

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Uso da impressão 3D na produção de unidades
habitacionais de baixa renda.**

Vitor Lucena Queiroga

2019



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Uso da impressão 3D na produção de unidades habitacionais de baixa renda.

Vitor Lucena Queiroga

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Rio de Janeiro

MARÇO / 2019

Uso da impressão 3D na produção de unidades habitacionais
de baixa renda.

Vitor Lucena Queiroga

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

Prof. Jorge dos Santos (Orientador)

Prof^a. Vivian Karla Castelo Branco Louback Machado

Balthar

Prof. Oscar A. Mendoza

Prof. Wilson Wanderley da Silva

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO de 2019

Queiroga, Vitor Lucena

Uso da impressão 3D na produção de unidades habitacionais de baixa renda. / Vitor Lucena Queiroga – Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2018.

VII, 112 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jorge dos Santos

Projeto de Graduação – UFRJ/POLI/Curso de Engenharia Civil, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 62

Agradecimentos

Às pessoas mais importantes da minha vida.

Meus pais Iara e Ernane, por me cobrarem até a minha última gota de suor. Se não fosse por vocês, essa monografia nunca existiria.

Ser o irmão mais novo é sempre mais fácil, por isso agradeço aos guerreiros Renata e Rafael, por esgotarem a paciência dos meus pais antes mesmo do meu nascimento.

A minha namorada Isadora Teixeira, e seu companheirismo incondicional.

A todos os meus professores que ajudaram nessa vida.

Aos grandes amigos que fiz ao longo dessa maratona, o grupo do HELIA, que fizeram desse caminho sinuoso mais leve. Se fosse citar um a um, nenhum professor aprovaria este TCC. Tenho certeza que serão excelentes profissionais e espero poder continuar contando com a amizade de todos.

Aos que contribuíram demais amigos que sempre me ajudaram.

Ao pessoal da Athena, como estamos juntos 12 horas por dia, vocês merecem estar aqui.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Vitor Lucena Queiroga

Março/2019

Orientadores: Jorge dos Santos

Curso: Engenharia Civil

A manufatura aditiva, técnica usada para gerar um objeto físico em três dimensões tendo como insumo somente uma projeção digital, é uma ciência que ganhou projeção no início de 2009, quando as primeiras impressoras 3 D começaram a ser comercialmente viáveis. Desde então, seu uso tem-se expandido e evoluído em multiplas áreas de conhecimento, tais como: medicina, robótica, indústria automotiva, dentre outros. Sua utilização na engenharia civil ainda está em sua fase embrionária, mas com uma imensurável capacidade de crescimento. Tendo em vista toda essa capacidade que a essa metodologia possui, este texto de conclusão de curso tem como objetivo apresentar, através de uma extensa coletania de textos de sites eletrônicos e científicos, dissertar sobre a praticabilidade da impressão 3 D para construção de habitações de baixa renda, apresentando as pesquisas e as técnicas que já foram desenvolvidas para tal.

Palavras-Chave: Impressora 3D, construção civil, habitação popular, manufatura aditiva.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI / UFRJ as a partial fulfilment of the requirements for the degree of Civil Engineering.

Vitor Lucena Queiroga

Março / 2019

Advisor: Jorge dos Santos

Course: Engenharia Civil

Additive manufacturing, a technique used to generate a three-dimensional physical object with only a digital projection, is a science that gained momentum in early 2009 when the first 3D printers began to be commercially viable. Since then, its use has expanded and evolved in multiple areas of knowledge, such as: medicine, robotics, automotive industry, among others. Its use in civil engineering is still in its embryonic stage, but with an immeasurable capacity for growth. Considering all this capacity that this methodology possesses, this text of course conclusion aims to present, through an extensive collection of texts of electronic and scientific sites, to discuss about the feasibility of printing 3 D for construction of low dwellings income, presenting the researches and the techniques that have already been developed for such.

Key Words: 3D printer, civil construction, popular housing, additive manufacture.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Contextualização	11
1.2. Objetivos	12
1.3. Motivação do Estudo.....	12
1.4. Abordagem e Metodologia.....	14
1.5. Estruturação dos capítulos.....	15
2. IMPRESSÃO 3 D – CONTEXTUALIZAÇÃO	17
2.1. Aspectos Históricos.....	17
2.2. Conceituação	18
2.2.1. Materiais Resinosos	20
2.2.2. Materiais Pulverulentos.....	21
2.2.3. Materiais Termoplásticos.....	23
2.2.4. Materiais Laminados.....	25
2.3. Aplicações	27
2.3.1. Medicina	27
2.3.2. Veterinária	28
2.3.3. Indústria Naval.....	29
2.3.4. Comunicação Visual.....	29
3. UTILIZAÇÃO DE IMPRESSORAS 3 D NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.....	31
3.1. Produção de Maquetes	31
3.2. Impressão de Concreto.....	32

3.2.1.	Tecnologia Americana	32
3.2.2.	Tecnologia Inglesa	35
3.3.	Tecnologia Italiana.....	37
3.4.	Reparo de pavimentos	38
4.	TIPOLOGIA DE CONSTRUÇÃO HABITACIONAL DE BAIXA RENDA.....	40
4.1.	Contextualização	40
4.2.	Aspectos Gerais.....	41
4.2.1.	Histórico	41
4.2.2.	Características Construtivas	43
4.3.	O déficit habitacional no Brasil.....	46
4.4.	Principais Tecnologias Empregadas	48
4.4.1.	Concreto Armado.....	49
4.4.2.	Alvenaria Estrutural	50
5.	UTILIZAÇÃO DE IMPRESSORA 3D PARA PRODUÇÃO DE UNIDADES HABITACIONAIS POPULARES.....	51
5.1.	Aplicações da Impressora 3D para construção de habitações no mundo	51
5.1.1.	Nos Estados Unidos	51
5.1.2.	Na Europa	53
5.1.3.	Na China	55
5.1.4.	No Brasil.....	57
5.2.	Metodologia mais adaptada para o mercado brasileiro	58
5.3.	SIMULAÇÃO DE CUSTO PARA UMA HABITAÇÃO DO PROGRAMA MCMV	59
6.	CONCLUSÕES	61

Índice de Figuras

Figura 1- Técnica SLA. Fonte: PROTOFAST (2014).	21
Figura 2 - Representação do equipamento utilizado na técnica SLS. (PAGGI, 2008).....	22
Figura 3 - Técnica 3DPrint. Fonte: CIMJECT (2009).....	23
Figura 4- Mecanismo utilizado pela FDM. Fonte: XPRESS3D (2012).	24
Figura 5 - Técnica LOM. Fonte: CIMJECT (2009).	26
Figura 6 - Protese desenvolvida em impressora 3 D (PARNAIBA, 2017).	28
Figura 7 - Submarino construído pela Marina Americana (3DPINTINGINDUSTRY, 2017).	29
Figura 8 - Simulação de operação da tecnologia Contour Crafting. Fonte: (KOSHNEVIS, 2004).....	33
Figura 9 – Esquema representativo do cabeçote responsável pela extrusão. Fonte: (KHOSHNEVIS, 2004).....	34
Figura 10 – Estrutura utilizada na técnica 3DCP. Fonte: (Concrete-3dprinter, 2018).	36
Figura 11– Estrutura feita através do Concrete Printing. Fonte: (LBORO, 2015).....	36
Figura 12- Procedimento de produção D-Shape (Dini, 2009).....	38
Figura 13 - Robert Flitsch e o Addibot (Harvard, 2016).....	39
Figura 14- Cortiço Fonte: (PIERINI; CORREA, 2015).....	42
Figura 15 - Casas térreas do MCMV Fonte: (Caixa Econômica Federal, 2017).....	44
Figura 16 - Unidades habitacionais verticais MCMV Fonte: (Caixa Econômica Federal, 2017).....	44
Figura 17- Exemplo de planta térrea do MCMV Fonte: (Caixa Econômica Federal, 2017).	45

