alterado para Produção 4.0, ou Sistema de Produção 4.0, pois não se limita mais à indústria, como foi originalmente pensado, passando para vários setores de atividade da economia" (SACOMANO, *et al.*, 2018).

Figura 1 - Elementos formadores da indústria 4.0



Fonte: Sacomano, *et al.* (2018, p. 39).

Lemos (2018) afirma que, como modelo de tecnologia significativa para a indústria 4.0, a impressão 3D veio para acelerar e flexibilizar o cenário de inovações. A combinação de recursos oferecidos pela tecnologia, sejam eles relacionados à produção ou à cadeia de suprimentos, possibilita o surgimento de novos modelos de negócio capazes de integrar soluções, tais como redução de estoque, otimização dos prazos de entrega e capacidade de produção funcional e complexa.

Diante dos avanços tecnológicos potencializados a partir da Quarta Revolução Industrial, nos quais a internet se evidencia como o maior meio de intercomunicação entre máquinas e humanos, fica evidente o impacto relevante que a Indústria 4.0 desperta para a sociedade, tanto no ambiente socioeconômico, quanto nas relações interpessoais. Nesse ritmo, a perspectiva para uma otimização financeira e cronológica nos diversos setores sensibilizados pactua para um cenário altamente promissor.

2.1.3 Indústria 4.0 na Construção Civil

No segmento da construção civil, a evolução provida com as tecnologias concebidas a partir da Indústria 4.0 oferece uma reanálise na adoção de materiais, ferramentas, técnicas e processos já empregados. O objetivo de tamanho investimento em estudos tecnológicos é dado pela busca constante em obter maior produtividade, eficiência e ganho de resultados nas construções, viabilizando progresso e melhoria contínua dentro do setor (LEMOS, 2018).

Portugal (2017, pg. 10) afirma que

A incerteza na demanda de um setor da economia certamente pode afetar o nível de investimento realizado. Como investir em capacitação profissional, na formação de equipes, em tecnologia, sem a certeza de que haverá demanda suficiente para acolher os investimentos efetuados. Porém, por outro lado, como se tornar competitivo, com custos que viabilizem a realização de demandas e que tornem os projetos viáveis. Para qualquer economia que necessita se fortalecer e crescer, realizar investimentos se torna inevitável. Quando olhamos para o universo da indústria 4.0 sob a ótica da construção civil, vemos uma imensidão de oportunidades para alavancar o seu crescimento, propiciando o aumento da produtividade e a redução de custos.

Com base na afirmação, ainda que haja incertezas quanto a aderência de diversas tecnologias na construção civil, advindas da Indústria 4.0, o autor deixa claro que a perspectiva de maior relevância é a de um mercado repleto de oportunidades favoráveis para o setor. Tarefas que, atualmente, apresentam morosidade durante o processo ou que não atendem prazos e cronogramas por carência de mão de obra, por exemplo, poderão ser otimizadas a partir da aplicação de inteligências digitais.

O papel da Indústria 4.0 se torna fundamental para que, assim como demais setores que progrediram, como medicina, design, comunicação, ao aderirem às tecnologias advindas da nova revolução, o segmento da construção civil também realize a transição para a nova era da tecnologia.

As áreas da arquitetura e construção civil, segundo Miyasaka (2018), diferentemente de outras áreas da indústria, ainda não apresentam diretrizes para investir nos meios tecnológicos da indústria 4.0. Por outro lado, pesquisadores investem cada vez mais em inteirarem-se dos conceitos a fim de trazer uma nova perspectiva para o cenário.

As teorias demonstram um paradoxo entre as oportunidades e as incertezas propostas para o setor da construção civil ao investir em novas tecnologias, conforme

citado acima. Ainda assim, Miyasaka (2018) salienta a perspectiva promissora que a Indústria 4.0 e suas tecnologias proporcionarão ao país, como um todo, desde que este, por sua vez, acompanhe o processo de forma gradativa e paciente, condizentemente à um país subdesenvolvido.

O aperfeiçoamento na gestão de recursos é um dos propósitos relevantes nesse processo, visto que o desperdício, seja de tempo, material ou financeiro, continua sendo um dos maiores problemas enfrentados na construção civil, em particular, no Brasil (LEMOS, 2018). Diante desse cenário, se torna imprescindível o investimento em tecnologias potenciais que tragam benefícios significativos para a transformação de resultados, o que se obtém, por exemplo, por meio das tecnologias concebidas a partir da Indústria 4.0.

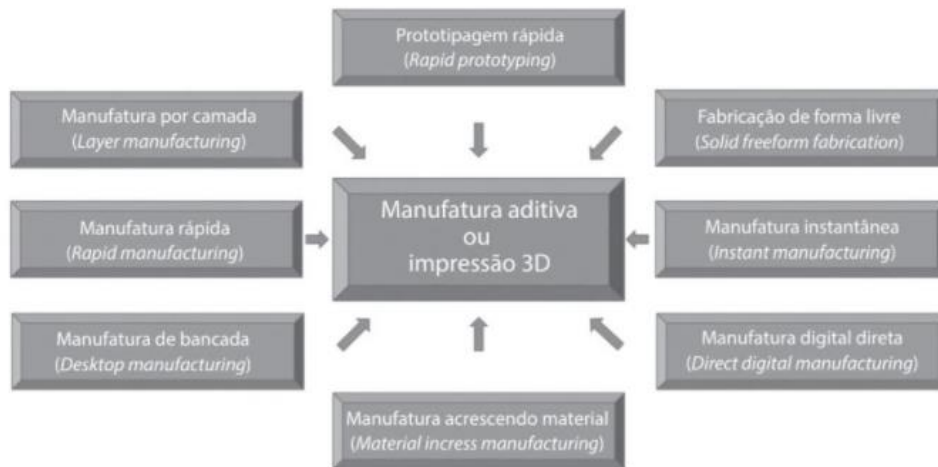
2.2 Manufatura Aditiva

O conceito de manufatura ou produção aditiva corresponde como uma das principais técnicas evolutivas do processo de prototipagem rápida. À medida que a tecnologia foi sendo desenvolvida ao longo dos anos, o método utilizado para fabricação rápida de modelos ou protótipos, baseados em dados digitais, passou a produzir objetos cada vez mais próximos do produto a ser comercializado, aprimorando o processo e originando o termo manufatura aditiva (GIBSON, ROSEN e STUCKER, 2010).

Volpato (2018) afirma que o método de fabricação digital vem recebendo distintas nomenclaturas ao longo dos anos. Inicialmente, denominada prototipagem rápida, por se tratar de um processo de produção rápida de protótipos físicos, a tecnologia se manteve em ascendência, evoluindo para um processo de fabricação de produtos para uso final, obtendo o título de manufatura aditiva, ou ainda AM (*additive manufacturing*) pela comunidade científica. Nos últimos anos, o conceito se popularizou e o termo impressão 3D se tornou familiarizado na sociedade.

Dessa forma, os termos impressão 3D e manufatura aditiva serão tratados como sinônimos para esse estudo.

Figura 2 - Variações de nomenclatura de manufatura aditiva



Fonte: Volpato (2018, p. 18).

A tecnologia das impressoras 3D, anteriormente denominadas como máquinas de prototipagem rápida, conforme explicado acima, tem se expandido gradativamente em distintas áreas do mercado como medicina, design, moda e engenharia. A variedade de equipamentos e de materiais utilizados como matéria prima para a confecção de objetos é extensa e constantemente crescente. Diversos são os setores que têm sido contemplados com a alternativa de substituir a antiga produção em massa pela atual fabricação digital, visando otimização de custos e de qualidade para suas entregas (LEMOS, 2018).

Por essas razões, fica evidente que a customização nos processos de fabricação, até então padronizados, é proveniente do conjunto de tecnologias de manufatura aditiva, caracterizando um cenário promissor para os setores que aderirem à inovação. “A manufatura aditiva pode transformar a maneira como os produtos são fabricados e colocados no mercado” (COTTELLER, 2014, pg. 4).

2.2.2 Princípios de Funcionamento da Impressão 3D

Todas as tecnologias de impressão 3D ou de manufatura aditiva tem como princípio básico de funcionamento, a geração de objetos tridimensionais (3D) através de processo de adição de material camada por camada (CUNICO, 2015, pg. 2).

A fabricação de um objeto por uma impressora 3D é realizada por etapas as quais dividem cada procedimento necessário para obtenção do produto final. Inicialmente, é realizada a modelagem do objeto em computador e, a partir dela, é

confeccionado o modelo de malha que gera as camadas e todo o planejamento que será enviado para fabricação. Com essas etapas completas, o produto então é fabricado camada por camada e, após a construção finalizada, o mesmo é destinado para a fase de pós processamento, na qual são verificados os acabamentos e as condições exigidas para aplicação no mercado (CUNICO, 2015).

O primeiro passo consiste na modelagem do objeto a ser construído, desenvolvida por meio computacional em softwares de desenho assistido por computador (CAD – *Computer Aided Design*). Com a modelação do produto confeccionada, é realizada a conversão para o formato STL (*StereoLithography*), técnica de Estereolitografia, no qual são confeccionados modelos de malhas que apresentam um conjunto de triângulos ajustados à superfície do projeto. A triangulação é responsável por aproximar o modelo do produto final, portando, quanto maior a curvatura da superfície do objeto, maior será a quantidade de triângulos necessários (CUNICO, 2015).

Dada a conversão do modelo CAD para STL, deve ser realizada a verificação das condições do modelo, como altura, posição e orientação e, então, enviar o projeto para impressão. Um fator de importante relevância apontado por Martins (2017) diz respeito à necessidade de configurar a máquina corretamente antes de submeter o modelo para impressão. A qualidade do produto final está totalmente relacionada com a adequada configuração dos parâmetros da impressora, visto que são esses fatores, matéria prima, espessura das camadas, tempo de processamento, os responsáveis por definir o grau de detalhamento da fabricação.

Com as configurações definidas, o software secciona o modelo convertido para o formato STL em seções horizontais e, com base nessas seções, são dados os comandos para que a impressora realize os movimentos nas direções x e y, projetando ou depositando o material camada por camada. A forma de processamento da impressora em relação ao material poderá variar, de acordo com o tipo de tecnologia adotado, conforme exemplos descritos no próximo capítulo.

Após o comando de impressão, a máquina opera de forma totalmente automatizada, havendo necessidade de intervenção humana somente se a impressora apresentar algum sinal de falha ou necessidade de reabastecimento de matéria prima. Do contrário, o processo de construção das camadas é realizado de maneira sucessiva até a formação do produto final. Após a impressão do objeto, é iniciada a etapa de pós processamento, na qual é realizada a limpeza do objeto

impresso, além de técnicas que dão acabamento ao produto, como revestimentos ou polimentos, de acordo com a necessidade de aplicação do objeto (MARTINS, 2017).

Por fim, realizadas todas as etapas listadas acima e com o produto final obtido em conformidade às condições pretendidas, o mesmo é destinado à aplicação predefinida.

2.2.3 Tecnologias de Impressão 3D

Alguns critérios, como materialidade e processo de fabricação adotados, foram estabelecidos para classificar os tipos de tecnologias de impressão 3D mais utilizados no mercado. Cunico (2015) classifica as principais técnicas como: tecnologias à base de fusão e deposição (extrusão); tecnologias à base de polímeros líquidos; tecnologias à base de sólidos laminados e, tecnologias à base de pó.

O quadro abaixo demonstra as técnicas abordadas na classificação de Cunico (2015), em seu livro “Impressoras 3D: o novo meio produtivo”.

Quadro 1 - Classificação das tecnologias pela materialidade

CLASSIFICAÇÃO	TECNOLOGIA
Tecnologias à base de fusão e deposição (extrusão)	Modelagem por Deposição Fundida - FDM
Tecnologias à base de polímeros líquidos	Estereolitografia – SLA
	Estereolitografia por Máscara de Projeção – MPSL
	Impressão Jato de Tinta - IJP
Tecnologias à base de sólidos laminados	Modelagem de Objetos Laminados - LOM
Tecnologias à base de partículas discretas (pó)	Sinterização Seletiva a Laser – SLS
	Impressão 3D – 3DP

Fonte: Adaptado de Cunico (2015, p. 10).

Para cada uma das classificações listadas acima, foi escolhida a tecnologia de maior aplicação no mercado para apresentação e detalhamento das características de processamento.

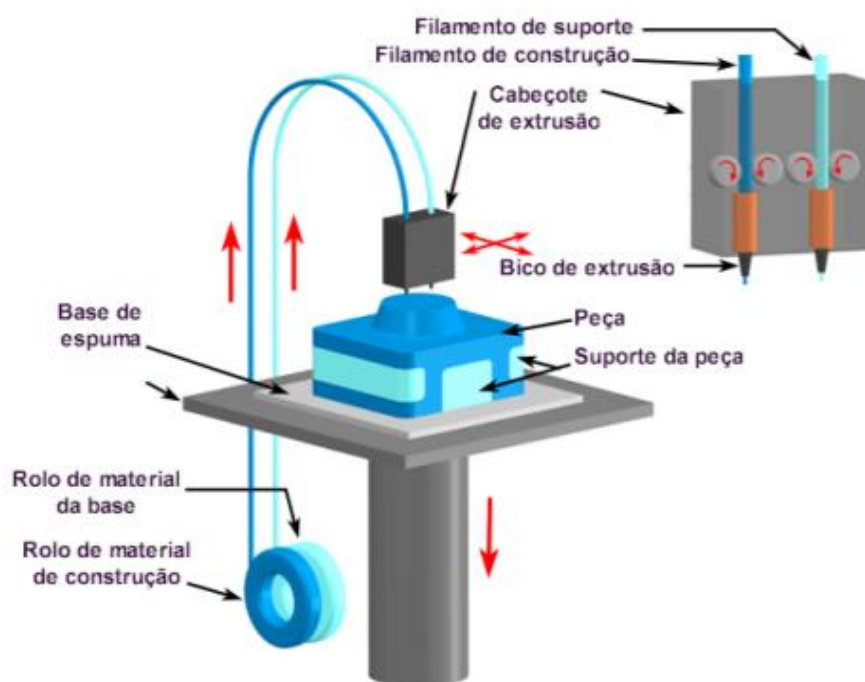
2.2.3.1 Modelagem por Deposição Fundida – FDM

A técnica de modelagem por deposição fundida (FDM – *Fused Deposition Modelling*), classificada por Cunico (2015) no grupo de tecnologias à base de fusão e

deposição (extrusão), tem como princípio de processamento a deposição de material fundido, normalmente termoplástico, por meio de extrusão.

A matéria prima é alimentada na impressora com o auxílio de rolos motorizados que direcionam o material para um compartimento revestido por resistências térmicas responsáveis por aquecer e fundir o conteúdo da câmara. Por meio de um bico de extrusão que se movimenta nos eixos x e y, o material é depositado em toda a camada projetada conforme o modelo CAD. À medida que cada camada vai sendo finalizada, a plataforma se movimenta na direção z, até a atingir a altura da próxima camada e repetir o processo de forma sucessiva até atingir o produto desejado (PORTUGAL, 2017).

Figura 3 - Representação esquemática da tecnologia de FDM



Fonte: Ichi (2010, p. 28).

Algumas máquinas já operam com duas cabeças de extrusão, sendo uma delas para a matéria prima de construção do objeto e, a outra, para deposição do material de suporte que atende à construção de produtos com forma e geometria negativas. É importante ressaltar que, no intuito de precisar a fabricação do objeto ao modelo inicial, evitando falhas de impressão, foi adotada a utilização de materiais solúveis em água para confecção das partes de suporte do objeto, o que refletiu em aumento de custos para o processo (CUNICO, 2015).

A figura abaixo demonstra um exemplo de aplicação de material de suporte.

Figura 4 - Representação de material de suporte para FDM



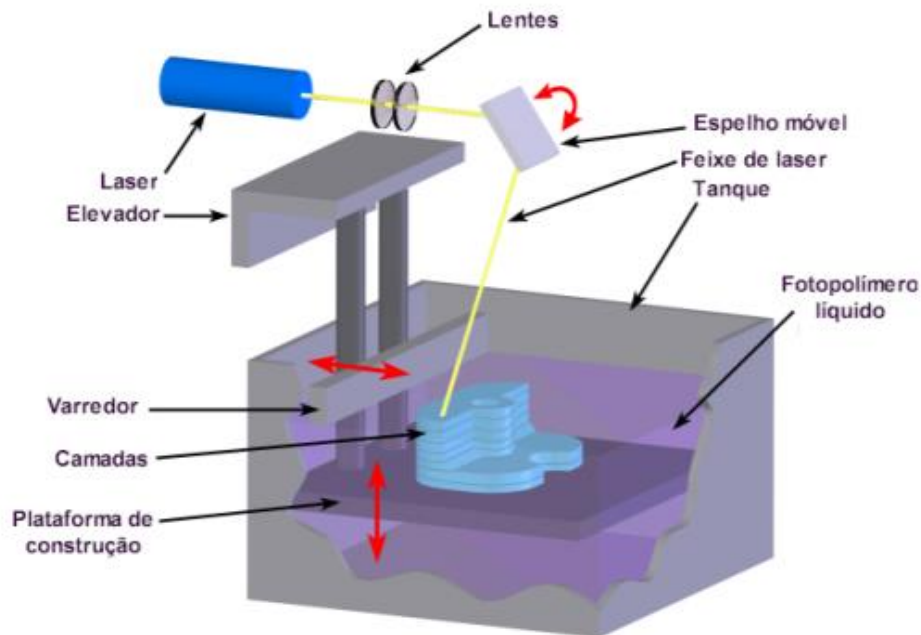
Fonte: Cunico (2015, pg. 17).

2.2.3.2 Estereolitografia - SLA

A técnica de estereolitografia (SLA – *Stereolithography*), classificada por Cunico (2015) no grupo de tecnologias à base de polímeros líquidos, tem como princípio de processamento o endurecimento das camadas formadas por materiais resinosos mediante a incidência de raios UV.

Seguindo a mesma premissa de impressão por camadas previamente projetadas em um modelo computacional, o processo de SLA é dado com o abastecimento de resina fotossensível, normalmente acrílica ou epóxi, em um reservatório da máquina. Na superfície do material líquido, ocorre a incidência de um feixe de laser com radiação ultravioleta, o qual se movimenta nos eixos x e y, promovendo a cura do material, ou seja, a solidificação da camada na qual foi projetado. A plataforma, localizada abaixo da superfície da resina, alterna sua altura para baixo à medida que as camadas vão sendo finalizadas, fazendo com que o líquido cubra novamente a superfície e o processo se torne sucessivo (CUNICO, 2015).

Figura 5 - Representação esquemática da tecnologia de SLA



Fonte: Ichi (2010, p. 25).

Após o processo concluído, o modelo é submetido à uma espécie de limpeza para remoção de líquidos residuais e, direcionado para um forno para finalização do processo de cura completa. Embora que a técnica de SLA seja uma das mais difundidas e a pioneira na tecnologia de manufatura aditiva, patenteada em 1986 (ICHI, 2010), esta pode ser considerada como um dos processos de fabricação mais caros, em comparação com outras técnicas, devido ao alto custo da resina plástica líquida, matéria prima utilizada (KARASINSKI, 2013).

2.2.3.3 Modelagem de Objetos Laminados – LOM

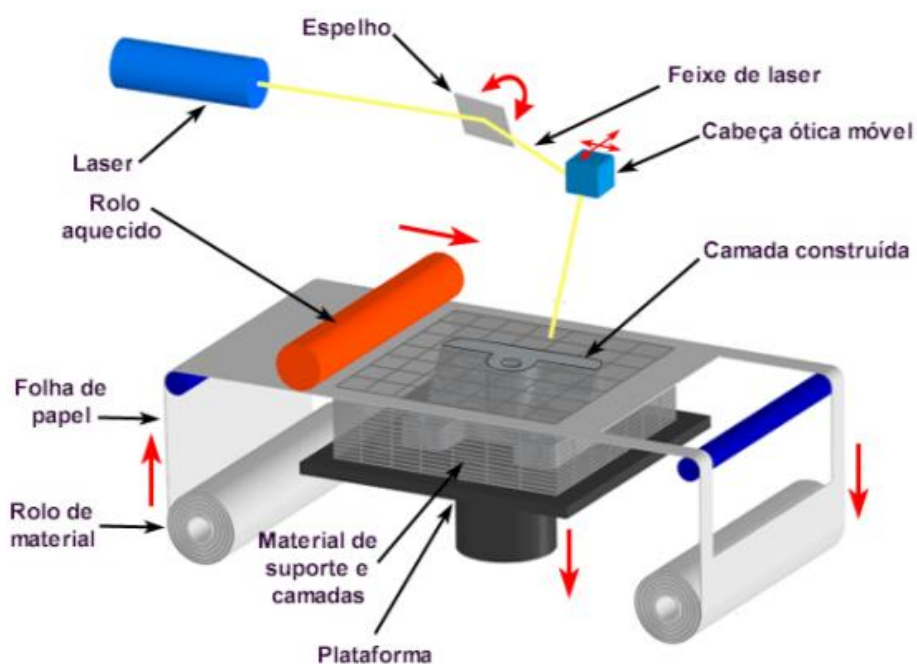
A técnica de modelagem de objetos laminados (LOM – *Laminated Object Modelling*), classificada por Cunico (2015) no grupo de tecnologias à base de sólidos laminados, tem como princípio de processamento a colagem das camadas formadas por materiais laminados já no estado sólido.

A matéria prima utilizada é baseada em folhas de papel revestidas de adesivo que são coladas, em camadas gradativas, com uma resina que é ativada mediante o calor transferido por um rolo quente, comprimindo e dando aderência entre a camada

fabricada e a anterior. A plataforma de construção é movimentada no eixo z para que o processo se repita até a formação do produto.

Nessa técnica, também é utilizado um laser que se movimenta nos eixos x e y e que realiza o corte das folhas de material, formando o contorno da primeira camada. O raio laser também é responsável por efetuar o corte negativo de excesso de material, o qual fica atuando como material de suporte até o final do processo (MARTINS, 2017).

Figura 6 - Representação esquemática da tecnologia de LOM



Fonte: Ichi (2010, p. 26).

Embora o método apresente vantagem em comparação à outras tecnologias devido ao reduzido tempo de fabricação, alguns pontos negativos têm forte relevância no processo. Por se tratar de objetos confeccionados à base de papel, eles apresentam baixa resistência mecânica e sensibilidade à água, além da possibilidade de ocorrerem danos na superfície da peça ao realizar a etapa de pós processamento, na qual é removido o excesso de material, tornando a tecnologia inviável para construção de modelos de pequenas dimensões (PORTUGAL, 2017).

À medida que a tecnologia foi evoluindo, algumas variações referentes à materialidade e ao princípio de funcionamento foram evidenciadas. Em adição ao papel, Cunico (2015) afirma que materiais como madeira, metal e cerâmica já estão

sendo utilizados, além da inserção de um cabeçote de jato de tinta no equipamento que permite a utilização de cores nos modelos, agregando valor estético ao produto.

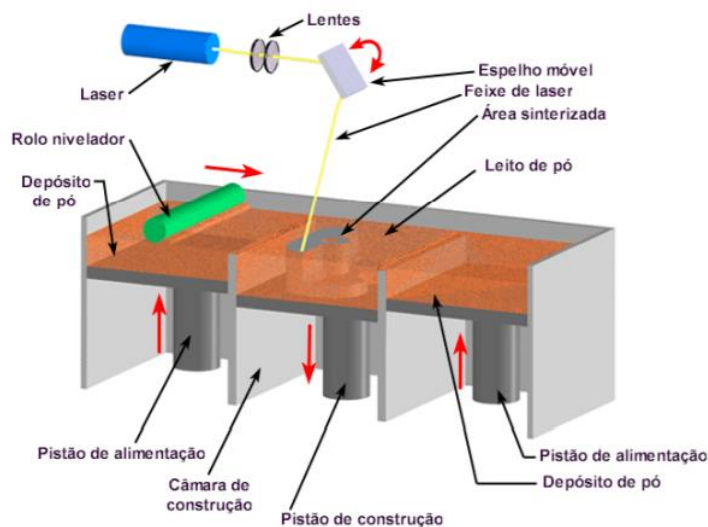
2.2.3.4 Sinterização Seletiva a Laser - SLS

A técnica de sinterização seletiva a laser (SLS – *Selective Laser Sintering*), classificada por Cunico (2015) no grupo de tecnologias à base de pó, tem como princípio de processamento a sinterização das camadas formadas por polímeros em pó mediante a incidência de raios UV.

O processo ocorre de forma semelhante à técnica de SLA, porém, nesse caso, tem elastômeros, náilon e metais como matéria prima em forma de pó para construção do objeto final na forma sólida. O reservatório da impressora é preenchido com o material pulverulento e a plataforma, localizada abaixo da superfície do pó, é movimentada na direção z à medida que cada camada vai sendo construída (ICHI, 2010).

Para ocorrer a sinterização de cada camada, a máquina projeta um laser de alta potência que promove a fusão do material depositado, como se o laser estivesse esculpindo o próprio pó. Em seguida, a impressora desce, executando o movimento no eixo z, deposita, de forma nivelada, a nova camada uniforme de pó e incide o laser sobre ela, tornando o processo sucessivo até a obtenção do produto (PORTUGAL, 2017).

Figura 7 - Representação esquemática da tecnologia de SLS



Fonte: Ichi (2010, p. 27).

Do mesmo modo como ocorre na técnica de SLA, a SLS também é submetida por um processo de limpeza, o qual é realizado após a construção completa do modelo desejado. Nesse método, por se tratar de matéria prima a base de pó, o excesso de material é retirado por meio de escovação ou jato de ar comprimido, tornando possível a coleta do pó excedente para futuro reaproveitamento (KARASINSKI, 2013).

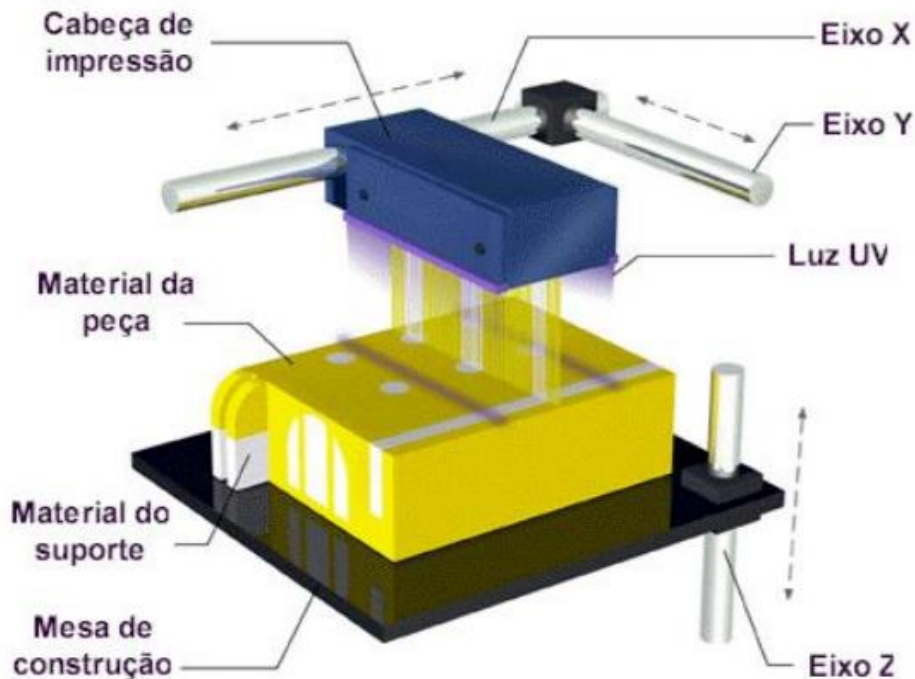
2.2.3.5 Impressão 3D - 3DP

A técnica de impressão 3D (3DP – *3D Printing*), também classificada por Cunico (2015) no grupo de tecnologias à base de pó, tem como princípio de processamento a construção de camadas formadas por uma combinação de material colante com material pulverulento. Nesse caso, o autor considera a impressão 3D como uma das tecnologias de manufatura aditiva e, não, como sinônimo dela.

Seguindo a mesma premissa utilizada pelas impressoras de computadores que operam à base de jato de tinta, o cabeçote da impressora 3D também expelle o material, porém, nesse caso, é expelido um agente ligante sob uma camada de pó cerâmico, polimérico ou metálico. A matéria prima à base de pó, mantida em um reservatório da máquina, é distribuída de forma gradativa, com o auxílio de um rolo, sobre a plataforma de construção do objeto. Na parte superior da camada de pó, o cabeçote da impressora que se movimenta nos eixos x e y, deposita o material colante e realiza o processo de sinterização da camada (CUNICO, 2015).

O processo é realizado de forma sucessiva até a confecção do produto, o qual também é submetido à etapa de pós processamento para remoção de materiais residuais, mediante a submersão em água. Para cura completa e aumento de resistência, o modelo também pode ser direcionado à submersão em material ligante (MARTINS, 2017).

Figura 8 - Representação esquemática do processo de 3DP



Fonte: Ichi (2010, p. 30).

2.3 Impressão 3D na Construção Civil

A impressão 3D, em suas diversas formas, é uma tecnologia projetada para construir objetos e estruturas com rapidez e precisão. As impressoras 3D disponíveis no mercado hoje geralmente usam materiais metálicos, plásticos ou cimentícios, em pasta ou pó, para imprimir elementos personalizados, camada por camada, com base nas informações fornecidas pelo modelo digital (DELOITTE, 2015).

A aplicação da tecnologia de impressão 3D na construção civil é uma das principais tendências da indústria da construção atualmente. Assim como as pequenas impressoras de mesa disponíveis no mercado, amplamente utilizadas para a produção e prototipagem de pequenos objetos, os sistemas de impressão 3D comumente utilizados na construção civil consistem em uma cabeça de impressão que funde e/ou deposita os componentes utilizados para construir estruturas complexas (MARTINS, 2017).

Desta forma, uma única edificação ou até mesmo um conjunto de casas pode ser construído automaticamente, mesmo que cada estrutura tenha uma forma diferente, usando um sistema automatizado conectado a um programa executivo. Por fim, o modelo virtual é impresso e transformado em um edifício real.

Uma das principais vantagens da impressão 3D na construção é a rapidez e eficiência do processo construtivo. Com a tecnologia atual, uma estrutura de casa de cerca de 50 metros quadrados pode ser erguida em um dia. Mas a velocidade não é a única vantagem; a impressão 3D de edifícios também pode reduzir significativamente o desperdício de construção (MARTINS, 2017).

Em média, são geradas até 4 toneladas de resíduos durante a construção de uma residência. Para a construção de estruturas de contrapiso, por exemplo, a aplicação desigual de concreto, com ou sem estruturas de apoio complementares, desperdiça quase metade do volume de concreto. Isso é especialmente preocupante visto que a indústria do cimento, um dos principais componentes do concreto, responde por cerca de 7% das emissões globais de dióxido de carbono (DELOITTE, 2015).

Por outro lado, as impressoras 3D podem ser calibradas para produzir estruturas com espessuras regulares e precisas, usando apenas a quantidade exata de concreto e apenas aonde for realmente necessário. Isso é a chamada otimização de topologia (MARTINS, 2017).

2.3.1 Tecnologias de Impressão 3D na Construção Civil

O termo impressão 3D inclui várias técnicas de fabricação que constroem peças camada por camada. Elas variam na forma como as peças de plástico, resina, cimento e metal são formadas, bem como na seleção de materiais, acabamento superficial, durabilidade, velocidade de fabricação e custo. No mercado atual, funciona aplicando material camada por camada, criando um padrão tridimensional como uma pistola de cola quente extremamente precisa (MARTINS, 2017).

Dentre diversas tecnologias de impressão 3D utilizadas no segmento da construção civil, duas delas, o Contour Crafting e o Concrete Printing, consideradas as mais abrangentes pela literatura, serão descritas nos próximos tópicos.

2.3.1.1 Contour Crafting – CC

A técnica americana de construção por contornos (CC – *Contour Crafting*) foi inventada e desenvolvida pelo Dr. Behrock Khoshnevis, pesquisador da Universidade do Sul da Califórnia, e possui registros de aplicação na construção civil datados em

1996 (KHOSHNEVIS, 2012). A partir da criação da CC, a qual utiliza concreto e cerâmicas como matéria prima, novas tecnologias foram sendo desenvolvidas, bem como, a aplicação de novos materiais, como plásticos e compósitos nas construções (KHOSHNEVIS e ZHANG, 2012).

O princípio de funcionamento da tecnologia parte da extrusão e deposição de material em camadas, seguindo a mesma premissa do processo de FDM. Para a técnica de CC, o projeto também é confeccionado em CAD, configurado e enviado para impressão, a qual é realizada camada a camada, previamente seccionadas no modelo computacional.

A máquina é formada por um braço no qual são alocados bicos responsáveis pela extrusão da matéria prima, normalmente, uma mistura de concreto combinado com fibras com elevada densidade e desempenho. O braço fica inserido em uma espécie de pórtico ou guindaste que realiza a movimentação da impressora de acordo com a geometria do projeto. O bocal de extrusão possui uma saída que executa a deposição de material para a construção do contorno e outra que realiza o preenchimento do núcleo interno da estrutura, possibilitando a utilizando de materiais distintos em cada saída. Na extremidade de cada bico são alocadas espátulas que, à medida que a matéria prima vai sendo depositada, realizam o alinhamento da superfície, mantendo-a plana e nivelada (MANKIN, 2004). Essa técnica de acabamento adotada é um dos principais fatores que diferencia a CC das demais tecnologias de impressão 3D aplicadas na construção civil.