Figura 18- Exemplo de uma planta de unidade habitacional vertical do MCMV Fonte: (Caixa Econômica Federal, 2017).....	45
Figura 19 - Perfil do déficit habitacional Brasileiro. Fonte: (Valor, 2018).....	48
Figura 20- Impressora Vulcan da ICON. Fonte: (ICON, 2017).....	52
Figura 21 - Casa impressa em 3D. Fonte: (ICON, 2017).....	53
Figura 22- A impressora Bigdelta. Fonte: (3dwasp, 2012).	54
Figura 23- Etapa produção de casa utilizando a Bigdelta. Fonte: (3dwasp, 2012).	55
Figura 24- Metodo de produção da WISUN. Fonte: (WISUN, 2018).	56
Figuras 25a e 25b -Casa e prédio construído pela WISUN. Fonte: (WISUN, 2016).....	57
Figura 26- Impressora da Inovahouse3D em atuação. Fonte: (Inovahouse3D, 2019).	58

Índice de Quadros

Quadro 1- Resumo qualitativo dos tipos de manufatura aditiva. Fonte: AGUIAR (2013) ..	26
Quadro 2 - Previsão de economia ao se utilizar o CC Fonte: (KHOSHNEVIS, 2004).....	35
Quadro 3- Especificações das tipologias do MCMV Fonte: (NOVELLO, 2018).....	46
Quadro 4- Resumo qualitativo das tecnologias. Fonte: (O próprio autor, 2019).	59
Quadro 5- Valores de projeto de uma habitação do programa MCMV. Fonte: (IBGE, 2018).	60
Quadro 6 - Cotação do Dolar e do Euro frente ao Real. Fonte: (Banco Central, 2018).....	60

Índice de Tabelas

Tabela 1– Requisitos de qualidade para blocos de concreto. Fonte: (ABNT, 2006).	50
--------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabela 2- Valores de projeto considerando uma casa no padrão do programa MCMV. Fonte:
(O autor, 2019). 60

1. INTRODUÇÃO

1.1.Contextualização

“No setor de construção civil um dos temas mais discutidos é a questão do desperdício, este é caracterizado por um elevado índice do setor e um dos principais vilões para redução dos recursos naturais, tais como: água, energia, areia e combustível, outras formas de desperdício encontradas na construção incluem o desperdício de tempo, materiais e custo. Percebe-se que as organizações vêm apostando em novas metodologias para construir seu diferencial no mercado. ” (SILVA, 2010).

De acordo com Farmer (2016), em seu livro *The Farmer Review of the UK Construction Labour Model*, a construção foi a área que apresentou os menores ganhos de produtividade, ficando atrás da indústria, do setor de comércio de serviços e dos demais setores da economia. Apesar de o estudo retratar a realidade do Reino Unido, onde 36% dos empreendimentos são entregues com pelo menos 3 meses de atraso, essa realidade representa as dificuldades enfrentadas pelo setor de uma maneira global.

Mesmo vivendo toda essa precariedade de modernização, a situação pode ficar ainda pior se novos métodos não forem desenvolvidos e absorvidos pelo setor. Isso porque o mundo está entrando em sua 4ª revolução industrial, que, segundo Schwab (2016), é diferente de tudo o que a humanidade já experimentou. Inovações estão fundindo os mundos físico, digital e biológico de forma a criar grandes promessas.

Além desse atraso tecnológico, a construção civil é a grande responsável por sanar uma das maiores preocupações da sociedade moderna: o déficit habitacional. Conforme diz a Fundação Getúlio Vargas, em um estudo divulgado pelo jornal O Valor (2018), o déficit habitacional brasileiro é de cerca de 7,7 milhões de moradias. Alinhado a todas essas preocupações e necessidades, a impressora 3 D surge como possível solução para reduzir custos, problemas com atrasos, impactos ambientais, aumentar a eficiência e, principalmente, suprir a falta de habitações dignas para o público mais necessitado.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral abordar o uso de uma nova tecnologia na construção civil, a utilização da impressora 3 D. Validar se a tecnologia tem o potencial de melhorar os problemas de capacitação de mão de obra, produção de rejeitos e aumento de produtividade. Para tal, serão expostos todos os estudos já realizados, citando os materiais utilizados, suas vantagens competitivas e inovações, seus pontos negativos, e, por fim, os gastos para cada tipo de técnica empregada.

Sendo assim, o intuito desse projeto é explicitar a possibilidade do uso da impressão tridimensional na concepção de moradias populares, e, por fim, indicar projetos futuros para que seu uso possa ser difundido no setor.

1.3. Motivação do Estudo

Toda construção convive com um problema em comum: o desaproveitamento de material ou de tempo, além do custo com o retrabalho quando alguma execução não é feita de maneira correta. Todos esses contratempos costumam ter sua origem em erros de projeto,

erros de execução, pouca homogeneidade e qualificação de mão de obra ou na falta de rigorosidade na qualidade dos insumos na obra. Acresce-se a estes aspectos o fato das técnicas construtivas adotadas na construção serem via de regra baseadas em trabalhos artesanais ficando muito dependente da ação humana tanto em termos de produtividade como de qualidade.

Portanto, a execução de uma habitação com o uso de uma impressora 3D pode revolucionar, e minimizar todos esses problemas, reduzindo gastos com realização de tarefas em duplicidade, em virtude de falhas, diminuindo o impacto ambiental com a redução de resíduos de obra, e proporcionar o fim do problema com atraso na entrega de um empreendimento. A habitação construída com a tecnologia da fabricação aditiva ocorre quase de forma autônoma, uma vez que tanto a estrutura quanto a vedação é feita totalmente pela máquina, reduzindo as adversidades encontradas em virtude de erro humano. Como a impressora executa com precisão o projeto, não há chances de ocorrer algum erro de execução, muito comum quando há interferência humana.

Ademais, a sustentabilidade se mostra um tema crucial nos novos projetos de construção que são criados. O forte aumento da densidade populacional, sobretudo nos grandes conglomerados urbanos, de forma desenfreada e quase sempre sem qualquer estudo de impacto ambiental, consome não somente recursos naturais, mas também produzem grandes quantidades de resíduos de obra. (KHOSHNEVIS, 2004).