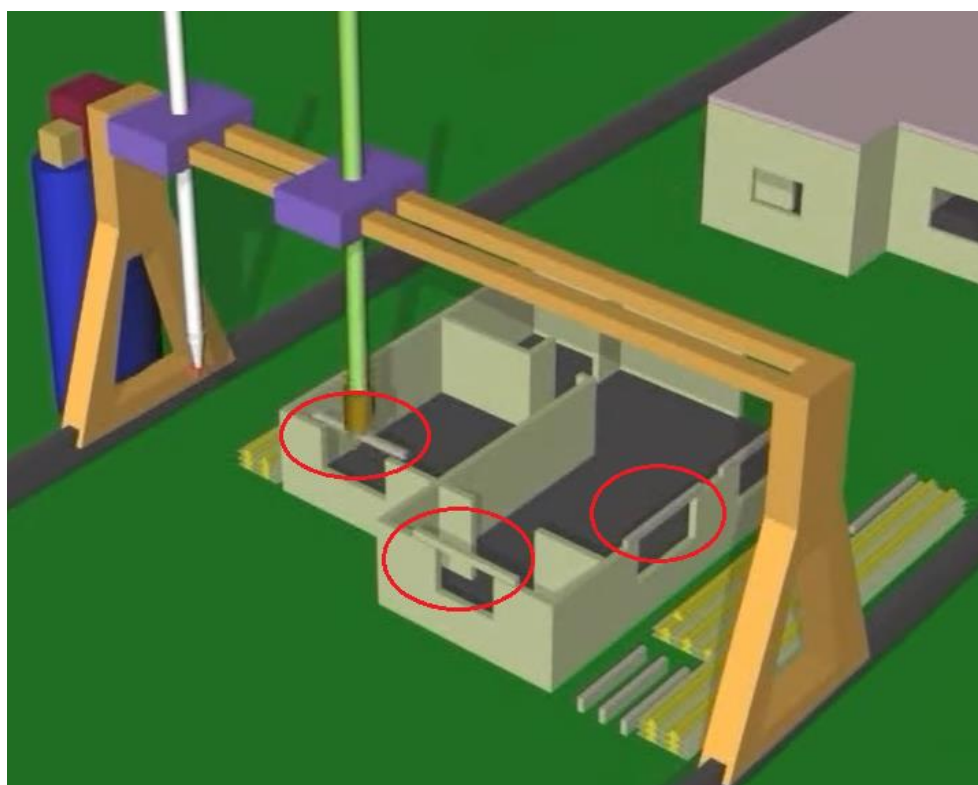
Fotografia 1 - Máquina de impressão em CC



Fonte: Adaptado de Khoshnevis (2012).

O equipamento vai se movimentando nos eixos x e y para depositar o material de acordo com a geometria do projeto e, no eixo z, a plataforma vai subindo de forma que o processo se repita sucessivamente, camada por camada, até a construção completa da estrutura que foi projetada. Khoshnevis (2012) salienta a utilização de material de suporte para cobertura de vãos de portas e janelas de forma que não haja interferência na construção do projeto final.

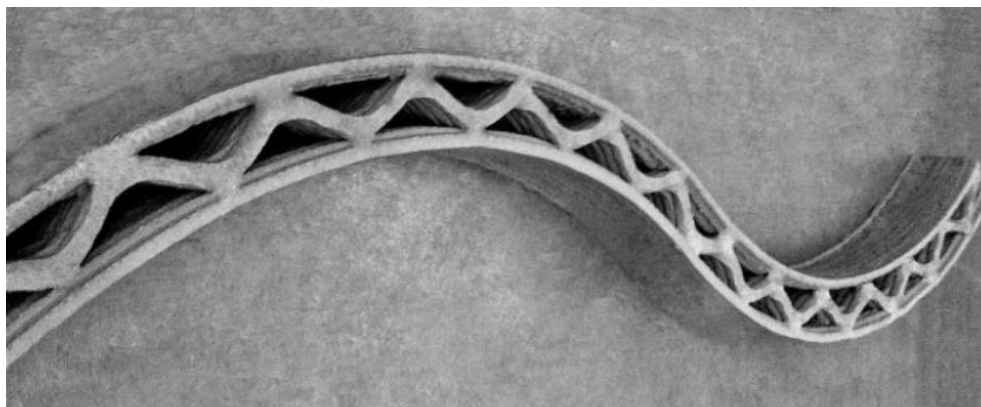
Figura 9 - Representação de material de suporte para CC



Fonte: Adaptado de Khoshnevis (2012).

O processo de extrusão é realizado por um bico com diâmetro de, aproximadamente, 15 mm, o qual é considerado grande em comparação à outras técnicas. Por esse motivo, a impressão apresenta alta taxa de acúmulo de material e realiza a impressão completa de cada filamento com apenas duas passagens de deposição, evitando longos ciclos entre uma camada e outra e otimizando o tempo de impressão. A profundidade de cada camada impressa pela técnica de CC apresenta, aproximadamente, 13 mm. Essa dimensão, está diretamente associada à velocidade de impressão, propriedades do material, nível de detalhamento da construção e acabamento da superfície (LIM, *et al.*, 2012).

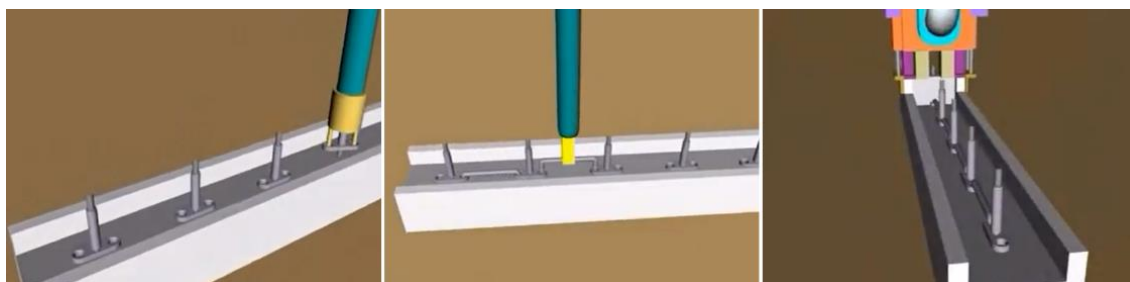
Fotografia 2 - Representação de estrutura impressa por CC



Fonte: Lim, *et al.* (2012).

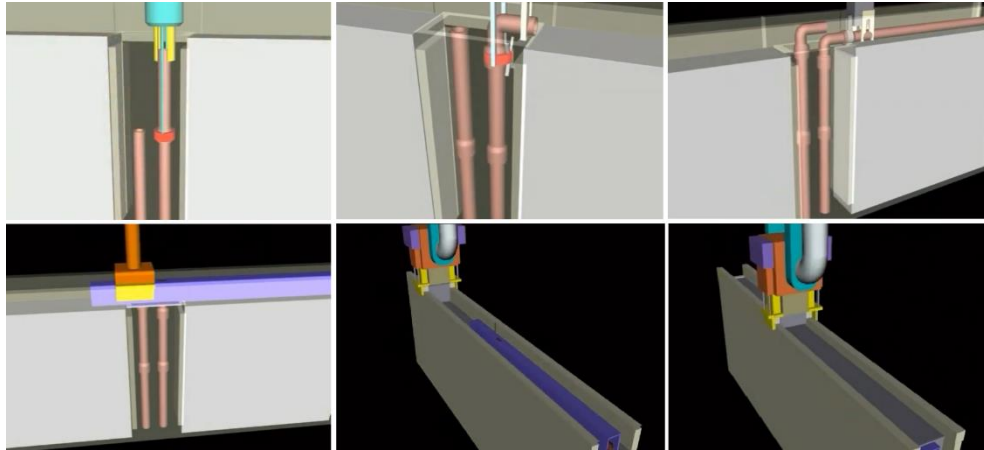
A técnica de CC permite a construção simultânea da estrutura das paredes com as instalações elétricas, tubulações, reforços e acabamentos. Para edificações nas quais haja a necessidade de reforço na estrutura, o sistema convencional viga-pilar composto por vergalhões de aço contínuos é substituído pela inserção de vergalhões segmentados que são inseridos de forma automática pelo equipamento, mediante prévias configurações inseridas na máquina. Da mesma forma, ocorre com a instalação das tubulações e dos condutores elétricos que é realizada pela própria máquina à medida que a construção das camadas vai evoluindo e a parede vai subindo de altura (KHOSHNEVIS, 2012).

Figura 10 - Representação esquemática de reforço em CC



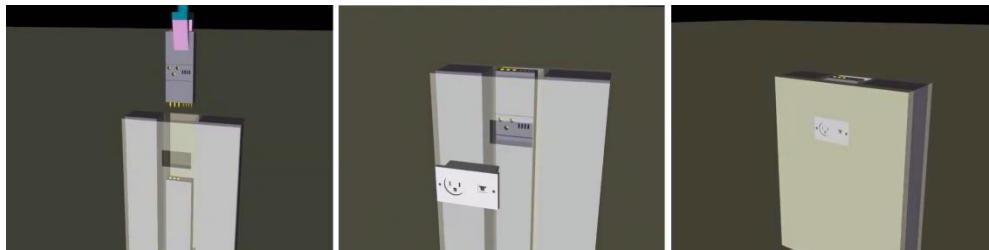
Fonte: Adaptado de Khoshnevis (2012).

Figura 11 - Representação esquemática de instalação de tubulação em CC



Fonte: Adaptado de Khoshnevis (2012).

Figura 12 - Representação esquemática de instalação elétrica em CC



Fonte: Adaptado de Khoshnevis (2012).

Além da construção de residências isoladas, a tecnologia CC também atende a construção de edifícios de vários andares e grandes estruturas com várias unidades. Para cada modelo de edificação, o robô recebe uma configuração diferente, podendo operar de forma independente para a construção de uma casa, de forma simultânea com vários bicos de extrusão para a construção de grandes edifícios, ou de forma movimentada no eixo z, subindo a máquina de acordo com a altura do edifício.

Figura 13 - Construção de residências isoladas



Fonte: Adaptado de Khoshnevis (2012).

Figura 14 - Construção de edifícios de vários andares



Fonte: Adaptado de Khoshnevis (2012).

Figura 15 - Construção de grandes estruturas com várias unidades



Fonte: Adaptado de Khoshnevis (2012).

Khoshnevis (2012) criou a CC como uma solução para uma das maiores necessidades populacionais e governamentais: a construção de abrigos. Com base no seu estudo e no desenvolvimento da tecnologia, foram identificadas vantagens extremamente competitivas a partir da aplicação da Contour Crafting na indústria da construção civil.

Entre os fatores mais benéficos proporcionados pela tecnologia CC está a redução do tempo das construções. Segundo Khoshnevis (2012), a construção completa, incluindo projetos complementares, de uma residência de, aproximadamente, 200 m² é efetuada em 20 horas de operacionalização. A técnica também permite a flexibilização arquitetônica de forma que sejam projetadas residências com design altamente customizado. Para isso, basta que seja realizada uma configuração computacional para que a impressão arquitetônica seja executada de forma personalizada, beneficiando, inclusive, a construção de unidades de baixa renda que, pelo método de construção convencional, tendem a seguir um padrão arquitetônico, a fim de reduzir custos e prazo de entrega.

Outro ponto de forte relevância diz respeito à resistência estrutural das edificações. Considerando o elevado grau de personalização que a impressão por CC proporciona e que paredes retilíneas possuem menor resistência do que demais geometrias inteligentes, a aplicação da tecnologia torna-se um fator benéfico para a construção de residências em países e regiões acometidos por desastres naturais, como por exemplo, pela ação de terremotos (KHOSHNEVIS, 2012). Dessa forma, a construção de uma unidade habitacional através da CC, além de mais rápida, se torna mais segura ao usuário e aos demais envolvidos do que o método de construção convencional.

Além desses, diversos outros aspectos são apontados por Khoshnevis (2012) como fatores motivadores à aderência da tecnologia de CC no segmento da construção civil. Sendo essa uma das áreas profissionais mais perigosas, a qual atinge 10.000 mortes e 400.000 mil feridos por ano em decorrência de acidentes de obra, além das grandes obras vinculadas ao governo que, constantemente, são alvos de corrupções, refletindo na evasão financeira e na construção de residências altamente ineficazes devido à mão de obra desqualificada e à urgência nas entregas, a tecnologia de impressão por CC se torna uma solução viável para sanar esses problemas. No que diz respeito à redução de custos das construções, a tecnologia

propõe um gasto de 25% do valor total investido em uma obra convencional (KHOSHNEVIS, 2012).

Em síntese, a relação abaixo demonstra as principais vantagens proporcionadas pela aplicação da tecnologia Contour Crafting no segmento da construção civil.

- Otimização na velocidade de construção das residências;
- Redução de custos;
- Redução de desperdício de materiais;
- Alta flexibilidade arquitetônica;
- Redução na emissão de poluentes;
- Redução de acidentes de obra;
- Baixo uso de energia;
- Maior resistência estrutural;
- Aumento de empregos para mulheres, idosos e demais pessoas que tenham dificuldade em se inserir no segmento devido ao trabalho braçal;
- Agilidade na construção de residências para população desabrigada e/ou de baixa renda.

Quadro 2 - Impacto econômico da CC na construção civil

Parcela de custo da construção convencional	Devido a	Se automatizado por CC
20% - 25%	Financiamento	A curta duração do projeto e o controle do tempo de chegada ao mercado reduzirão drasticamente o custo de financiamento
25% - 360%	Materiais	Não haverá desperdício na construção
45% - 55%	Mão-de-obra	A mão-de-obra manual será significativamente reduzida. A força muscular será substituída pela força do cérebro. Mulheres e trabalhadores idosos, pela primeira vez, encontrarão novas oportunidades de trabalho na construção.

Fonte: Khoshnevis (2012, p. 5).

2.3.1.2 Concrete Printing – 3DCP

A tecnologia inglesa de impressão de concreto (3DCP – *Concrete Printing*) foi desenvolvida por uma equipe de pesquisa na Universidade Loughborough, no Reino Unido, e foi fundamentada com base nos princípios definidos na técnica de *Coutour Crafiting*. O processo de construção é baseado na extrusão e deposição de material argamassado à base de cimento e enriquecido com aditivos e se difere da técnica americana nos quesitos de acabamento (BOS, *et al.*, 2016).

O modelo CAD em 3D, já convertido para STL, antes de ser enviado para impressão é submetido à etapa de pós-processamento na qual são realizadas configurações que otimizam tempo e distribuição de material. Nessa etapa, o equipamento identifica o caminho mais adequado para executar a deposição no menor tempo e elimina possíveis sobreposições de material que possam ocorrer devido às operações liga e desliga da máquina durante a movimentação no sentido das camadas (LIM, *et al.*, 2011). Após todos os parâmetros configurados, o modelo é enviado para impressão.

Fotografia 3 - Quadro de impressão da 3DCP



Fonte: Lim, *et al.* (2011).

A impressora é composta por um braço vertical movimentado roboticamente por uma espécie de pórtico. Nesse braço, está acoplada uma mangueira, na qual o concreto é bombeado e misturado com água, que se conecta ao cabeçote de impressão, onde o concreto é extrudado sob pressão recebida pela bomba. O cabeçote da impressora é formado por um único bico de seção circular com diâmetros testados entre 4 e 22 mm (LIM, *et al.*, 2011). Posteriormente, foram testados bicos de seções quadradas de 25 x 25 mm e de seções retangulares de 40 x 10 mm, sendo esta última a que se tornou mais usada por apresentar melhor adaptação em relação ao aspecto visual de empilhamento das camadas (BOS, *et al.*, 2016).

No que tange as especificações mecânicas, Lim (2011) detalha o desenvolvimento de uma mistura cimentícia de alto desempenho que apresentou de 100 a 110 Mpa de resistência à compressão. Em comparação ao concreto fundido de forma convencional, a mistura desenvolvida com densidade de 2.300 kg/m³ propõe uma resistência à compressão cerca de três vezes maior, mesmo considerando à perda de 20% de resistência decorrente dos pequenos vazios, formadas nas camadas durante o processo de impressão. Já a resistência à flexão esta associada à orientação da impressão, visto que há maior fragilidade ao exercer carga no eixo perpendicular à superfície e paralelo à camada impressa (LIM, *et al.*, 2012).

A mistura argamassada à base de cimento de alto desempenho utilizada como matéria prima na técnica de 3DCP é composta por 54% de areia, 36% de compostos cimentícios reativos e 10% de água. Cada camada possui profundidade de 4 a 6 mm e é construída a uma taxa de impressão de 1,4 kg/min, considerando a utilização de um diâmetro de 9 mm.