Paralelamente a essa fuga para os grandes centros, ocorre nos mesmos um aumento na demanda de habitações, fazendo com que famílias recorram a construções precárias, em áreas de risco, com pouquíssima infra-estrutura, podendo trazer graves consequências aos

moradores dessas construções. Essa demanda mal atendida acaba gerando uma especulação imobiliária nas grandes metrópolis, resultando em um grande *déficit* habitacional.

Segundo WU et al. (2016), por ser uma tecnologia que está em desenvolvimento na maioria dos setores industriais, grande parte dos dados relativos a essa tecnologia estão ainda fragmentados em diversos estudos. Para um estudo de viabilidade, deve-se considerar uma revisão crítica e estudar toda a evolução desta tecnologia, para verificar sua aplicabilidade no setor da construção civil.

A manufatura aditiva ainda é uma técnica pouco divulgada e estudada no Brasil. O desafio de estudar uma tecnologia alternativa, que pode possuir o potencial de solucionar tantos problemas no setor e sanar o *déficit* habitacional em uma menor escala de tempo são as grandes motivações para a escolha do tema.

1.4. Abordagem e Metodologia

Primeiramente, a metodologia utilizada para elaboração desta monografia foi recolher uma grande quantidade de dados no que diz respeito a tecnologia de manufatura aditiva, habitações populares e sobre o que essa nova tecnologia pode oferecer para que seja possível sanar o *déficit* habitacional Brasileiro. Portanto, para a realização deste trabalho, foi utilizada uma grande variedade de textos relacionados ao tema em monografias de graduação, dissertações de mestrado e teses de doutorado.

Utilizou-se também revistas sobre tecnologia, pesquisas em artigos disponibilizados na internet e em bibliotecas. Tratando-se de um assunto novo e pouco estudado na literatura

brasileira, a maioria das informações foram coletadas em *websites*, produzidos principalmente por autores americanos e europeus.

1.5. Estruturação dos capítulos

Este trabalho de conclusão de curso está disposto em seis capítulos, onde o capítulo inicial aborda a introdução sobre o tema, onde apresenta a relevância do mesmo, os propósitos do trabalho, a motivação de sua escolha e a metodologia aplicada. O segundo capítulo apresenta a contextualização da impressão 3 D, onde foi abordado a ciência da impressão em 3 dimensões mais utilizadas, de acordo com o material que é extrudado por ela, aspectos históricos relativos as revoluções industriais e a origem da impressão 3D, evoluções e principais aplicações nos dias de hoje. Também foi abordado neste capítulo os segmentos da indústria nos quais a tecnologia já foi aplicada com sucesso. No terceiro capítulo, introduz a aplicação da impressão 3 D na construção civil, onde foi abordado as experiências, mesmo as mais embrionárias, que mostraram os melhores frutos na engenharia civil em qualquer segmento, desde a concepção do projeto, a extrusão de materiais comuns na indústria. No quarto capítulo, a tipologia de construção habitacional de baixa renda foi definida, foi apresentado informações sobre o deficit habitacional e suas consequências, para que o presente trabalho tivesse uma maior acertividade no estudo da aplicabilidade da impressora 3 D. No quinto capítulo, o uso da ciência 3 D na construção de moradias populares foi abordada, onde se detalhou melhor as inovações, dentro e fora do Brasil, que tornaram possível esse estudo, e por fim, uma avaliação sobre os gastos de produção foram feitos, comparados com as técnicas tradicionais. No sexto e último capítulo, conclusões foram

tiradas do texto produzido, onde constam as considerações finais e as propostas para projetos futuros.

2. IMPRESSÃO 3 D – CONTEXTUALIZAÇÃO

“As mudanças são tão profundas que, na perspectiva da história da humanidade, nunca houve um momento tão potencialmente promissor ou perigoso” (SCHWAB, 2016).

A Primeira Revolução Industrial diminuiu os espaços, graças aos avanços das máquinas movidas a vapor, onde grandes vagões começaram a transportar mercadorias e pessoas através de ferrovias. No decorrer da Segunda Revolução, que ocorreu no final do século XIX com o advento da eletricidade, proporcionou melhorias no bem-estar das pessoas em casa e no ambiente de trabalho, com a revolução das linhas de montagem, com a criação do Fordismo nos Estados Unidos, e em seguida, o Toyotismo no Japão. (SCHWAB, 2016)

Na década de 60, veio a Terceira Revolução, com os primeiros protótipos do computador, responsável por um volume maior de processamento de dados, resultando em um grande avanço na tecnologia, como a corrida espacial. A Quarta Revolução Industrial, que se deu início na virada do século XXI, abordará segundo Schwab (2016) temas como a impressão 3D, que tem a capacidade de customização e elaboração de produtos em larga escala com características homogêneas, sustentabilidade e possibilidade de descentralização de fábrica.

2.1. Aspectos Históricos

No início dos anos 80, as primeiras técnicas de impressão 3D foram desenvolvidas. Apesar de as primeiras tentativas de criar uma impressora tridimensional, serem atribuídas ao professor japonês Hideo Kodama, sendo o primeiro a descrever a abordagem da formação de nível por nível para formação de um objeto, a primeira patente reconhecida de impressora tridimensional pertence a Charles Hull, que desenvolveu em 1986 a primeira patente da

metodologia de SLA (Estereolitografia), além de fundar a 3D Systems Corporation no ano seguinte, lançando seu primeiro modelo, o SLA-1. (SCULPETO, 2016)

Dois anos depois, em 1988, Carl Deckard, pesquisador da Universidade de Texas, protocolou a patente da metodologia de SLS (Sinterização Seletiva a Laser).

Já no final da década de 80, Scott Crump, fundou a Stratasys, e realizou o lançamento da metodologia de FDM (Modelagem por Fusão e Deposição).

Em 2004, a iniciativa *RepRap* foi lançada, uma ferramenta de código aberto no qual promove a auto-replicação de uma impressora 3D.

Em 2008, a impressão 3D obteve ainda mais presença na mídia, graças a outra aplicação da metodologia na medicina: a primeira prótese de membros impressa em 3D. Hoje em dia, combinado com scanners 3D, as próteses e órteses médicas estão mais populares do que nunca, devido ao seu baixo custo e alta velocidade de desenvolvimento.

Já em 2012, a Makerbot, empresa americana, lançou o Replicator 2, uma impressora 3D do tamanho de uma impressora padrão, com o custo de 2000 dolares. O Replicator 2 marcou a tecnologia de impressão 3D, pelo fato de não necessitar grandes conhecimentos técnicos e ser simples de se usar. (SCULPETO, 2016)

2.2. Conceituação

Segundo Porto (2016), a Prototipagem Rápida (*RP – Rapid Prototyping*) é uma metodologia de manufatura pautada na deposição de material em camadas. Esta tecnologia foi criada no final da década de 80, impulsionada pela demanda dos setores industriais em diminuir os custos na fabricação de novos produtos.