Fotografia 4 - Técnica de 3DCP em operação



Fonte: Bos, *et al.* (2016).

2.3.2 Edificações Fabricadas por Impressão 3D

Os tópicos apresentados a seguir irão abordar exemplos de edificações projetadas e executadas por meio da tecnologia de impressão 3D localizadas em diversos países ao redor do mundo.

2.3.2.1 Estados Unidos

A primeira casa à venda construída por impressora 3D está situada em Nova Iorque, nos Estados Unidos, e foi desenvolvida pela SQ4D Incorporações. A residência que dispõe de mais de 400 m² construídos em concreto foi impressa diretamente no local pela tecnologia ARCS, um robô que fabricou as fundações e paredes internas e externas. Avaliada com um preço de venda de \$299.999 dólares, a construção obteve um custo de 50% inferior às demais construções da região (SQ4D [2022?]).

O método construtivo utilizado pela SQ4D foi o *Concrete Printing*, atuando no modelo de deposição de concreto por camadas. A empresa desenvolveu um software e um hardware próprios que possibilitam maior segurança aos operados da

impressora, otimização durante a extrusão da matéria prima, evitando acúmulo de material, e redução no custo do metro quadrado construído. Com isso, a SQ4D oferece 50 anos de garantia para suas residências, comprovando a qualidade e resistência do imóvel fabricado por impressão 3D (SQ4D [2022?]).

Fotografia 5 - Impressão 3D em execução nos Estados Unidos



Fonte: SQ4D (2021).

Fotografia 6 - Edificação em impressão 3D nos Estados Unidos



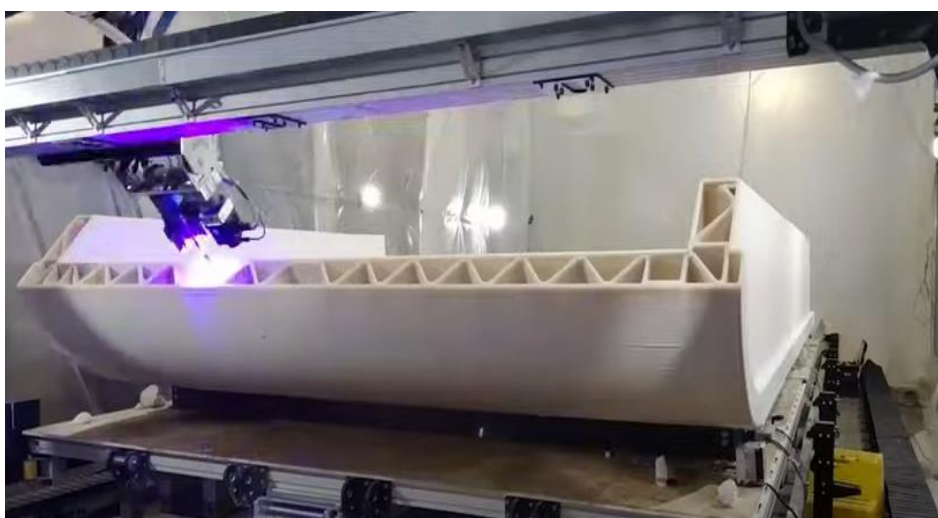
Fonte: SQ4D (2021).

Outro exemplo de edificação construída por impressão 3D nos Estados Unidos fica localizado em Livermore, na Califórnia, e trata-se de um estúdio fabricado pela empresa Mighty Buildings. O projeto consiste em uma proposta rústica e confortável, com energia solar e vista panorâmica. O processo de construção dessa edificação foi executado na fábrica e posteriormente transportado ao local definitivo de implantação.

O processo durou um período de 4 meses, desde a concepção do projeto até a instalação completa da residência no terreno (MIGHTY BUILDINGS, 2020).

O método construtivo adotado foi o *Contour Crafting*. Durante a execução dessa técnica, são impressos vergalhões segmentados entre os contornos, gerando espaçamento que permite instalação elétrica e hidráulica não aparente, diferentemente do método *Concrete Printing*, onde as paredes são maciças e as instalações necessitam serem revestidas para encobrimento (MIGHTY BUILDINGS, 2020).

Fotografia 7 - Elemento estrutural de parede impresso em fábrica



Fonte: Mighty Buildings (2020).

Fotografia 8 - Edificação em transporte até o canteiro de obras



Fonte: Mighty Buildings (2020).

Fotografia 9 - Edificação impressa em 3D nos Estados Unidos após instalação



Fonte: Mighty Buildings (2020).

2.3.2.2 Itália

A edificação denominada TECLA fica localizada em Massa Lombarda, na Itália, e foi projetada pelo arquiteto Mario Cucinella. O projeto mescla inovação, design e sustentabilidade e combina a utilização de uma tecnologia extremamente recente com um dos mais antigos insumos da habitação, o barro.

As impressoras Crane WASP utilizam terra local com água para impressão de camada por camada. Esse tipo de projeto pode ser usado em diversas regiões do planeta, principalmente em regiões mais pobres, buscando materiais disponíveis conforme realidade local, inclusive em áreas rurais, em que o acesso à recursos é mais restrito. A desvantagem é que o tempo de secagem é mais longo, dependendo do clima pode levar semanas para conclusão, enquanto a impressão acontece em cerca 200h.

O projeto executado a partir da técnica *Concrete Printing* contempla acomodações de um quarto, uma sala de estar e um banheiro.

Fotografia 10 - Edificação em impressão 3D na Itália



Fonte: CNN ([2021?]).

Fotografia 11 - Interior da edificação em impressão 3D na Itália



Fonte: CNN ([2021?]).

2.3.2.3 Holanda

A primeira casa totalmente impressa em 3D da Europa foi entregue em abril de 2021 pela construtora Saint-Gobain Weber Beamix e dispõe de uma área de 94 m². As paredes externas da residência foram construídas usando um bico de impressora 3D que esguicha cimento e o deposita camada sobre camada, dando resistência e formação para a estrutura, conforme o projeto arquitetônico.

A casa, que fica localizada em Amsterdã, foi impressa em uma fábrica situada cerca de 130 km de distância do terreno e transportada por caminhão para o local, onde foi colocada sobre a fundação e, então, instalados telhado e esquadrias. O processo completo de impressão da unidade levou, aproximadamente, 120 horas. O método construtivo utilizado para fabricação dessa residência foi o *Concrete Printing*.

Fotografia 12 - Edificação em impressão 3D na Holanda



Fonte: Jordão (2022).

Nessa mesma residência, foram identificadas algumas falhas durante o processo de impressão, como, por exemplo, a nítida marcação no design da estrutura devido à necessidade de troca do bico injetor, após horas de operação. Ainda assim, a construção como um todo demonstrou grandes benefícios, visto a redução de custos e de danos ambientais causados por um processo tradicional de fabricação.

Fotografia 13 - Ponto em que se pode perceber a troca de bicos da impressora



Fonte: Jordão (2022).

A decisão por projetar a residência em formato de pedra teve como intuito de apresentar à população que a técnica de impressão 3D garante versatilidade para construir uma casa em qualquer forma desejado.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento de uma pesquisa exige o cumprimento de critérios que podem ser atendidos por meio de diferentes estratégias, as quais são constituídas com base no tipo de metodologia adotado. A pesquisa tem como objetivo realizar o levantamento de dados que apresentem possíveis soluções, podendo estas serem suficientes ou não, para confrontar problemas identificados ao longo do estudo (GIL, 2018).

Para abordar o tema desta pesquisa, o presente trabalho foi estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo abrange a apresentação do tema manufatura aditiva e sua inserção no segmento da construção civil. Também são apresentados os objetivos gerais e específicos e as motivações que justificam a escolha do assunto.

O segundo capítulo aborda todo o referencial teórico analisado para composição das teorias acerca do tema e está subdividido em ordem cronológica da pesquisa. Inicia-se relatando fatos históricos sobre a Indústria 4.0 e como ela se manifestou no segmento da construção civil. Posteriormente, se conceitua o processo de impressão 3D, bem como as principais técnicas de manipulação dos materiais e maquinários e a aplicabilidade da tecnologia na construção civil.

O terceiro capítulo é composto pela metodologia adotada para apresentação da pesquisa. Neste tópico, são apresentadas as estratégias de pesquisa, incluindo a natureza e classificação adotadas. Por se tratar de pesquisa descritiva exploratória combina à estudo de caso, o bloco também compõe a apresentação das empresas abordadas e a caracterização dos projetos escolhidos para o estudo.

O quarto capítulo apresenta todos os tópicos relacionados ao estudo de caso. Neles, são descritos os procedimentos construtivos adotados para cada um dos projetos estudados e executados pelas empresas Be More 3D e InovaHouse3D.

O quinto capítulo apresenta a análise e discussões dos resultados obtidos ao longo do estudo. Neste tópico, são abordados três itens subdivididos: a análise comparativa entre os projetos objetos de estudo, o comparativo entre as técnicas de fabricação manual e digital e, as vantagens e desvantagens da tecnologia de impressão 3D para o segmento da construção civil.

Por fim, no sexto capítulo são apresentadas as considerações finais e conclusões da acadêmica, e as sugestões para possíveis pesquisas futuras, baseadas no estudo completo sobre técnicas de impressão 3D na construção civil.

3.1 Estratégia de Pesquisa

A pesquisa apresentada neste trabalho é do tipo descritiva e exploratória, combinada à estudo de caso, tendo como objetivo principal expor os atributos de um determinado fenômeno em suas variáveis (GIL, 2018). No estudo de caso, a estrutura de pesquisa é dada pelo levantamento de conceitos teóricos, seleção e delineamento do caso a ser estudado, ferramentas e métodos para abordagem e coleta de dados; e, por fim, análise dos resultados obtidos (GIL, 2018).

Para Yin (2015), a metodologia utilizada para investigar situações concretas diretamente ligadas ao cenário real, é o estudo de caso. Por meio desse tipo de pesquisa, as informações, com o maior nível de detalhamento possível, são compiladas e sistematizadas pelo pesquisador de forma que haja maior percepção do mesmo acerca do tema abordado.

3.2 Delineamento da Pesquisa

Com base na estratégia de pesquisa definida e nos conceitos abordados, foi delimitada a análise de dois projetos fabricados por impressão 3D como objeto de estudo para o referido trabalho. Para isso, foram definidos critérios de análise seguindo a disposição das etapas de desenvolvimento da pesquisa apresentadas no fluxograma abaixo.

Figura 16 – Metodologia de pesquisa para o estudo de caso



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da caracterização e descrição das informações compiladas em cada um dos objetos de estudo, será apresentada a análise de resultados com base nos critérios analisados nos métodos construtivos.

3.3 Coleta de Dados

A primeira coleta de dados apresentada neste trabalho é do tipo revisão bibliográfica. Esta etapa foi representada pelo estabelecimento de critérios para inclusão e exclusão de estudos e buscas na literatura. Para a busca dos artigos foram utilizadas as bases de dados: Scientific Electronic Library Online (SciELO), CAPES, Google Scholar, entre outros. Como complemento da literatura, para melhor entendimento e descrição dos processos construtivos apresentados no referencial teórico, foi utilizado material audiovisual da base de dados do Youtube.

Como critérios de inclusão foram considerados todos os artigos publicados nas bases de dados informadas, dentro da temporalidade prevista 2011 a 2022, com texto completo disponível de revisões de literatura, publicados em revistas indexadas e no idioma português, inglês e espanhol. Os termos de busca foram utilizados no idioma inglês devido maior abrangência internacional do tema do que nacional. Dentre os termos utilizados, destacam-se os principais: *3D printing*, *additive manufacturing*, *additive construction*, *3D printing + building construction*, *digital fabrication + architecture* e *construction 3D printing*. Como critérios de exclusão foram considerados os artigos com base literária superficial ou distantes da área de atuação da engenharia civil, além de artigos de opinião, relatórios, editoriais e demais materiais que apresentaram dados imprecisos ou não satisfatórios para a pesquisa.

A segunda coleta de dados será apresentada conforme o planejamento do estudo de caso. Para o presente trabalho, foi definido como objeto de estudo dois casos particulares de aplicação da impressão 3D na construção de unidades habitacionais no Brasil e na Espanha. As empresas participantes do estudo são a InovaHouse3D, empresa brasileira de tecnologia responsável pela fabricação da impressora e pelo projeto construtivo; e a Be More 3D, empresa espanhola líder no segmento da construção 3D de residências.

Os materiais utilizados para o estudo de caso tiveram como base os sites e blogs virtuais, além de portfólio visual apresentado sobre as startups no formato de

imagens e vídeos coletados no Youtube. Como complemento, foi utilizado material descritivo fornecido por meio de contato com a empresa brasileira abordada, além de relatos dados em entrevistas na mídia.

3.3.1 Caracterização das Empresas e Projetos

Os tópicos apresentados a seguir trazem a caracterização de cada uma das empresas e das edificações analisadas e definidas como objeto de estudo de caso desta metodologia.

A empresa Be More 3D é responsável pela impressão da 3D Housing, edificação localizada na Espanha e, a empresa InovaHouse3D, responsável pela fabricação da primeira edificação impressa em 3D no Brasil.

3.3.1.1 Be More 3D

A Be More 3D, localizada na cidade de Valência, na Espanha, trata-se de uma companhia líder no segmento da construção em impressão 3D de edificações. A empresa que nasceu de um projeto universitário de impressoras 3D, foi fundada em 2017 por quatro jovens amigos formados na área da engenharia e atua com o desenvolvimento próprio de impressão 3D, fabricando equipamentos e produzindo edificações a partir da tecnologia (BEM MORE 3D, 2022).

O objetivo da startup espanhola em investir na área é focado na diminuição de custos por meio de um novo sistema construtivo, além do aspecto sustentável, decorrente da redução de resíduos, de emissão de CO₂ e de riscos laborais (BE MORE 3D, [2022?]). A empresa vem evoluindo gradativamente na área, seja por meio da comercialização de equipamentos e materiais, ou pela investida em qualificação pessoal e inserção da tecnologia em projetos sociais para construção civil (BE MORE 3D, [2022?]).

O projeto definido como objeto de pesquisa trata-se de uma unidade residencial africana, construída em 2019, na cidade de Benguéir, no Marrocos, sendo a primeira casa fabricada por impressão 3D na África. A edificação conta com 32 m² e foi impressa em concreto num período de 12 horas utilizando o equipamento desenvolvido pela própria empresa (ALL 3DP, [2022?]).

A edificação foi denominada pela Be More 3D como 3D Housing e será tratada nos próximos capítulos por esta nomenclatura.

Fotografia 14 - Edificação africana construída pela Be More 3D



Fonte: All 3DP [2022?].

3.3.1.2 InovaHouse3D

A InovaHouse3D, localizada na cidade de Brasília, é a primeira startup latino-americana a desenvolver uma impressora 3D atuante no segmento da construção civil. A empresa foi fundada em 2015, por um grupo de estudantes engenheiros, com o objetivo de otimizar processos relacionados à produtividade encontrados na área, utilizando como base, conceitos oriundos da indústria 4.0 (MARTINELLI, 2020).

No ano de 2019, a empresa concluiu o desenvolvimento de um equipamento e de uma matéria prima à base de materiais cimentícios capazes de serem utilizados para a fabricação de uma edificação. Então, em 2020, após firmada uma parceria com a empresa 4Constru, construtech voltada ao emprego de manufatura aditiva, foi fabricada a primeira casa por impressão 3D no Brasil (BE MORE 3D, 2022).

O segundo projeto definido como objeto de pesquisa desta metodologia trata-se de uma unidade residencial brasileira, construída em 2020, no município de Macaíba, região metropolitana de Natal, no estado do Rio Grande do Norte. A edificação conta com 66 m² e foi impressa em concreto num período de 48 horas utilizando o equipamento desenvolvido pela própria empresa InovaHouse3D (MARTINELLI, 2020).

Fotografia 15 - Edificação brasileira construída pela InovaHouse3D



Fonte: Sustentarqui ([2022?]).

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento da pesquisa realizada nas empresas abordadas como objeto de estudo. Para isso, serão descritas, em forma de tópicos, as etapas do processo construtivo executado por cada uma das startups, incluindo as técnicas de fabricação adotadas para execução de fundação, estrutura de paredes, instalações de complementares, coberturas, acabamentos e demais elementos observados.

Destaca-se que, para cada uma das obras estudadas, foram descritos os processos de acordo com os materiais divulgados e disponibilizados pelas empresas, podendo, então, haver distinção entre a quantidade e o tipo de etapa detalhada.

4.1 Descrição do Projeto Be More 3D

Os tópicos abaixo apresentam a descrição detalhada dos processos construtivos executados, desde a concepção do projeto até a sua conclusão, pela empresa Be More 3D durante a impressão da edificação 3D Housing.