Atualmente, existe uma variedade significativa de métodos de impressão, cada um com uma forma diferente de se chegar ao produto final. Os métodos mais tradicionais extrudam o material utilizado como matéria prima em camadas sobrepostas, enquanto alguns métodos utilizam laser para enrijecer faixas de materiais resinosos ou pulverulentos, de modo que o produto final seja destacado do restante da matéria prima não utilizada. No caso do método chamado de Prototipagem Rápida Subtrativa (SRP) os moldes são resultado da usinagem de bloco maciços de vários tipos de materiais. No âmbito deste trabalho, será estudado apenas o método Prototipagem Rápida Aditiva.

O primeiro passo para impressão 3D é o desenvolvimento do modelo do objeto dentro de um aplicativo de modelagem 3D no computador. Atualmente, existem dois tipos básicos de aplicativos: os de Modelação de Sólidos (*Solid Modelling*) e os de Modelação de Superfícies (*Surface Modelling*). (PORTO, 2016)

No aplicativo de Modelação de Sólidos, como o nome indica, os objetos modelados são preenchidos por dentro. Um modelo virtual sólido permite cálculos e simulações (como peso do objeto, condutividade térmica, etc). A Modelação de Sólidos costuma ter menos erros na hora da impressão em 3D.

Já a Modelação de Superfícies, se modela apenas as “paredes” do modelo. Todos os modelos são vazios por dentro. Como modelos de superfície, é preciso algum cuidado para não deixar “buracos” nas superfícies. Se deixar um buraco na superfície, o computador não sabe o que é o interior ou exterior do objeto e não consegue interpretar o modelo para imprimir. (PORTO, 2016)

Depois de imputar todos os dados necessários, o software realiza a leitura destas informações, e divide o objeto horizontalmente. Cada divisão fornece ao cabeçote da máquina informações sobre o movimento no qual ela deve percorrer, enquanto estiver depositando a matéria prima, ou enrijecendo o pó ou na resina através de um feixe de laser.

No presente capítulo, serão abordadas as técnicas que utilizam como matéria prima de extrusão: materiais resinosos, pulverulentos, termoplásticos e laminados.

2.2.1. Materiais Resinosos

As resinas fotossensíveis (epóxis, acrílicas ou vinificas) foram utilizadas na técnica pioneira em manufatura aditiva, a estereolitografia. Esta técnica utiliza lasers para o endurecimento de camadas desta resina. A técnica, mostrada na figura 1, criada por Charles Hull polimeriza as resinas compostas por fotoiniciadores e aditivos, por meio de um feixe de laser ultravioleta (PORTO, 2015).

A impressão do modelo 3D começa completando a cuba com a resina fotossensível. O laser da impressora é então projetado na superfície do líquido, fazendo com que esta resina se solidifique. Após a solidificação desta primeira camada, a cuba se movimenta na direção do eixo Z, para que uma nova camada seja solidificada. Esse processo se repete até que a peça esteja completa.

Quando o processo de impressão chega ao fim, o produto final é removido do excesso de resina com um alicate. Em seguida, para melhorar o acabamento do produto, a peça é levada até um forno para que ocorra o processo de cura. De acordo com Porto (2016), o produto final quando impresso via SLA possui um acabamento superior se comparada com

o método FDM. Além do acabamento, outra vantagem seria a resistência do objeto impresso. Já como desvantagem, esta técnica possui um custo maior de operação, matéria prima e do protótipo em si.

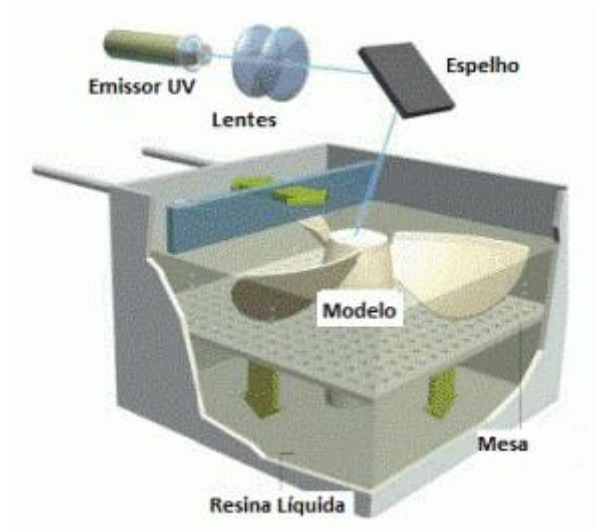


Figura 1- Técnica SLA. Fonte: PROTOFAST (2014).

2.2.2. Materiais Pulverulentos

Existe atualmente no mercado, duas técnicas que utilizam materiais pulverulentos para a impressão 3D. A primeira a usar este material, a tecnologia de sinterização seletiva a laser -SLS, usa um raio de laser para fundir, de forma seletiva, este pó em um objeto sólido. Por utilizar este tipo de material e um laser para realizar o endurecimento do objeto, o produto final possui uma grande qualidade de acabamento. Isso se deve ao fato de a camada ser delimitada por um feixe laser de diâmetro extremamente fino. (PAGGI, 2008)

Segundo Paggi (2008), esta tecnologia apresenta uma grande variedade de utilização de matéria prima, podendo esta ser metálica, cerâmica ou polimérica. A variedade de

materiais e conseqüentemente de propriedades físicas do produto final consistem nos grandes diferenciais desta técnica em relação a outros processos de prototipagem rápida.

O procedimento operacional de uma impressora SLS começa pela adição sucessiva de camadas de pó despejadas sobre a plataforma, que se movimenta no eixo Z. A camada de material depositada é então endurecida pelo feixe de laser, sinterizando os contornos do objeto. Ao final desta etapa, a plataforma é movimentada para baixo, onde uma nova camada de pó é depositada, para que o processo seja repetido novamente. O material não endurecido é retirado somente ao final da produção da peça, uma vez que o mesmo serve de suporte natural para fornecer resistência durante o processo de impressão. (PORTO, 2016)

O esquema do equipamento utilizado nesta tecnologia está representado na Figura 2.

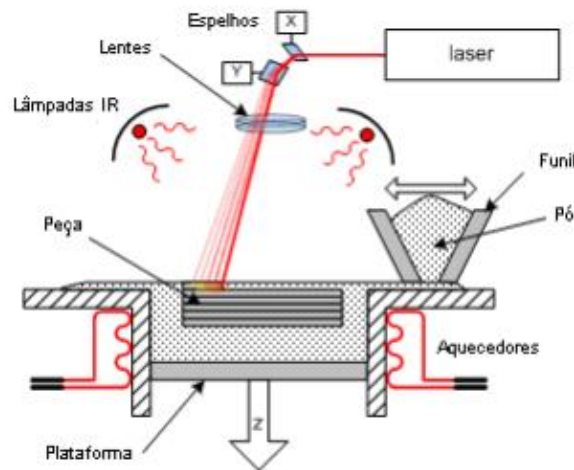


Figura 2 - Representação do equipamento utilizado na técnica SLS. (PAGGI, 2008).

A segunda técnica que possui materiais puerulentos como matéria prima é a Impressão Tridimensional, ou *3D Printing*, 3DP, como mostrado na Figura 3. Esta técnica utiliza uma maquina que é construída por uma plataforma, situada em um compartimento que contém material em pó, e um cabeçote, responsável por liberar jatos de uma substância

aglutinante. Esse processo acontece através de comandos previamente enviados a máquina, imprimindo o fluido ligante para fundir o pó no formato desejado. O pó restante não utilizado permanece na plataforma para apoiar a peça.

Em seguida, a plataforma é abaixada e mais pó é acrescentado e nivelado, para que o processo seja repetido. Quando a peça é finalizada, ela é destacada do pó não utilizado, que é eliminado. As peças acabadas podem ser infiltradas com cera, cola, ou outro selante para melhorar a durabilidade e o acabamento superficial. A espessura de camada típica está na ordem de 0,1 mm. Este processo é muito rápido, e produz peças com uma superfície ligeiramente granulada. (SANTOS, 2009)

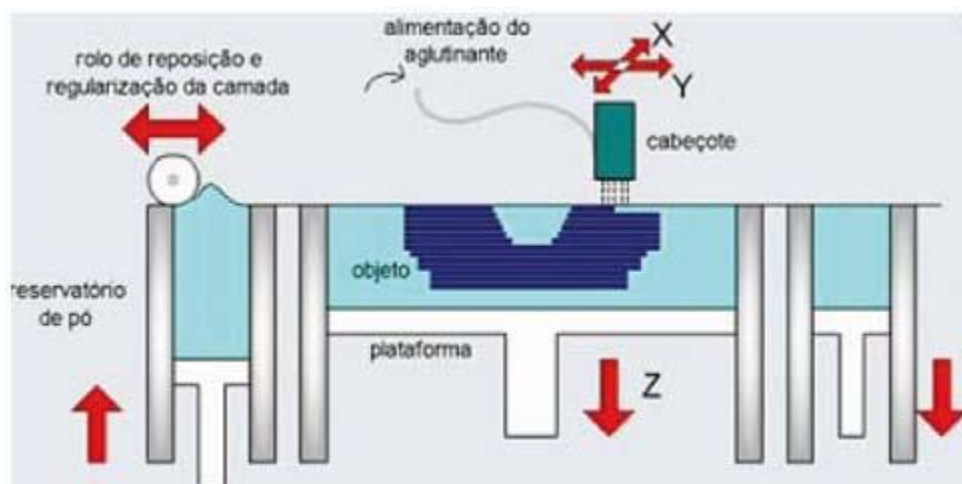


Figura 3 - Técnica 3DPrint. Fonte: CIMJECT (2009).

2.2.3. Materiais Termoplásticos

Metodologia de fabricação aditiva no qual se utiliza termoplásticos como matéria prima, a Manufatura por fusão e Deposição – FDM, possui um equipamento constituído por uma plataforma que se movimenta em torno do eixo Z, no qual o material é extrudado através do cabeçote da impressora. O procedimento ocorre com a deposição da primeira camada do

material sobre a mesa, onde o cabeçote tem autonomia para se movimentar em torno do eixo X e Y, para realizar o desenho da forma. Com a primeira camada impressa, a plataforma é então deslocada verticalmente, até a altura da próxima cada. Então o processo é repetido, até a finalização do objeto. (PAEZ, 2013). O mecanismo utilizado nesta tecnologia pode ser visto na figura 4.

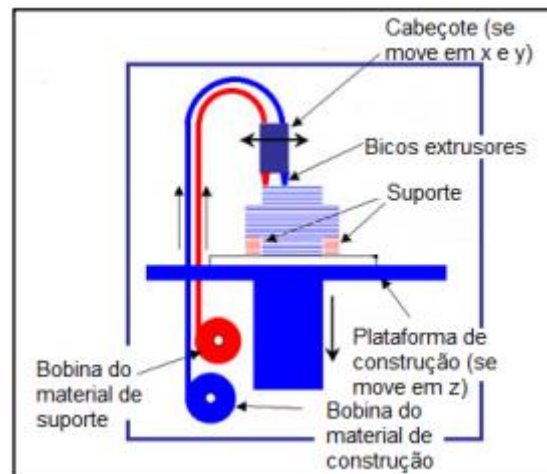


Figura 4- Mecanismo utilizado pela FDM. Fonte: XPRESS3D (2012).

Esta tecnologia apresenta algumas vantagens e desvantagens em relação à outras técnicas de impressão. Como principais vantagens, o menor desperdício de material, além de não necessitar de limpeza pós operação. Já sua principal desvantagem está na qualidade de acabamento do produto final, que normalmente possuem defeitos como: impressão de superfícies irregulares, vazios dentro dos contornos e espaçamentos entre filetes.

Segundo Paez (2013), a tecnologia FDM é destinada para a fabricação de produtos de menor necessidade de acabamento, direcionados a atividades acadêmicas e produtos customizáveis para comercialização. Como consequência, há uma diferença nos custos

referentes à compra, manutenção, operação e quanto ao custo do material a ser utilizado nessas máquinas.

2.2.4. Materiais Laminados

Na Manufatura de Objetos Laminados – LOM, utiliza camadas de papel laminado em forma de fitas, material esse que possui uma cola ativada pelo calor e enrolada em carretéis.

Como mostrado na Figura 5, um rolo alimentador/coletor distribui a folha sobre a plataforma. Então, um rolo aquecido aplica pressão para unir o papel à base. Utilizando-se um laser, esta camada é cortada ao longo do contorno da primeira camada no papel e destaca a área em excesso, para facilitar a remoção ao final da impressão. Depois que a primeira camada é cortada, a plataforma avança ligeiramente para abaixo da altura prévia, o rolo alimentador posiciona uma nova camada e une a segunda à primeira, e o processo se repete. Este processo é repetido tantas vezes quando necessário para construir a peça que terá uma textura de madeira. Como os modelos são feitos de papel, eles devem ser selados e acabados com tinta ou verniz para prevenir dano por umidade (HOTZA, 2009).

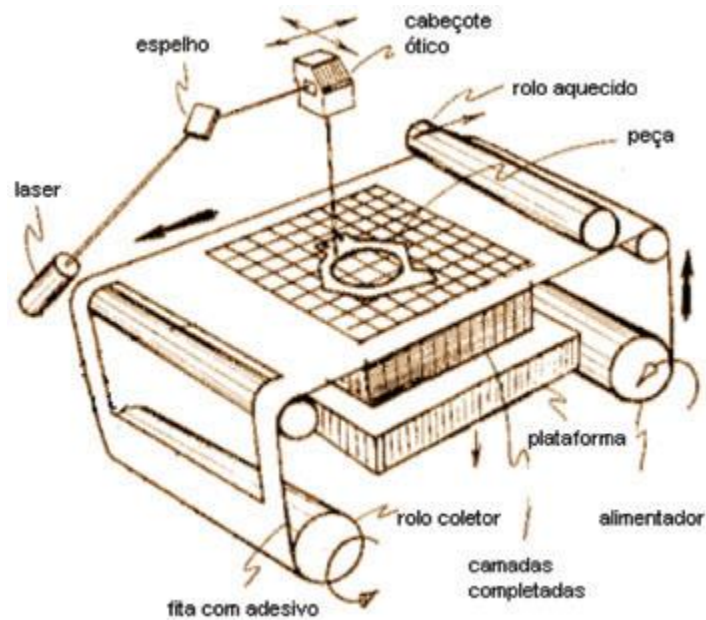


Figura 5 - Técnica LOM. Fonte: CIMJECT (2009).