As informações apresentadas a seguir foram embasadas nos materiais divulgados e publicados pela empresa Be More 3D em site oficial, vídeos e redes sociais criadas pela startup.

4.1.1 Equipamento Utilizado

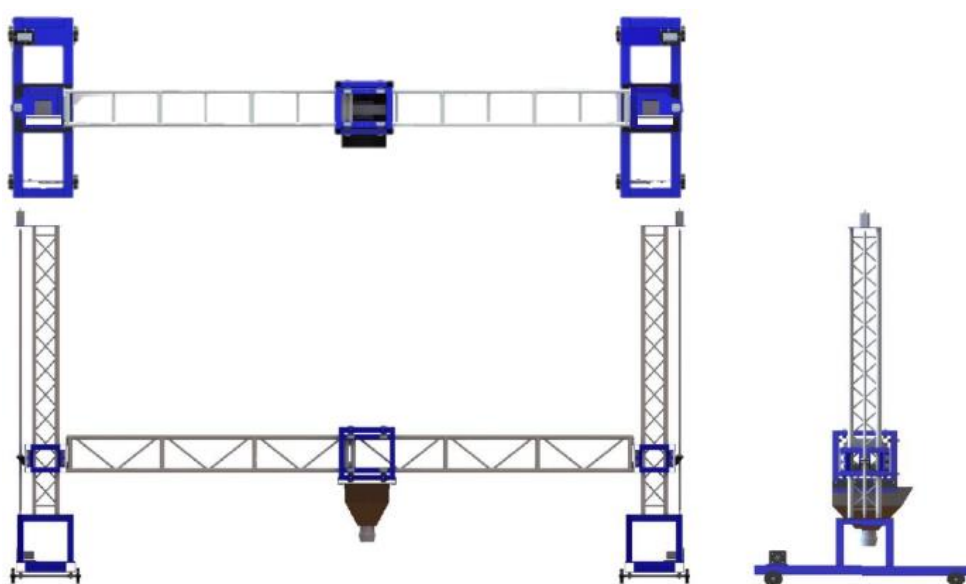
O maquinário utilizado para impressão da residência construída pela startup Be More 3D trata-se de uma impressora modelo BEM PRO com software de controle de movimento, atuação em três dimensões e dosagem de consumo de material. A máquina foi projetada para ser regulável em altura e largura a fim de se tornar adaptável às dimensões da unidade a ser construída e, devido um de seus eixos ser montado sobre rodas motorizadas, permite mover-se na direção horizontal de maneira ilimitada, sem necessidade de transportar ou desmontar a impressora ao imprimir elementos adjacentes (BE MORE 3D, [2022?]).

O fornecedor Be More 3D destaca que a impressora foi projetada com um design claro e, com isso, permite que seja montada por apenas 3 operadores em, aproximadamente, 4 horas de um processo de montagem que garante praticidade e

não necessita da utilização de guindastes. A instalação de eixos e rodas motorizados a partir da base do equipamento oferece liberdade de movimento no eixo “y”, enquanto a torre treliçada em alumínio permite escalar diferentes alturas no eixo “z”. O equipamento é projetado em suportes sobre rodas que possibilitam a sua locomoção ao longo do canteiro de obras (BE MORE 3D, [2022?]).

A figura abaixo apresenta a aparência em planta, visão frontal e perfil da impressora 3D utilizada.

Figura 17 – Projeto da impressora 3D da startup Be MORE 3D



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

O movimento no eixo “x” é dado por uma espécie de carrinho que vai acoplado em outra estrutura treliçada em alumínio, formando o pórtico que possibilita alterar a largura do equipamento. No carrinho, é alocado o funil por onde passa o material escolhido para a construção, nesse caso, o concreto. Com o auxílio de um motor, o concreto é expelido da boca extrusora de forma dosada, evitando ao máximo a perda de concreto ao longo da rota de impressão (BE MORE 3D, [2022?]).

Fotografia 16 - Impressora 3D da startup Be More 3D



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

A) impressora fornecida e utilizada pela Be More 3D no projeto analisado foi instalada na laje de fundação, em processo de construção, sobre a qual a edificação foi, posteriormente, construída. Suas dimensões são configuradas de acordo com o projeto e o alcance dos eixos “x” e “y” é dado conforme a modulação de cada impressora. Nesse caso em específico, a máquina comporta a construção de até 170 m² com velocidade média de 6 m a cada minuto (BE MORE 3D, [2022?]).

Demais especificações técnicas do equipamento utilizado e componentes complementares são apresentadas no quadro abaixo.

Quadro 3 - Especificações técnicas da impressora fornecida pela Be More 3D

CARACTERÍSTICAS	
Dimensões (“x”, “z” e “y”)	13,5 m x 5,7 m x 2,5 m
Peso aproximado	2.500 kg
Volume desmontado	3,5 m ³
ELETRÔNICA	
Potência	6 kW
Tensão	380 V
Frequência	50 Hz
LIMITAÇÕES	
Alcance eixos “x” e “z”	9,5 m x 3,0 m
Alcance eixo “y”	Ilimitado
Velocidade média do movimento do eixo	6 m/min
Velocidade média de extrusão	20 a 200 mm/s
Precisão de posição do eixo “x/y”	1 mm
Altura da espessura da camada	10 a 50 mm
Equipamentos complementares	Betoneira e bomba

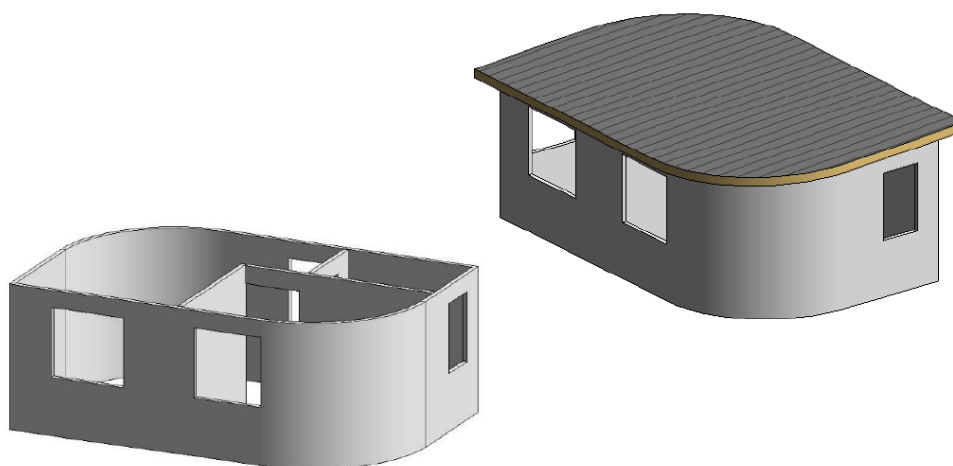
Fonte: Elaborada pela autora, com base em Be More 3D ([2022?]).

4.1.2 Criação do Modelo Digital

O projeto Be More 3D parte do processo preliminar de criação do desenho em software de modelagem 3D. No dossiê divulgado pela empresa, não foi mencionado qual o sistema utilizado para o projeto específico, porém, a startup apresenta um histórico de concepções a partir de softwares BIM, tecnologia que permite a criação de modelos digitais precisos, o que sugere que o projeto estudado tenha seguido o mesmo padrão. A partir do sólido 3D construído no programa, fatias foram seccionadas deste arquivo digital, possibilitando os critérios necessários para leitura da máquina e impressão do elemento desejado (BE MORE 3D, [2022?]).

Após diversos ajustes no projeto para obtenção do layout pretendido, foi elaborado o modelo final apresentado abaixo.

Figura 18 – Modelo digital da 3D Housing



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

Finalizada a etapa de criação do modelo digital, partiu-se, então, para a preparação do lote e montagem da impressora 3D no canteiro de obras.

4.1.3 Procedimentos Prévios de Implantação

Conforme caracterização inicial do projeto, a edificação foi construída na cidade de Valência, na Espanha. Com o modelo gráfico criado e o terreno para construção definido, iniciou-se os procedimentos iniciais para implantação do projeto. A preparação incluiu decapagem e nivelamento do terreno, seguidos da colocação de

uma base em concreto armado que serviu como alinhamento ao nível do solo e fundação do projeto.

A fundação é do tipo radier de concreto armado e foi executada previamente ao processo de impressão, por meio de trabalho manual, seguindo premissas adotadas ao método de construção civil tradicional.

Fotografia 17 - Fundação da 3D Housing



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

Finalizada e curada a base de concreto armado, foi realizada a montagem e instalação do equipamento de impressão exatamente no mesmo local em que a construção foi executada. Salienta-se que a montagem foi feita diretamente in loco por até 3 operadores num período aproximado de 4 horas, conforme especificações técnicas do equipamento e, que as dimensões da impressora eram superiores ao volume impresso.

A imagem abaixo apresenta a disposição do equipamento montado e instalado no canteiro de obras.

Fotografia 18 - Impressora montada no canteiro de obras



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

Finalizada a montagem da impressora 3D, foi iniciado o processo de coleta dos materiais utilizados e dosagem adequada para cada ambiente específico, de acordo com o volume impresso. A preparação dessa etapa exigiu que fosse realizado um estudo para verificar as condições e requisitos exigidos por cada ambiente impresso, a fim de otimizar a disposição dos materiais e o layout do canteiro de obras.

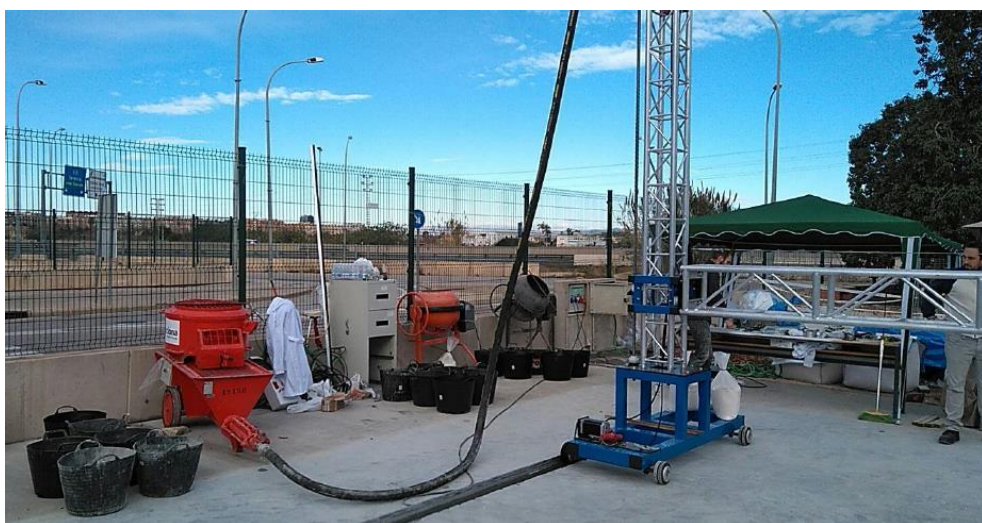
Fotografia 19 - Coleta de insumos para a impressora



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

Produzida a matéria prima da impressão, a bomba de concreto conduziu o material da betoneira até a tremonha do eixo “x” e, com esse processo, fica definido o fluxo de abastecimento de concreto até a máquina de construção 3D.

Fotografia 20 - Abastecimento de concreto na impressora 3D



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

Quando todas as etapas descritas anteriormente foram concluídas e as verificações necessárias foram efetuadas, foi possível iniciar o processo de extrusão do concreto e impressão da 3D Housing.

4.1.4 Método Construtivo

O método construtivo utilizado pela Be More 3D na construção da 3D Housing foi baseado na técnica de deposição de material por camada. Foi iniciada então a extrusão de concreto pela impressora diretamente na base de fundação, já construída anteriormente, mantendo os limites dos vãos de portas e janelas para posterior instalação de esquadrias. A impressora, que seguiu o modelo gráfico recebido por arquivo, depositou o concreto ao longo de toda a estrutura das paredes estruturais do projeto, com espessura de 15 cm, como se estivesse desenhando a planta baixa da edificação (BE MORE 3D, [2022?]).

A cada vão destinado à uma futura esquadria, a impressora pausava a extrusão do material de forma automática, já que estava seguindo o arquivo digital, movimentada nos eixos “x” e “y” até ultrapassar a dimensão do vão, e reativada novamente, dando sequência na impressão daquela camada. O processo foi se tornando repetitivo de forma que a espessura das camadas fossem se sobrepondo no eixo “z”, dando forma às paredes da edificação.

Fotografia 21 - Impressão das primeiras camadas da 3D Housing



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

À medida que as paredes foram se estruturando, os vãos se tornaram maiores, até atingirem a altura das janelas ou portas da edificação. Nesse momento, a

impressora é pausada para inserção de vergalhões de aço na estrutura, criando vergas para auxiliar na distribuição de cargas.

Fotografia 22 - Elementos como suporte para os vãos das esquadrias



Fonte: Be More 3D (2022).

Assim como no processo de construção civil convencional, as vergas e contra vergas funcionam como elemento de sustentação e distribuição de tensões da edificação em vãos de portas e janelas (FROLLINI, 2016). No processo de impressão 3D, se mantém o entendimento, porém, nessa etapa, há necessidade de interferência humana. Ao pausar o equipamento, foram inseridos de forma manual as vergas dos vãos em divisórias ou fachadas. Nos vãos destinados às janelas foram inseridas peças de madeira como suporte das camadas e reforço para as vergas e contra vergas e, nos vãos destinados às portas, foram colocadas esquadrias de madeira preliminares reforçadas com aço, a fim de suportarem as tensões das estruturas. O reforço utilizado foi em armadura com espessura de 12 mm produzidas pela própria impressora in loco (BE MORE 3D, [2022?]).

A imagem abaixo apresenta o processo de colocação de vergas para suporte aos vãos da edificação.

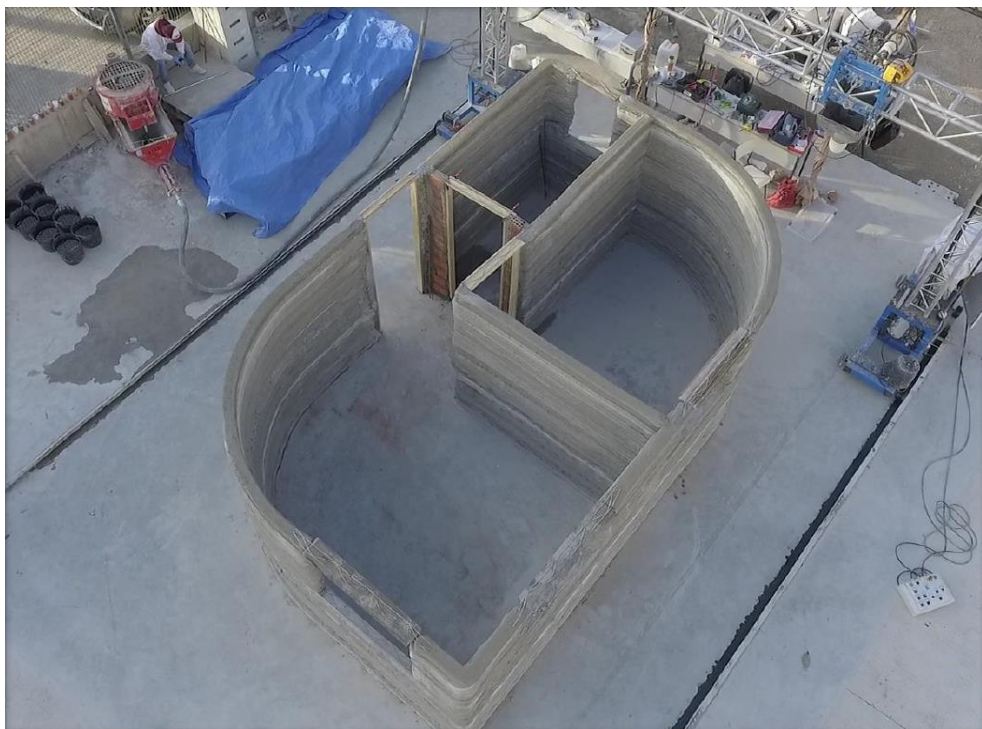
Fotografia 23 - Inserção de vergas nos vãos da 3D Housing



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

Colocados todos os apoios e reforços necessários, a impressora retomou suas atividades e sequenciou o processo de extrusão de concreto ao longo das camadas. A impressão se manteve de forma contínua e padronizada, com deposição dosada de material, até o levantamento por completo das paredes e estruturas da edificação.

Fotografia 24 - Impressão das camadas finais da 3D Housing



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

4.1.5 Execução de Projetos Complementares

As instalações referentes aos projetos complementares foram iniciadas após a estrutura estar completamente impressa. Passado o período de 24 horas após a impressão das paredes portantes, foi executado o tipo de cobertura desejado para o projeto. Na 3D Housing, optou-se pela instalação de painéis em poliuretano expandido com espessura de 12 cm para a cobertura, contando com armadura eletro soldada embutida em concreto, elemento que serviu como laje aligeirada e isolante.

Sobre a laje executada, foram instalados diretamente todos os eletrodutos das instalações elétricas, canalizações das instalações hidráulicas e demais componentes necessários para os serviços utilizados na edificação. Para isso, foram executados furos simples nas próprias paredes impressas que serviram como meio de passagem para os eletrodutos e canalizações. Tais elementos foram, posteriormente, encobertas pelo sistema de acabamento executado. Como solução para o forro, as instalações foram planejadas em focos de luz embutidos.

Segundo a empresa, o método adotado foi o mais adequado a ser utilizado para o projeto, considerando tanto questões economicamente benéficas quanto as exigências dos equipamentos e instalações da edificação.

Fotografia 25 - Instalações elétricas e hidráulicas da 3D Housing



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

Fotografia 26 - Interior da 3D Housing com instalações aparentes



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

Por fim, executadas as instalações necessárias e finalizada a cobertura, concluiu-se o processo de impressão da edificação. O concreto fresco restante foi mantido para seguida utilização na etapa de acabamentos, na produção de moldes ou peças necessárias. Já o resíduo de concreto restante na bomba da impressora foi depositado em um recipiente e transportado para a usina de reciclagem, finalizando a limpeza do equipamento. A imagem abaixo apresenta o aspecto final da obra, já com o sistema de cobertura instalado, aguardando a execução dos acabamentos projetados.

Fotografia 27 - Impressão 3D finalizada da 3D Housing



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

4.1.6 Acabamentos

Finalizadas as etapas anteriores da construção da 3D Housing, partiu-se para a fase de acabamentos e personalização do layout visual da edificação. Nesse projeto, optou-se pelo revestimento da estrutura impressa em concreto com placas de poliuretano expandido de 10 cm de espessura, construindo um sistema de isolamento térmico externo (BE MORE 3D, [2022?]).

Como revestimento vertical das paredes internas, optou-se pela utilização de gesso acartonado coberto com cal, servindo como elemento de cobertura das instalações elétricas e hidráulicas. O revestimento horizontal do piso interno foi executado sem juntas com resina à base de cimento.

Na fachada, foram instalados módulos pré-fabricados em concreto na cor branca e providos de irrigação automatizada para inserção de vegetação. A edificação também conta com sistema de ruptura térmica a partir da instalação de vidros triplos nos vãos de portas e janelas externas.

Fotografia 28 - Perspectiva externa da 3D Housing



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

Fotografia 29 - Interior da 3D Housing



Fonte: Be More 3D ([2022?]).

4.2 Descrição do Projeto InovaHouse3D

Os tópicos abaixo apresentam a descrição de algum dos processos construtivos executados pela empresa InovaHouse3D durante a impressão da edificação brasileira. Diferentemente da empresa Be More 3D, a empresa InovaHouse3D possui acordos de confidencialidade firmado junto a empresa 4Constru, parceira que atuou no desenvolvimento deste projeto, o que impossibilitou a disponibilização de maiores detalhes acerca dos procedimentos adotados.

As informações apresentadas a seguir foram embasadas nos materiais divulgados e publicados pela empresa InovaHouse3D em site oficial, vídeos e redes sociais criadas pela startup, além de material teórico complementar fornecido pela empresa para o estudo.

4.2.1 Equipamento Utilizado

O maquinário desenvolvido pela startup InovaHouse3D para impressão de edificações trata-se da impressora modelo Alya 130, criada para operar com base nos conceitos da tecnologia *Concrete Printing* para deposição de material cimentício em

forma de camadas. A empresa define o projeto dessa construção como monobloco, ou seja, a edificação impressa como um todo in loco e, não, por etapas ou por elementos da estrutura para posterior instalação no canteiro de obras. Por esse motivo e, associado ao fato de a impressora possuir um tamanho específico, o projeto necessitou respeitar as dimensões limite do equipamento (MARTINELLI, 2019).

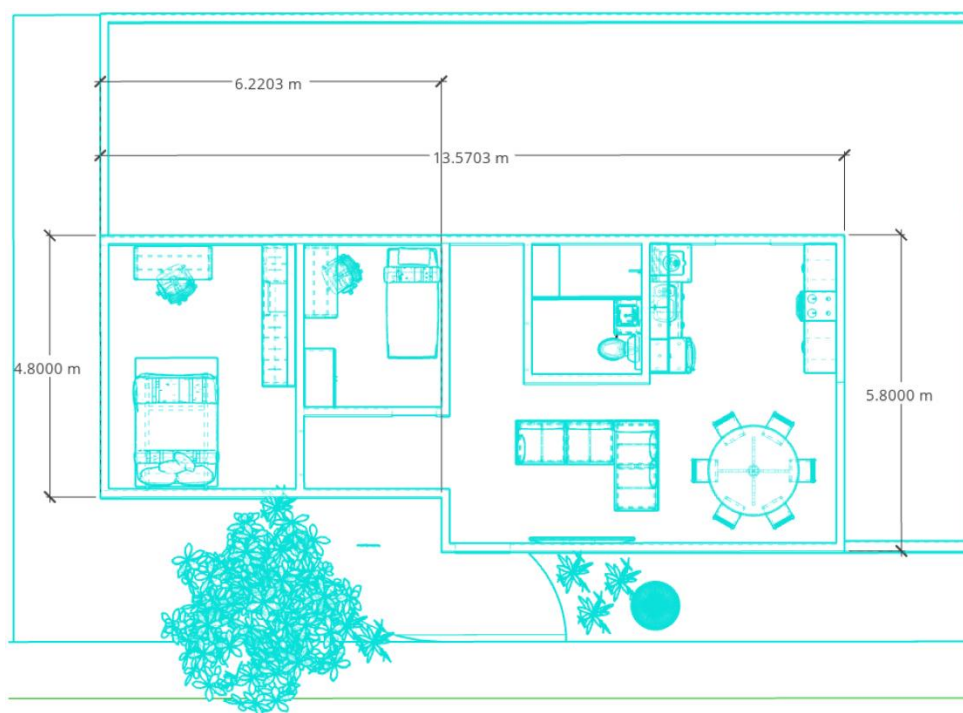
O Quadro 4 apresenta as dimensões da impressora e a Figura 19 apresenta o projeto desenvolvido com base nos limites atendidos pelo equipamento.

Quadro 4 - Dimensões do equipamento desenvolvido pela InovaHouse3D

Largura	7,6	m
Comprimento	12	m
Altura	3	m

Fonte: Elaborado pela autora, com base em Santos (2020).

Figura 19 – Planta baixa da edificação



Fonte: Martinelli (2021).

A impressora Alya 130 fornecida pela InovaHouse3D é a primeira impressora 3D da América Latina destinada à construção civil. Demais detalhes e especificações técnicas do equipamento não foram divulgados por questões de sigilo frente à concorrência de mercado.

Fotografia 30 - Impressora Alya 130 desenvolvida pela InovaHouse3D



Fonte: InovaHouse3D ([2022?]).

4.2.2 Método Construtivo

O processo construtivo utilizado pelas empresas InovaHouse3D em conjunto com a 4Constru foi baseado no método de deposição de camadas a partir de um modelo digital, seguindo as mesmas premissas detalhadas anteriormente no projeto executado pela empresa Be More 3D. A matéria prima utilizada foi o concreto, com proporções minimamente alteradas comparando ao método de construção tradicional.

A fabricação da residência de Macaíba/RN foi realizada in loco sobre a fundação do tipo radier, executada de forma manual após realizada a limpeza e topografia do terreno. O modelo de fundação em radier, que conta com uma área de 129,23 m², foi adotado por oferecer maior agilidade durante a execução e por atuar como uma base nivelada ao solo para a posterior instalação do equipamento de impressão (MARTINELLI, 2019).

O projeto foi desenvolvido para atender as exigências mínimas do Programa Casa Verde e Amarela, devido ao objetivo da startup em produzir edificações que se enquadrem nos padrões de habitação de interesse social. O quadro a seguir apresenta alguns parâmetros mínimos considerados pela startup no desenvolvimento do projeto.

Quadro 5 - Parâmetros utilizados para o projeto

Área útil mínima	55 m ² para até 4 pessoas
Layout	Sala + cozinha + área de serviço + 2 dormitórios + banheiro + área verde
Pé direito mínimo	2,75 m

Fonte: Adaptado de Martinelli (2021, pg. 45).

No que diz respeito aos vãos das portas e janelas, a empresa optou pela utilização de painéis pré-fabricados como caixarias e adicionou vergalhões de aço sobre elas, criando vergas capazes de atender às necessidades de distribuição de tensões existentes nos vãos. A empresa salienta que essa estrutura poderia ter sido fabricada por impressão 3D no próprio canteiro de obras, mas que isso demandaria um maior tempo e a disponibilização de elementos para atuarem como suporte, tornando o processo inviável, frente aos objetivos propostos.

Fotografia 31 - Processo de impressão da edificação



Fonte: Martinelli (2020).

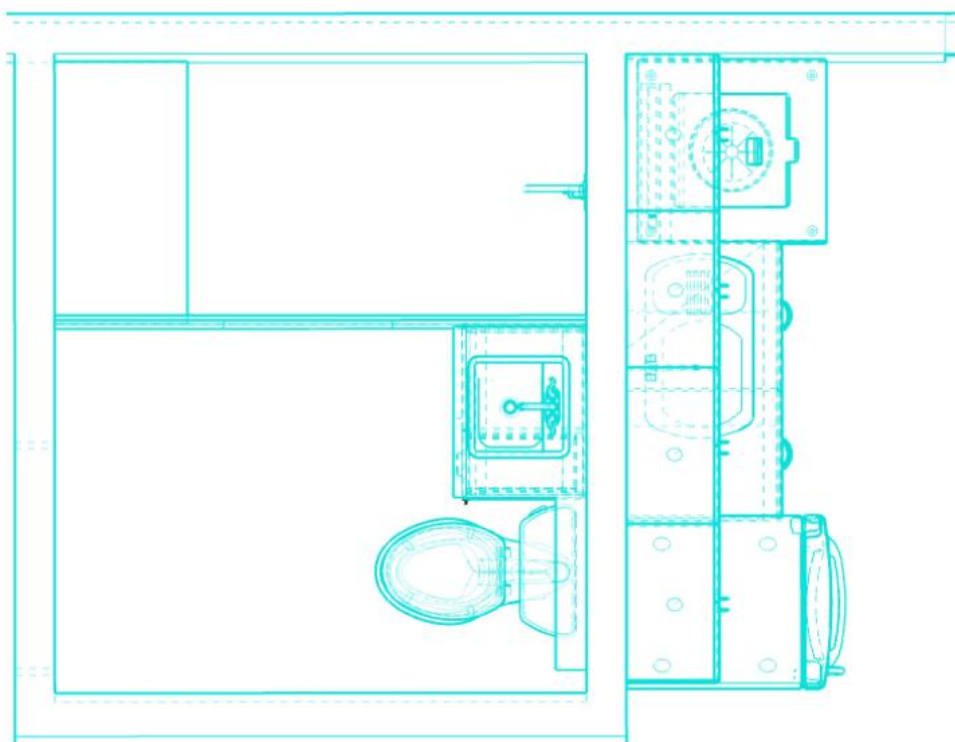
Por se tratar da primeira habitação modelo impressa em 3D pela startup com o objetivo de servir como base para estudos, testes do equipamento e da matéria prima e para alavancar propostas de investimento na tecnologia, a edificação não foi submetida à etapa de acabamentos.

4.2.3 Execução de Projetos Complementares

A empresa preocupou-se em otimizar o processo de execução das instalações elétricas e hidráulicas. Para isso, utilizou apenas uma das paredes da edificação para as instalações hidráulicas, fazendo uso de *shafts* modulares; e, quanto à elétrica, optou por manter os eletrodutos de forma aparente, podendo, posteriormente, serem inibidos conforme definição de acabamentos.

O sistema hidráulico foi projetado na parede entre o banheiro e a cozinha, contemplando em módulos as instalações das áreas molhadas da edificação. A solução adotada favoreceu para reduzir o tempo de construção da edificação.

Figura 20 - Shaft planejado para parede hidráulica



Fonte: Martinelli (2021, pg. 47).

Os *shafts* planejados ou modulares atuam como uma espécie de revestimento, tanto para instalações hidrossanitárias, quanto para instalações elétricas. O produto pode ser fabricado com diferentes materiais, como cimento, EPS ou gesso, e pode receber revestimentos posteriores, como massa corrida ou cerâmica, dependendo do tipo de material escolhido para o *shaft* (THÓRUS, 2020).

A InovaHouse3D optou por essa solução pelo fato das instalações do *shaft* modular permitirem ser executadas após a finalização das paredes, não interferindo no processo de

impressão da estrutura. Nesse formato, não houve necessidade de introduzir as tubulações nas paredes e nem de abrir canaletas após a estrutura já estar impressa.

Visto que, para o projeto em referência, não foram executadas de fato as instalações complementares, a figura e imagem a seguir apresentam modelos de *shafts* modulares comercializados e fabricados no mercado, os quais se enquadram no projeto executado pela empresa.

Figura 21 – Exemplo de módulo de parede hidráulica sugerido para a edificação



Fonte: Smartpods ([2022?]).

Fotografia 32 - Exemplo do processo de instalação de um *shaft* modular



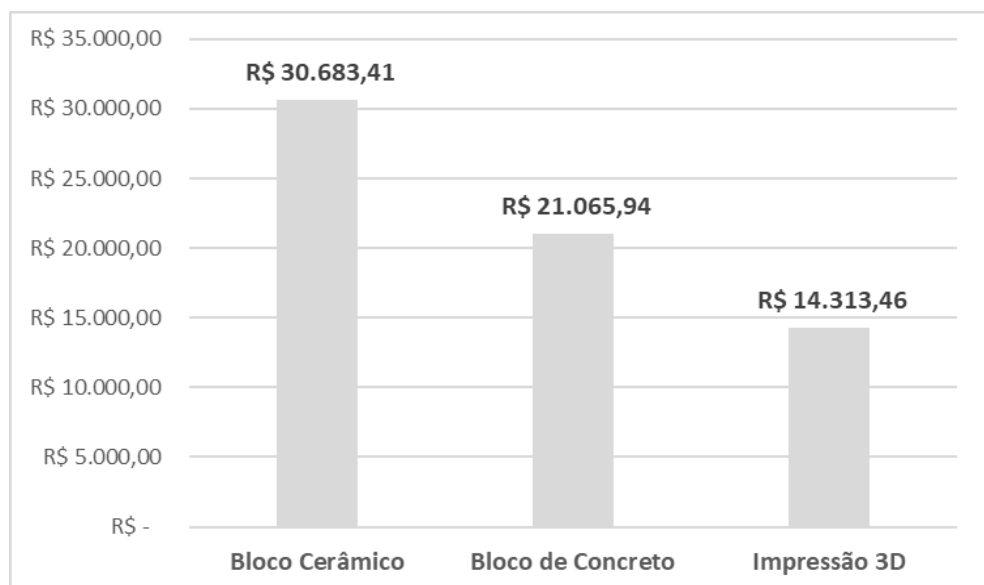
Fonte: Thórus (2020).

4.2.4 Investimento Financeiro

Por questões confidenciais de sigilo frente à concorrência de mercado, não foram disponibilizados pela empresa materiais detalhados quanto aos custos financeiros investidos para fabricação do equipamento ou da edificação. Entretanto, para uma possível análise superficial sobre este critério, a empresa divulgou valores comparativos de orçamentos calculados para a execução da etapa estrutural de paredes da edificação em três métodos construtivos: impressão 3D, bloco cerâmico e bloco de concreto.

O gráfico a seguir apresenta os valores obtidos em reais, baseados na tabela SINAPI, para a etapa estrutural de paredes executada pelas três metodologias, considerando as especificações da edificação de Macaíba.

Gráfico 1 – Orçamento comparativo da etapa estrutural de paredes



Fonte: Elaborado pela autora, com base em Martinelli (2020, pg. 51).

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentadas as análises das construções objetos de estudo de caso desta pesquisa e de cada um dos critérios definidos para investigação. De forma comparativa, seja entre os projetos estudados ou entre os métodos de construção civil, foram elaboradas considerações visando identificar os diferentes cenários da aplicação da impressão 3D na construção civil.