O quadro 1 apresenta uma análise das características das tecnologias de prototipagem rápida.

	SLA	SLS	LOM	3DP	FDM
Variedade de materiais	Pequena	Grande	Pequena	Média	Média
Translucidez	Sim	Não	Não	Não	Sim
Qualidade superficial	Regular	Boa	Regular	Boa	Regular
Pós-acabamento	Regular	Bom	Baixo	Bom	Regular
Precisão	Excelente	Boa	Baixa	Boa	Regular
Resistência ao impacto	Regular	Boa	Baixa	Baixa	Boa
Resistência à flexão	Baixa	Excelente	Baixa	Baixa	Excelente
Custo do prototipo	Alto	Médio	Alto	Médio	Baixo
Pós-cura	Sim	Sim*	Não	Não	Não

*Não necessita de cura quando utiliza termoplásticos

Quadro 1- Resumo qualitativo dos tipos de manufatura aditiva. Fonte: AGUIAR (2013)

O quadro 1 mostra que a sinterização seletiva a laser fornece uma grande variedade de materiais, além da qualidade superficial superior do produto final e boa resistência mecânica.

A tecnologia FDM se destaca pela resistência mecânica ao impacto e a flexão, além do baixo custo do protótipo. Já a SLA, técnica pioneira de impressão 3D, possui como destaque apenas a precisão de impressão. Por fim, o que justifica a pouca utilização no mercado, a tecnologia LOM e 3DP não mostram nenhuma característica de destaque (PORTO, 2015).

2.3. Aplicações

A impressora 3D tem potencial de aplicabilidade em qualquer setor, desde que seu custo benefício seja calculado e avaliado. Porém, como todas as tecnologias pouco utilizadas e difundidas, seu custo de implementação pode ser caro. Alguns setores já obtiveram sucesso em sua implementação, enquanto outros ainda estão no processo de adaptação e pesquisas para a redução de custos e para que o material extrudado pela máquina seja compatível com as suas demandas.

2.3.1. Medicina

A aplicabilidade da impressora 3D na medicina vai desde a impressão de arcabouços sintéticos, impressão de modelos dos órgãos humanos para estudo em universidades sobre a anatomia do corpo humano sem depender de doações de cadáveres e também para a construção de próteses a um custo muito mais baixo. (PORTO, 2016)

Em Minas Gerais, uma criança de 11 anos que nasceu sem três dedos da mão esquerda, recebeu uma prótese, ilustrada na figura 6, desenvolvida por engenheiros da 3D Lopes, empresa tecnológica incubada do Cefet/MG, e por técnicos do Laboratório Aberto da Federação das Indústrias de Minas Gerais (Fiemg). A prótese desenvolvida teve o custo de

apenas R\$ 1 mil reais, cerca de vinte vezes menos que uma prótese tradicional (PARNAIBA, 2017).



Figura 6 - Prótese desenvolvida em impressora 3 D (PARNAIBA, 2017).

2.3.2. Veterinária

A tecnologia da impressora 3 D possibilitou a medicina veterinária evoluir, sobretudo, no uso de próteses, área onde ela possui maior aplicabilidade. Por ser um mercado consideravelmente menor do que o de próteses para seres humanos, os valores e as dificuldades de se encontrar empresas especializadas nesse tipo de solução inviabilizavam o seu uso. Porém, uma empresa americana chamada *Element 3 D* foi pioneira ao, em 2015, projetar um bico para um tucano, após ser maltratado por jovens na Costa Rica (BBC, 2014). No Brasil, a professora Maria Cristina de Oliveira Cardoso Coelho, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em parceria com o designer Eduardo Sales, produziram um casco de jabuti, para um animal após perder parte do casco original em um incêndio (G1, 2015).

2.3.3. Indústria Naval

Um projeto do Departamento de Defesa e do Departamento de Energia dos Estados Unidos, com o intuito de deixar o uso dos recursos da marinha norte americana mais eficiente, financiou um protótipo de submarino construído por uma impressora 3D chamada BAAM (uma impressora de tecnologia aditiva utilizada para construção de protótipos maiores). Esse submarino, ilustrado na figura 7, foi construído em apenas 4 semanas, a um custo de 80 mil dólares. Segundo a própria marina americana, a construção de um submarino idêntico de forma convencional custaria 10 vezes mais, e demoraria no mínimo 3 meses para ficar pronto. A intenção do protótipo é provar que peças de substituição podem ser produzidas em custos cada vez menores (3DPINTINGINDUSTRY, 2017).



Figura 7 - Submarino construído pela Marina Americana (3DPINTINGINDUSTRY, 2017).

2.3.4. Comunicação Visual

O Museu do Prado, em Madri, na Espanha, com o objetivo de aproximar deficientes visuais de obras de artes, utilizou uma impressora 3D para desenvolver uma mostra de arte direcionada ao público com visão reduzida. A mostra, chamada *Hoy Toca El Prador*,

reproduz obras de arte de artistas renomados utilizando a técnica de impressão 3D chamada *Didú* (o processo consiste em escanear a imagem da pintura original em altíssima definição para que um programa de computador faça cálculos e análises para aplicar a textura conveniente para reproduzir a imagem em alto-relevo). Nela, pesquisadores da Espanha usaram componentes físicos capazes de saltar dos quadros, criando relevância suficiente em todos os detalhes da tela e, conseqüentemente, promovendo a sensação tátil necessária para não somente identificar, mas sentir e interpretar cada uma das obras de arte (GARCIA, 2015).

3. UTILIZAÇÃO DE IMPRESSORAS 3 D NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

3.1. Produção de Maquetes

A serventia da ciência de impressão tridimensional na criação de maquetes se deve graças a interação da tecnologia com o *Building Information Modeling* (BIM). A ciência BIM é um dos avanços mais promissores da indústria de modelagem, que engloba setores como desenvolvimento de produtos, arquitetura, naval, automobilística, dentre outros. O termo BIM foi popularizado pelo arquiteto Jerry Laiserin, que trabalhou para melhorar o intercâmbio e a interoperabilidade de informações entre diferentes softwares utilizados na construção, através do termo “BuildingSmart”. Já na década de 80, os primeiros softwares de BIM foram criados, sendo os mais conhecidos: Allplan de origem alemã, o ArchiCad e o Revit. (CAVALCANTI, 2016).

De acordo com Eastman et. al. (2011), o BIM consiste na integração de informações digitais, incluindo, para o setor da construção civil, plantas e geometrias, informações relativas ao custo e quantidade dos materiais empregados. Ainda segundo Eastman et. al. (2011), a tecnologia BIM é uma ciência paramétrica, pois os elementos são representados por parâmetros associados a dados (geométricos e não geométricos), podendo serem relacionados uns aos outros.

A maior vantagem da parametrização do sistema BIM consiste na facilidade de criação e mudança de elementos, uma vez que com a alteração em determinada parcela ou detalhe do

dado parametrizado, automaticamente o projeto é modificado como um todo. A interoperabilidade do projeto é uma consequência direta da parametrização.

Eastman et. al. (2011) afirma que a interoperabilidade é um conceito de troca de informações entre ferramentas, que permite a automatização e a participação da equipe simultaneamente, uma vez que a mudança na arquitetura impacta no mesmo instante o orçamento do projeto.

O sistema BIM proporciona a concepção de um projeto e a sua execução de forma integrada, que resulta em produtos de melhor qualidade, a menor custo e com redução de rejeitos e em menor tempo. Atualmente, todos os grandes desenvolvedores de softwares da tecnologia BIM já possibilitam a exportação de arquivo em formato SLT (abreviação para stereolithography – estereolitografia em tradução livre), formato padrão de leitura das impressoras 3 D. (CAVALCANTI, 2016).

3.2. Impressão de Concreto

Atualmente, existem três vertentes no que diz respeito a extrusão do concreto para construção civil: o método americano, chamado Contour Crafting – CC (Construção por Contornos, em tradução livre), o inglês, conhecido como Concrete Printing ou simplesmente 3DCP e o italiano, denominado a D-Shape.

3.2.1. Tecnologia Americana

A tecnologia CC, desenvolvida pelo pesquisador Behrokh Koshnevis da Universidade do Sul da Califórnia e representada na figura 8, consiste na extrusão por um braço mecânico de

concreto em estado pastoso com deposição controlada, instruída por comandos vindo de um computador. (KOSHNEVIS, 2004).

Segundo Porto (2016), a metodologia CC possui uma taxa de construção de aproximadamente 3min/m², e necessidade de apenas quatro funcionários para que seja possível sua operação. Apesar de ser um equipamento relativamente grande, a máquina utilizada pode ser utilizada tanto em ambiente fechado, como de uma fábrica, quanto no canteiro de obras.

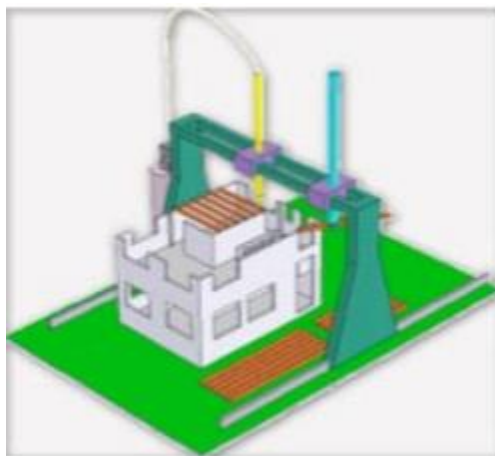


Figura 8 - Simulação de operação da tecnologia Contour Crafting. Fonte: (KOSHNEVIS, 2004).

As máquinas de impressão 3D utilizadas pelo processo de Contour Crafting não ficam em ambientes controlados como laboratórios, mas sim no próprio canteiro de obras sujeita a intempéries, e utilizam materiais heterogêneos que permitem a consolidação da estrutura, como materiais cerâmicos e cimentícios (KHOSHNEVIS, 2004).

Em suma, o Contour Crafting é um método de produção que mescla a extrusão de contorno de superfícies com um método de enchimento de seu interior, concluindo assim faixa por faixa.

A figura 9 mostra o bocal de extrusão utilizado na tecnologia, para a liberação da matéria prima. A peça possui duas saídas, uma direcionada para fora, onde é extrudado o contorno da peça, e outras dentro, onde seu interior é preenchido. Este *layout* do bocal permite a extrusão de materiais diferentes simultaneamente. Com isso, existe a possibilidade de construção com diversas finalidades, como por exemplo usando um acabamento externo em gesso, enquanto seu núcleo é preenchido com a mistura de concreto (PORTO, 2016).

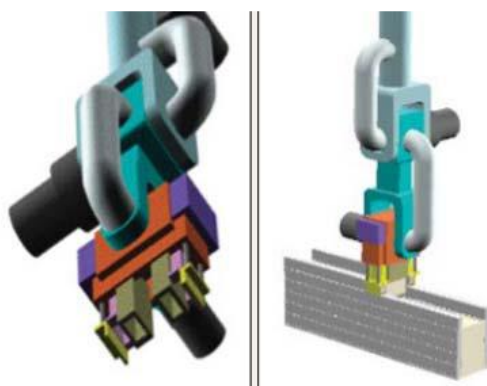


Figura 9 – Esquema representativo do cabeçote responsável pela extrusão. Fonte: (KHOSHNEVIS, 2004).

Segundo Khoshnevis (2004), a metodologia Contour Crafting pode proporcionar uma grande diminuição na produção de resíduos de obra, problema recorrente na indústria, e a redução no valor final da obra. Ademais, por possuir uma menor interação obra-homem, as taxas de acidentes durante a execução do projeto, trazendo mais segurança para o ambiente de trabalho e diminuindo os custos dos secundários gerados por esse tipo de acontecimento. A quadro 2 mostra o quanto se espera economizar utilizando a técnica desenvolvida por Khoshnevis, em comparação com o modelo convencional de construção.

Parcela de custo da Construção Convencional	Devido a	Se automatizado pela Contour Crafting
20-25%	Financiamento	Curta duração do projeto e controle do tempo de mercado irá eliminar ou reduzir drasticamente custo de financiamento
25-30%	Materiais	Sem desperdício na construção
45-55%	Mão de Obra	O trabalho manual será significativamente reduzido. O poder muscular será substituído pelo poder cerebral.

Quadro 2 - Previsão de economia ao se utilizar o CC Fonte: (KHOSHNEVIS, 2004).

3.2.2. Tecnologia Inglesa

O Concrete Printing, tecnologia desenvolvida pela Universidade Loughboroughda, na Inglaterra, teve como base a técnica de Khoshnevis. A 3DCP também trabalha utilizando como base o concreto rico em aditivos, porém, se difere pela capacidade de acabamento.

A máquina utilizada na extrusão da mistura de concreto possui uma dimensão de aproximadamente 6 metros de largura e 6 metros de altura, e uma cabeça de impressão que se movimenta uma viga móvel (Figura 10). Seu bocal proporciona a extrusão do material, que é bombado por uma bomba acoplada a um caminhão betoneira. Então, cada camada é extrudada de forma sucessivas, utilizando um concreto de alto desempenho, enriquecido com aditivos para fornecer resistência e trabalhabilidade à mistura. (YOSSEF e CHEN, 2015).