Assim, para melhor entendimento e aprofundamento sobre às técnicas utilizadas para construção de edificações por meio da tecnologia, foram definidos para análise qualitativa e comparativa os seguintes critérios:

1. Entre os projetos:
 - 1.1. Processo construtivo;
 - 1.2. Equipamento;
 - 1.3. Fundação;
 - 1.4. Esquadrias;
 - 1.5. Instalações elétricas e hidráulicas
2. Entre os métodos construtivos:
 - 2.1. Processo de execução das instalações elétricas e hidráulicas;
 - 2.2. Especificações do equipamento;
 - 2.3. Prazos de construção.

5.1 Análise Comparativa entre os Projetos

A partir da caracterização dos projetos das empresas Be More 3D e InovaHouse3D e da descrição de cada um dos métodos construtivos adotados é possível identificar que os processos se assemelham em diversos quesitos.

Ambas as empresas trazem como ponto de partida objetivos relacionados à otimização do processo de construção civil como justificativa para o fomento da tecnologia de impressão 3D no setor. Os principais ganhos argumentados citam redução de tempo, aumento de produtividade e gestão de resíduos. Tais critérios que possam representar vantagens ou desvantagens sobre a tecnologia serão discutidos no próximo capítulo.

5.1.1 Processo Construtivo

No que tange ao comparativo entre os processos de construção, ambos projetos analisados atuaram com a mesma tecnologia, o *Concrete Printing*, que opera mediante a deposição de concreto por camadas até a completa formação da estrutura. Outro ponto de semelhança é a fabricação das edificações in loco e na modalidade monobloco, optando pelo transporte da impressora até o local de implantação, ao invés de seguir com a impressão em fábrica por elementos fragmentados e somente realizar a instalação no canteiro de obras.

Conforme observado nas edificações apresentadas como exemplo no referencial teórico, é possível analisar que a tecnologia de impressão 3D abrange a modalidade de impressão em fábrica de componentes da edificação, ou da própria estrutura como um todo, para posterior transporte até o canteiro de obras, como foi o caso da segunda residência apresentada no item 2.3.2.1 Estados Unidos.

Essa versatilidade construtiva, que permite a construção de forma híbrida, no local ou em fábrica, contribui de forma positiva para a ascensão da tecnologia, uma vez que oferece um diferencial frente ao método tradicional de construção.

5.1.2 Equipamento

Os equipamentos desenvolvidos pelas startups e utilizados nos projetos possuem tamanhos distintos, porém, aproximados, o que determina que as edificações impressas por ambas as impressoras apresentam comprimentos semelhantes, visto que o tamanho do equipamento implica diretamente como um limitador para o dimensionamento do comprimento do projeto.

Ainda que a empresa Be More 3D não tenha disponibilizado as cotas da habitação executada, entende-se que a dimensão do comprimento seja aproximada ao projeto da empresa InovaHouse3D seguindo como princípio o comprimento do equipamento. O quadro a seguir apresenta um comparativo quanto às dimensões dos maquinários estudados.

Quadro 6 - Comparativo entre as dimensões dos equipamentos

DIMENSÃO	UN	BE MORE 3D	INOVAHOUSE3D
Comprimento “x”	(m)	13,5	12,0
Largura “y”	(m)	2,5	3,0
Altura “z”	(m)	5,7	7,6

Fonte: Elaborado pela autora.

5.1.3 Elementos Estruturais

No que diz respeito aos elementos estruturais das edificações, para execução das paredes da residência da empresa Be More 3D, foi adotada a deposição de material em camadas maciças de concreto, sem necessidade de reforço interno na estrutura das paredes, conforme observado na Fotografia 21.

Já na residência da empresa InovaHouse3D, para substituir o sistema convencional viga-pilar, foram impressos pelo equipamento e de forma segmentada, considerando um espaçamento previsto no modelo digital, elementos de concreto que atuaram como pilares para a estrutura. A análise foi feita com base na perspectiva visualizada na Fotografia 31.

Como modelo de fundação, as duas empresas abordadas optaram pelo tipo radier devido à maior facilidade e menor tempo de execução. O modelo adotado também favoreceu as questões de instalação, nivelamento ao solo e movimentação da impressora no canteiro de obras.

Vale ressaltar que essa etapa foi conduzida pelo método construtivo tradicional em ambos os projetos, portanto, não se inclui no tempo de impressão compilados para cada uma das obras.

5.1.4 Esquadrias

O método utilizado durante a impressão das residências para atender aos vãos das portas e janelas foi semelhante. As construtoras optaram por instalar caixarias nos limites dos vãos seguidos de vergalhões de aço para atuarem como vergas e contra vergas na distribuição de cargas.

O diferencial dessa etapa entre os projetos é que a Be More 3D fabricou os elementos in loco, utilizando a própria impressora para confecção das vergas e contra

vergas, enquanto a InovaHouse3D trabalhou com peças pré-fabricadas a fim de otimizar o tempo de produção.

5.1.5 Instalações Elétricas e Hidráulicas

Em relação às instalações elétricas e hidráulicas, em ambas as edificações as tubulações ficaram aparentes e não houve furação na estrutura impressa. A residência fabricada pela InovaHouse3D não investiu no encobrimento das peças, visto que se tratou de uma execução modelo. Já a residência africana, impressa pela Be More 3D, foi submetida à etapa de acabamentos, onde todos os eletrodutos e tubulações foram ocultados pelo revestimento interno, finalizando a execução com parede dupla, ou seja, estrutural mais revestimento.

Comparando com as técnicas abordadas no referencial teórico, observa-se que as empresas poderiam ter feito uso das instalações embutidas na parede estrutural impressa, mediante a utilização da técnica *Contour Crafting*, abordado no item 2.3.1.1 do referencial teórico. Essa técnica prevê a construção de vazios na estrutura, capazes de atenderem aos projetos complementares.

O quadro a seguir apresenta um resumo das principais características de cada uma das edificações apresentadas.

Quadro 7 - Comparativo entre as edificações

CRITÉRIO	BE MORE 3D	INOVAHOUSE3D
Localização	Marrocos	Brasil
Ano de execução	2019	2020
Método construtivo	Deposição por camadas	Deposição por camadas
	In loco	In loco
Instalações	Revestidas	Aparentes
Matéria prima	Concreto	Concreto
Área construída	32 m ²	66 m ²
Prazo de construção	12 horas	48 horas
É habitada?	Sim	Não

Fonte: Elaborado pela autora.

De forma geral, os projetos possuem mais similaridades do que distinções, uma vez que se basearam no mesmo método construtivo. Por meio da análise dos processos descritos e das imagens que representam o nível de detalhamento dos

empreendimentos, nota-se que a construção da empresa Be More 3D encontra-se em um grau de aperfeiçoamento mais elevado do que a da empresa InovaHouse3D em relação à tecnologia, fato este que pode ser justificativo pela aplicação da impressão 3D no exterior estar em maior ascensão do que no Brasil, até o momento.

5.2 Análise Comparativa entre os Processos Construtivos

Compreendendo-se que o processo de construção civil tradicional já é de conhecimento geral, foram definidos alguns critérios nesta pesquisa para análise comparativa frente ao método de fabricação utilizado com a impressão 3D. Para definição destes critérios, levou-se em consideração as etapas do processo que puderam ser mais bem detalhadas com base na coleta de dados realizada. Demais etapas e elementos do processo construtivo não apresentaram informações satisfatórias para análise no material coletado.

5.2.1 Instalações Elétricas e Hidráulicas

A partir do embasamento teórico e do estudo dos casos apresentados, o processo de execução das instalações elétricas e hidráulicas em uma edificação fabricada por impressão 3D foi uma das etapas que demonstrou maior necessidade de aperfeiçoamento.

Observou-se que, em ambas as empresas objetos de estudo desta pesquisa, não houve intenção em combinar o processo de execução dos complementares com o processo de impressão. As instalações foram executadas de forma segmentada, sem fazer uso da estrutura impressa para passagens dos componentes. Entretanto, conforme abordado no referencial teórico, item 2.3, uma das técnicas de impressão 3D, a *Contour Crafting*, permite que todos os espaços predefinidos para passagens de eletrodutos e tubulações sejam construídos durante a própria impressão, possibilitando que as instalações ocorram diretamente nas paredes impressas. Essa metodologia agrega ainda mais valor à tecnologia, pois, além de favorecer o layout visual da edificação, evitando instalações aparentes, compatibiliza o projeto e o torna unificado entre suas etapas.

A análise dessa questão sugere que a etapa das instalações complementares ainda necessite de um maior investimento para execução de forma simultânea à

impressão e, também, maior aperfeiçoamento durante as configurações do equipamento, visto que, uma pequena amostra de projetos traz esse método como alternativa. Manter as instalações de forma aparente e trabalhar com revestimentos internos nas paredes é o método mais utilizado nas construções abordadas nesta pesquisa e encontrado na literatura.

5.2.2 Especificações do Equipamento

Dentre os critérios apresentados, o que implica diretamente na viabilidade da utilização da impressão 3D na construção civil está relacionado com as especificações do equipamento. Conforme abordado anteriormente, cada impressora fabricada possui características particulares que podem variar entre si e interferir na construção da edificação.

O primeiro parâmetro se refere às dimensões do equipamento, visto que as impressoras possuem larguras, alturas e comprimentos variados. Os modelos estudados, assim como diversos encontrados na literatura, possuem alcances limitados nos eixos “x” e “z”, ou seja, no comprimento e na altura da edificação, devendo estes ser inferiores às dimensões da impressora utilizada. No eixo “y”, entretanto, o alcance do equipamento é ilimitado, visto que a impressão é executada de acordo com a movimentação da máquina, para frente e para trás, não tendo relação com a dimensão da sua própria largura, apenas respeitando as limitações do terreno.

Esse fator acaba provocando limitações do uso da tecnologia para construções monobloco, ou seja, aquelas executadas inteiramente in loco, visto que, as obras deverão sempre ser projetadas considerando o tamanho do equipamento. Um exemplo abordado foi o projeto da InovaHouse3D que necessitou adaptar-se ao comprimento máximo de 6 metros. Para desenvolver um projeto maior, que ultrapassasse as dimensões da impressora, haveria necessidade de realocação no canteiro de obras, ou ainda, de investimento para reformulação das dimensões do equipamento.

Outro parâmetro de grande relevância está relacionado ao transporte e movimentação de maquinário. Por se tratar de um equipamento de peso e tamanho consideráveis, a logística e instalação dele no canteiro de obras torna-se um critério relevante ao compararmos a tecnologia com o processo tradicional, o qual não dispõe dessa preocupação. Nesse sentido, a opção de construção em fábrica, considerando

a viabilidade de acordo com cada projeto, elimina o inconveniente com deslocamentos.

No exemplo abordado, a empresa Be More 3D garante nas especificações da sua impressora que ela pode ser montada por apenas 3 operadores em até 4 horas. No entanto, a máquina possui um peso de cerca de 2.500 kg, o que não facilita o processo de logística, necessitando dispor de guindastes ou similares para transportar o equipamento até o local de implantação e, até mesmo, para possíveis movimentações necessárias no canteiro de obras.

Nesse contexto, a construção de projetos híbridos, nos quais a impressão 3D atua na fabricação de elementos estruturais e de maior complexidade geométrica oferece maiores condições de aplicação. Os componentes seguiriam sendo produzidos na fábrica e transportados até o terreno para execução, acelerando o processo, comparado ao método tradicional.

5.2.3 Prazos de Construção

O critério de análise comparativa entre os prazos de construções executadas pelo método tradicional e por impressão 3D é o que apresenta maior discrepância de resultados. Para uma análise mais bem aprimorada, o quadro a seguir apresenta valores estimados, extraídos da literatura, para a execução de uma edificação em três diferentes métodos construtivos.

Os prazos de execução apresentados utilizam como base a construção de uma edificação com área construída de 73,32 m² e área de paredes de 135,5 m² (LESKE, 2020).

Quadro 8 - Prazo de construção por métodos construtivos tradicionais

MÉTODO CONSTRUTIVO	TEMPO DE EXECUÇÃO
Alvenaria de vedação	178,5 horas
Alvenaria estrutural	137,2 horas
Light steel frame	119,5 horas

Fonte: Elaborado pela autora, com base em Leske (2020, pg. 52).

Já o quadro abaixo foi elaborado com base nos valores obtidos nos projetos apresentados como objetos de estudo de caso.

Quadro 9 - Prazo de execução por método construtivo por impressão 3D

EMPRESA	ÁREA CONSTRUÍDA	TEMPO DE EXECUÇÃO
Be More 3D	32 m ²	12 horas
InovaHouse3D	66 m ²	48 horas

Fonte: Elaborado pela autora.

Realizando o cálculo da área construída pelo tempo de execução de cada uma das edificações, foi possível obter o valor de produtividade atingido em cada método construtivo adotado.

Salienta-se que os valores calculados abaixo contemplam o tempo de execução da estrutura das paredes, não incluindo nenhum tipo de acabamento.

Quadro 10 - Produtividade por método construtivo

MÉTODO CONSTRUTIVO		ÁREA CONSTRUÍDA (m ²)	TEMPO DE EXECUÇÃO (h)	PRODUTIVIDADE (m ² /h)
Impressão 3D	Be More 3D	32	12	2,67
	InovaHouse3D	66	48	1,38
Light steel frame		135,5	119,5	1,13
Alvenaria estrutural			137,2	0,99
Alvenaria de vedação			178,5	0,76

Fonte: Elaborado pela autora.

Dessa forma, torna-se possível concluir a análise comparativa referente aos prazos de execução entre os métodos tradicionais já conhecidos e o método tecnológico de fabricação por impressa 3D em concreto.

5.3 Aspectos Positivos e Negativos da Impressão 3D na Construção Civil

Os tópicos a seguir irão apresentar as vantagens e as desvantagens identificadas no processo de construção civil por impressão 3D, a partir da análise bibliográfica e das edificações construídas com uso da tecnologia que foram objeto de estudo de caso desta pesquisa.

5.3.1 Aspectos Positivos

Um dos grandes desafios enfrentados na maioria dos ramos de atividade está relacionado com a otimização do tempo. No segmento da construção civil esse fator

é ainda intensificado, uma vez que investir na gestão, planejamento e qualificação de pessoal nas obras não é um hábito costumeiro, o que implica diretamente no cumprimento de prazos e cronogramas de obras.

Nesse sentido, um dos principais aspectos positivos identificados a partir da análise do uso da tecnologia está na redução acentuada do tempo de construção comparado ao método de construção tradicional. Além do fato dessa questão suprir o problema relacionado à entrega de obras dentro dos prazos estipulados, a tecnologia oferece um conjunto de possibilidades para a fabricação de edificações em massa. Esse benefício pode vir a ser utilizado, por exemplo, para atender às necessidades governamentais de construção de habitações sociais, uma vez que esse tipo de demanda necessita de agilidade e efetividade no processo construtivo.

O uso da impressão 3D na construção de edificações também favorece no aspecto de produtividade. Na análise dos critérios apresentados, foi destacado um comparativo entre o resultado de produtividade atingido em uma obra construída por impressão 3D e por outros métodos construtivos utilizando alvenaria tradicional. Os valores obtidos com a metodologia de impressão 3D mostram resultados superiores, o que também agrega como princípio para investir na qualificação e profissionalização da mão de obra no setor, agregando equipes de trabalho instruídas para atuar com a tecnologia.

Considerando o aspecto técnico das edificações, outro panorama benéfico diz respeito à precisão de construção dos elementos, capaz de imprimir layouts personalizados com design arrojado ou de geometria complexa. Uma das edificações estudadas, por exemplo, possui parede circular, o que não interferiu no processo de impressão, mas que demandaria mais tempo de execução pelo método tradicional.

A tecnologia também permite a impressão de shafts planejados para encobrimento de instalações elétricas e hidráulicas, beneficiando e agregando valor no âmbito arquitetônico do projeto. Nesse ponto de análise da técnica construtiva, salienta-se a possibilidade da impressão em fábrica dos elementos da edificação, permitindo trabalhar com uma obra híbrida e, não somente, na modalidade monobloco, in situ, contribuindo também com maior agilidade para a construção como um todo.

Ainda que o delineamento desta metodologia tenha sido direcionado para edificações construídas em concreto, vale ressaltar que a tecnologia também permite a utilização de outros materiais como matéria prima, conforme foi apresentado para a

edificação construída em argila, descrita no item 2.3.2.1. Na construção civil, tal circunstância torna-se interessante, pois permite que novos compostos com propriedades cimentícias podem vir a ser desenvolvidos, ou incorporação de misturas aditivas, por exemplo, agregando novas propriedades à matéria prima de impressão e infinitas possibilidades de uso.

De forma não abrangente, visto que não se trata de objeto de aperfeiçoamento desta pesquisa, mas que vale ser citado como uma das vantagens da tecnologia, é a redução do custo da construção. Conforme abordado no estudo de caso da edificação fabricada pela startup InovaHouse3d, há uma diminuição significativa nos recursos financeiros investidos na construção por impressão 3D em relação à construção por bloco cerâmico ou de concreto. Salienta-se que o comparativo de custos realizado para este critério se refere, especificamente, à construção da estrutura de pares.

Em síntese, os aspectos positivos gerais identificados a partir da análise de resultados referente à aplicação da tecnologia de impressão 3D no setor da construção civil podem ser listados conforme segue:

- Redução e otimização do tempo de construção;
- Otimização da produtividade;
- Oportunidade para profissionalização da mão de obra;
- Versatilidade para trabalhar com construções híbridas;
- Automatização do processo, promovendo maior precisão na técnica construtiva e diminuição de erros de execução;
- Facilidade para fabricação de elementos complexos e liberdade para layouts personalizados;
- Variabilidade de matéria prima;
- Redução do custo da construção.

5.3.2 Aspectos Negativos

Toda tecnologia inserida no mercado gera dúvidas, curiosidades e preocupações para aqueles que atuam diretamente com o processo em que a ela será utilizada. A aplicação da impressão 3D na construção civil, ainda que recente, principalmente no Brasil, já apresenta aspectos negativos ou de necessidade de melhorias que possam contribuir para o seu aperfeiçoamento.

O primeiro e principal parâmetro de desvantagem identificado, após análise dos processos construtivos descritos, diz respeito à movimentação e logística do equipamento. Conforme foi apresentado, as impressoras 3D possuem dimensões e pesos consideráveis, o que exige maior planejamento para o deslocamento do maquinário entre fábrica e canteiro de obras, havendo a necessidade de dispor de transporte, tempo e equipes disponíveis para a montagem e configuração da impressora nas construções executadas in loco.

Ainda no quesito relacionado ao equipamento, também é considerada como desvantagem a questão do limitador técnico que o método construtivo apresenta quando exige que as cotas do projeto estejam enquadradas às dimensões da impressora. Esse critério, analisando à longo prazo e num cenário em que a tecnologia esteja expandida na construção civil, ou seja, atuando em obras de pequeno à grande porte, certamente necessitará ser reavaliado. Alternativas identificadas para esse quesito seriam a possibilidade de mais de uma impressora atuarem de forma simultânea durante a impressão, a movimentação da impressora ao longo do canteiro de obras, ou ainda, a adoção da técnica híbrida para obras que se enquadrem ao processo.

No que tange aos aspectos de qualificação profissional, o fato da impressão 3D exigir conhecimentos técnicos específicos, extremamente distintos daqueles necessários para construir pelo método tradicional, contribui de forma negativa para a aplicação da tecnologia no setor. Com a utilização da impressão 3D, assim como surgem oportunidades para qualificar os profissionais, também surgem hesitações quanto à necessidade de investimento financeiro para isso. Investir em uma tecnologia recente que exige capital tanto pra aquisição de componentes, quanto para capacitação de mão de obra, é uma questão que gera de incertezas.

Seguindo a análise do aspecto financeiro, ainda que os estudos apresentem dados satisfatórios quanto à redução de custos da construção por meio da impressão 3D, ainda há grandes incertezas quanto aos valores necessários de investimento para uso da tecnologia. Por questões de confidencialidade, ainda não há resultados comprovados que divulguem o investimento inicial para fabricação ou aquisição de uma impressora 3D. Esse aspecto colabora de forma negativa para a tecnologia, ampliando a insegurança dos prováveis usuários e adiando a sua consolidação.

Em síntese, os aspectos negativos gerais identificados a partir da análise de resultados referente à aplicação da tecnologia de impressão 3D no setor da construção civil podem ser listados conforme segue:

- Logística do equipamento;
- Dimensões limitadas de impressão;
- Alta exigência de conhecimento técnico;
- Necessidade de investimento em profissionalização e em softwares específicos;
- Incertezas quanto ao investimento, possivelmente alto, para utilizar a tecnologia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho objetivou, por meio da metodologia de pesquisa descritiva exploratória combinada à estudo de caso, descrever o processo construtivo por impressão 3D em concreto e os aspectos técnicos relacionados à aplicação da tecnologia no segmento da construção civil. Para isso, foram apresentados os detalhamentos das técnicas construtivas utilizadas nas edificações fabricadas pelas empresas Be More 3D e InovaHouse3D, ambas abordadas como objeto de estudo.

Preliminar ao estudo de caso, com base na pesquisa bibliográfica exploratória, foi possível definir a tecnologia de impressão 3D como uma técnica de manufatura aditiva oriunda da indústria 4.0. A tecnologia, que recebeu diferentes nomenclaturas ao longo dos anos, foi conceituada como o método capaz de fabricar estruturas de forma automatizada com base em um modelo digital.

A pesquisa proporcionou o levantamento de informações teóricas a respeito da tecnologia e a forma como ela vem sendo aplicada na construção civil. Como exemplos de métodos construtivos por impressão 3D, foram apresentados aqueles com maior representatividade na construção civil, sendo eles o *Contour Crafting* e o *Concrete Printing*, informação baseada no material estudado. A partir da escolha dos métodos de construção por impressão 3D, quatro modelos de edificações construídas na Itália, Holanda e Estados Unidos, foram apresentadas.

Baseado no estudo dessas edificações, observou-se que existe a possibilidade de construção por impressão 3D utilizando diferentes materiais como matéria prima. Dentre as edificações apresentadas, identificou-se o uso de concreto e argila como insumo para a impressora, informação relevante para a elaboração da discussão dos aspectos positivos da tecnologia.

Subsequente à revisão da literatura, partiu-se para a abordagem das empresas escolhidas como objeto de estudo e para a coleta de materiais referentes aos projetos executados por impressão 3D em concreto. A partir da descrição dos processos executados pelas startups, foram admitidos critérios de análise embasados nos materiais disponibilizados para consulta. Tais critérios permitiram relacionar de forma comparativa as técnicas adotadas por cada uma das empresas e os métodos de fabricação tradicional e por impressão 3D para algumas das etapas da construção.

Os critérios analisados e comparados entre as edificações objetos de estudo se referiram ao processo construtivo adotado, ao tipo de equipamento, aos elementos estruturais, ao método de execução dos vãos das esquadrias e, ao método de execução das instalações elétricas e hidráulicas. Já os critérios analisados e comparados entre os métodos construtivos tradicional e por impressão 3D se referiram às técnicas utilizadas para instalações elétricas e hidráulicas; questões relacionadas ao tipo de equipamento utilizado para impressão e; prazo de execução da estrutura de paredes.

Na análise comparativa realizada entre a edificação da empresa Be More 3D e a edificação da empresa InovaHouse3D foi constatado que ambas adotaram o mesmo método de deposição de concreto por camadas para fabricar as residências, a tecnologia *Concrete Printing*. Embora que a empresa Be More 3D tenha disponibilizado maior detalhamento acerca do seu projeto, em diversos parâmetros analisados, como especificações do equipamento, dimensões do projeto, técnicas utilizadas e execução de complementares, foi identificada similaridade entre os estudos.

Em cada critério analisado foi possível constatar que, dentre as técnicas de impressão 3D utilizadas, algumas são mais vantajosas do que outras, pois permitem simultaneidade entre as etapas de execução. Nesse âmbito e partindo para uma conclusão macro, fica evidenciado, na análise comparativa da técnica de impressão 3D com o método de fabricação tradicional, que a tecnologia oferece grandes ganhos para a indústria da construção civil, relacionados à custos, tempo e produtividade, proporcionando forte potencial para o sistema construtivo.

Para as lacunas de conhecimento ou para confirmação das premissas apresentadas neste estudo, cabe ao direcionamento dado por meio da metodologia servir como insumo para novas pesquisas, com delimitações aqui sugeridas:

- Estudo comparativo sobre a gestão de resíduos de edificações impressas em 3D e construídas pelo método tradicional;
- Estudo orçamentário comparativo entre edificações impressas em 3D e construídas pelo método tradicional;
- Análise de viabilidade econômica para construção de habitações sociais por impressão 3D;
- Ensaio para avaliação da resistência e composição do material;

- Avaliação do visual arquitetônico de edificações construídas por impressão 3D.

REFERÊNCIAS

- ALL 3DP. **Casa impressa em 3D: 20 projetos mais importantes**. 2022. Disponível em: <https://all3dp.com/2/3d-printed-house-3d-printed-building/>. Acesso em: 31 mai. 2022.
- ARCHITONIC. **PROJETO DE PASSIVDOM RENO, ESTADOS UNIDOS**. 2022. Disponível em: <https://www.architonic.com/en/project/passivdom-dom-ai/5106192>. Acesso em: 31 mai. 2022.
- BAHRIN, M. A. Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic. **Jurnal Teknologi**, p. 137-143, 28 jun. 2016.
- BE MORE 3D. **Be More 3D Sector servicios de Ingeniería y Arquitectura**. 2022. Disponível em: <https://startupv.webs.upv.es/portfolio-item/be-more-3d/>. Acesso em: 31 mai. 2022.
- BE MORE 3D. **Proyecto impresión 3D con hormigón de una vivienda**. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LLZZfB6cdYU>. Acesso em: 31 mai. 2022.
- BE MORE 3D. **BE MORE**. Disponível em: <https://startupv.webs.upv.es/portfolio-item/be-more-3d/>. Acesso em: 31 mai. 2022.
- BOS, F., WOLFS, R., AHMED, Z. E SALET, T. (2016). **Fabricação aditiva de concreto na construção: potenciais e desafios da impressão 3D de concreto**. *Prototipagem Virtual e Física*, 11(3), 209-225.
- CORTELA, Mario Sergio. **[Frases e pensamentos]**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.pensador.com/frase/MjAyMTg3MQ/>. Acesso em: 08 abr. 2020.
- COTTELLER, M. J. 3D opportunity: Additive manufacturing paths to performance, innovation, and growth. **Google Acadêmico**, 01 out. 2014.
- CUNICO, M. W. M. **Impressora 3D: o novo meio produtivo**. Curitiba: **Concep3D Pesquisas Científicas Ltda**, 2015.
- DELOITTE. Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. **ACADEMIA**, Zuriq, 2015.
- FROLLINI, C. B. **O que são Verga e Contra Verga e para que servem?** 2016. Disponível em: <https://blogdaliga.com.br/o-que-sao-verga-e-contra-verga/>. Acesso em: 31 mai. 2022.
- GIBSON, DAVID W. ROSEN, BRENT STUCKER. **Tecnologias de Manufatura Aditiva**. Springer; 2nd ed. 2010.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2018.

ICHI, O. **Enabling and measuring innovation in the construction industry.** Construction Management and Economics, v. 29, p. 553-567, 2010.

INOVAHOUSE3D. **Imprimindo o futuro.** 2022. Disponível em: <https://www.inovahouse3d.com.br/>. Acesso em: 31 mai. 2022.

JORDÃO, Renata. *In: DECORSTYLE. Casal holandês se muda para a primeira casa totalmente impressa em 3D na Europa.* [2022?]. Disponível em: <https://decorstyle.ig.com.br/casal-holandese-se-muda-para-a-primeira-casa-totalmente-impressa-em-3d-da-europa/>. Acesso em: 02 jun. 2022.

KARASINSKI, V. **Como funciona uma impressora 3D,** TECMUNDO, 2013.

KHOSHNEVIS, B. **Contour Crafting: Automated Construction: Behrokh Khoshnevis at TEDxOjai,** 2012.

KHOSHNEVIS, B., ZHANG, J. **Construção Extraterrestre Usando Contorno Construindo,** 2012.

KHOSHNEVIS, B. Offering Automated Construction of Various Types of Structures. Disponível em: <http://contourcrafting.com/building-construction/>. Acesso em: 02 jun. 2022.

KUMAR, K. **Da Sociedade Pós-Industrial à Pós-Moderna.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997.

LEMOS, A. **Revolução 4.0.** São Paulo: Editora Scortecci, 2018.

LESKE, C. T. **ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO E TEMPO DE EXECUÇÃO ENTRE OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS: ALVENARIA DE VEDAÇÃO CONVENCIONAL, ALVENARIA ESTRUTURAL E LIGHT STEEL FRAME NA ETAPA DE VEDAÇÕES DE UMA OBRA RESIDENCIAL.** Projeto de pesquisa apresentado como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2020.

LIM, S.; BUSWELL, R.; LE, T. Developments in construction-scale additive manufacturing processes. **Automation in Construction,** v. 21, p. 262-268, 2012.

MARTINS, P. H. C. **ESTUDO SOBRE A RELAÇÃO DE CONSCIENTIZAÇÃO DO USO DE EPI'S E O NÚMERO DE ACIDENTES NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Artigo apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil da UniCesumar – Centro Universitário de Maringá – como requisito parcial para a obtenção do título de bacharelem Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Me. Claudio de Souza Rodrigues. MARINGÁ, PR. 2017

MARTINELLI, Juliana de Almeida. **As tecnologias de impressão 3D mais utilizadas: FFF, SLA e SLS.** 2019. Disponível em: <https://www.inovahouse3d.com.br/post/blog-tecnologias-de-impressao-3d>. Acesso em: 31 maio. 2022.

MARTINELLI, Juliana de Almeida. **ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES SOCIAIS E SUSTENTÁVEIS EM PARCERIA COM A INOVAHOUSE3D.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS, Brasília, 2021.

MARTINELLI, Juliana de Almeida. **Brasil constrói sua primeira casa modelo impressa em 3D!** 2020. Disponível em: <https://www.inovahouse3d.com.br/post/brasil-constr%C3%B3i-sua-primeira-casa-modelo-impressa-em-3d>. Acesso em: 31 mai. 2022.

MERTENS, R. S. K. **Como elaborar projetos de pesquisa:** Linguagem e método. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2015.

MIGHTY BUILDINGS. **Fully Printed 350 sq ft Studio in Less than 24 hours by Mighty Buildings.** 5 agosto 2020. 1 vídeo (1 min 11 s). Publicado pelo canal Mighty Buildings. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xQhuzC7rHwk>. Acesso em: 2 jun. 2022.

MIGHTY BUILDINGS. **Livermore Project STUDIO.** In: MIGHTY BUILDINGS. Estados Unidos, 2020. Disponível em: <https://mightybuildings.com/projects/studio-livermore>. Acesso em 02 jun. 2022.

MIYASAKA, E. L. **Proposta para curso de especialização em gestão de projetos BIM na construção civil.** Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído - ANTAC. 2018.

PORTUGAL, M. A. **Como Gerenciar Projetos de Construção Civil.** Rio de Janeiro: Brasport, 2017.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. **Metodologia do Trabalho Científico:** Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.

RISSUTO, A. **O Virtualismo.** Joinville: Clube de Autores, 2019.

SACOMANO, J. B. **Indústria 4.0:** conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher, 2018.

SANTOS, S. **Introdução à Indústria 4.0:** Saiba tudo sobre a REVOLUÇÃO DAS MAQUINAS. [S.l.]: ssinvestimentos, 2018.

SANTOS, A. **Projeto no RN constrói 1ª casa do Brasil com impressora 3D.** 2020. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/projeto-no-rn-constrói-1a-casa-do-brasil-com-impressora-3d/>. Acesso em: 31 mai. 2022.

SINCLAIR, B. **Kit Indústria 4.0**. São Paulo: Autêntica Business, 2020.

SOUZA, E. **Liberdade formal e customização em massa: desafios técnicos da impressão 3d**. 2022.

SMARTPODS. Módulo Parede Hidráulica. 2022. Disponível em: <https://www.smartpods.com.br/produtos/modulo-parede-hidraulica>. Acesso em: 31 mai. 2022.

CNBC TELEVISION. Here's what the first 3D-printed home for sale looks like. 25 fevereiro 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=bj8kZ3lIS5E&t=7s>. Acesso em: 02 jun. 2022.

PALUMBO, Jacqui. Is this 3D-printed home made of clay the future of housing?. *In*: CNN. 12 abril 2021. Disponível em: https://edition.cnn.com/style/article/tecla-3d-printed-house-clay/index.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+rss%2F+cnn_latest+%28RSS%3A+CNN+-+Most+Recent%29. Acesso em: 02 jun. 2022.

SQ4D. **Primeira casa impressa em 3D à venda**. 2022. Disponível em: <https://www.sq4d.com/first-3d-printed-house/>. Acesso em: 31 mai. 2022.

SUSTENTARQUI. **Primeira casa impressa em 3D no Brasil fica no Nordeste**. 2020. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/primeira-casa-impressa-em-3d-no-brasil-fica-no-nordeste/>. Acesso em: 31 mai. 2022.

THÓRUS 10. Shaft Modular: O que é? Como instalar? Quanto custa? Disponível em: <https://thorusengenharia.com.br/shaft-modular/>. Acesso em: 31 mai. 2022.

VOLPATO, N. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2018.

WOLFS, R.; SALET, T.; HENDRIKS, B. 3D Printing of Sustainable Concrete Structures. **Proceedings of IASS Annual Symposia**, 20 ago. 2015.