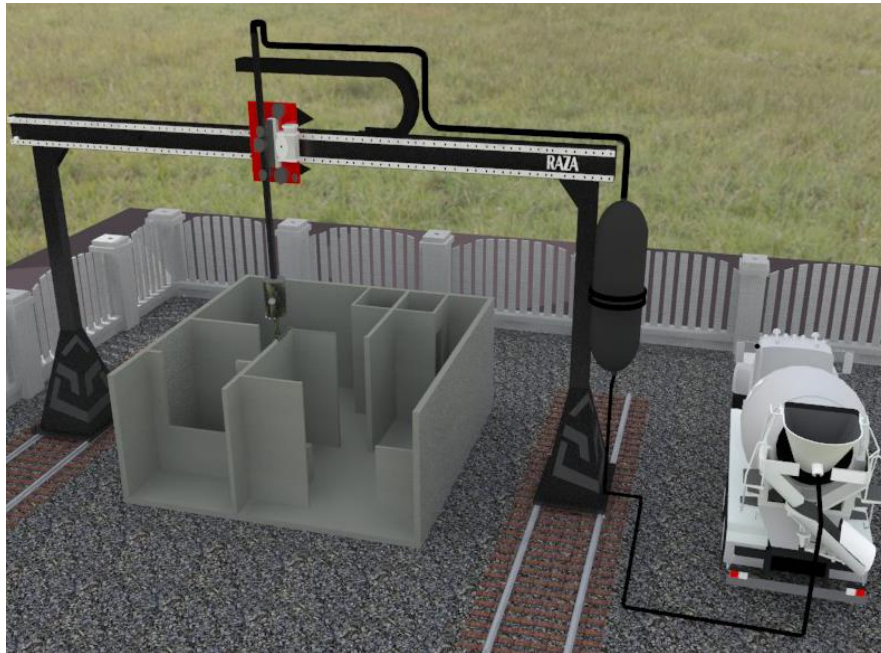


Figura 10 – Estrutura utilizada na técnica 3DCP. Fonte: (Concrete-3dprinter, 2018).

Segundo LIM et al. (2012), a tecnologia de Concrete Printing possui uma capacidade de deposição por camada menor (cerca de 4 à 6mm de profundidade por camada), o que permite ter maior controle no acabamento de superfícies com geometrias mais complexas, como superfícies nervuradas, ilustrada na figura 11, visto que a construção deste tipo de superfície só é possível quando a espessura da camada é controlada.



Figura 11– Estrutura feita através do Concrete Printing. Fonte: (LBORO, 2015).

LE et al. (2012), através de processos experimentais, descobriu uma mistura ótima para o concreto utilizado no processo 3DCP. Levou-se em consideração aspectos relacionados a resistência e a trabalhabilidade do material, visto que é uma técnica onde a precisão de acabamento é superior. LE et al. (2012), utilizando fibras para dar reforço a mistura, plastificantes e retardadores de endurecimento, chegou a um concreto que possui, após 28 dias, resistência de 100MPa a compressão, e 10 MPa a flexão. (PORTO, 2016).

3.3. Tecnologia Italiana

A D-Shape é uma metodologia de impressão 3D de concreto, desenvolvido pelo italiano Enrico Dini. O procedimento de produção utilizado por esta técnica, representado na figura 12, pode resumir-se através da deposição de forma controlada de um material composto por uma mistura de agregados, fibras e óxidos metálicos, que formam uma camada de pó seco, criando um plano homogêneo.

Após isso, utilizando-se rolos, essa camada é compactada, e através da injeção de aglutinante à base de resinas epóxi por via de 300 pequenos injetores instalados ao longo do equipamento, ocorre o endurecimento seletivo nos pontos que constituem a peça que se pretende obter. Esse processo se repete, até que a peça final esteja completa. Por fim, procede-se à remoção do material não aglutinado, através de um sistema de filtros colocado na zona inferior da área de trabalho (SILVA, 2010).



Figura 12- Procedimento de produção D-Shape (Dini, 2009).

Em termos de propriedades mecânicas exibidas pelo material desenvolvido destaca-se a elevada resistência à compressão, que se aproxima dos 240 MPa. Já uma desvantagem seria impossibilidade de uso de materiais cimentícios, de custo mais compatível com a realidade da construção civil (S. Lim, 2012).

3.4.Reparo de pavimentos

Desenvolvido pelo estudante de mestrado da faculdade de Harvard, Robert Flitsch, o Addibot, ilustrado na figura 13, é um robô móvel, controlado de forma remota ou autônoma, que possui uma matriz de cabeças de impressão de manufatura aditiva em seu material rodante. Esses cabeçotes de impressão de alta resolução permitem que o robô imprima em 3D usando materiais diferentes enquanto dirige ao longo de uma superfície. Criado originalmente para restaurar pequenas fissuras das quadras de hóquei de gelo,

provocada por patinadores durante as partidas, o Addibot está em fase de testes para desempenhar outra função: o de reparar buracos e fissuras das estradas. (LARRONDO, 2016).

Flitsch substituiu a água por alcatrão e material asfáltico, para que o Addibot pudesse inserir este tipo de material de acordo com as dimensões de um buraco e preenchê-lo. Os maiores obstáculos para a transição do Addibot do gelo para o asfalto são temperatura e volume de material. (LARRONDO, 2016).



Figura 13 - Robert Flitsch e o Addibot (Harvard, 2016).

4. TIPOLOGIA DE CONSTRUÇÃO HABITACIONAL DE BAIXA RENDA

4.1. Contextualização

Segundo Holz e Monteiro (2008), o mercado imobiliário, os baixos salários e a alta desigualdade social impossibilitaram o acesso à moradia para grande parte da população, que acabam recorrendo a moradias em áreas de risco, ou a habitações em áreas periféricas das grandes cidades, sempre afastado dos grandes centros.

No início do século XIX, inspirada no movimento de reforma urbana higienista, originária da Europa, as cidades brasileiras realizaram a construção de grandes avenidas e implantação de saneamento básico, afim de atender as necessidades da nova burguesia industrial, melhorando as condições de vida e de saúde na cidade. Com isso, o estado começa a dificultar a construção de novas habitações populares no centro da cidade, dificultando a alocação da classe trabalhadora, fazendo assim surgir outras formas de áreas ilegais para abrigar essas famílias, iniciando a periferização e favelização da cidade.

De acordo com um estudo realizado pelo Instituto Polis (2002), áreas ilegais são definidas por: Ocupações realizadas em espaços anteriormente destinados a outros fins; Áreas localizadas em aterramentos de manguezal ou charco; Áreas de preservação ambiental e moradias construídas em terrenos de alta declividade, sob redes de alta tensão, faixas de domínio de rodovias, gasodutos e troncos de distribuição de água ou coleta de esgotos.

Em virtude dessas condições, e pelas iniciativas tomadas pelo governo, a realidade brasileira é a da valorização das áreas centrais das grandes cidades, visto que essas foram as que receberam a maioria das melhorias, como saneamento, iluminação, pavimentação e

tratamentos urbanísticos. Desse modo, é grande a demanda por habitações populares desde a independência do Brasil, porém, nenhuma solução para suprir essa demanda teve sucesso até hoje.

4.2. Aspectos Gerais

4.2.1. Histórico

Segundo Cardoso (2007), as habitações populares irregulares apresentam diversas configurações: irregularidade construtiva, precariedade de serviços básicos, vulnerabilidade e carência social. Ainda segundo Cardoso (2007), os governos se concentram basicamente em tentar solucionar as questões das irregularidades construtivas e das precariedades de serviços básicos, e ainda assim, carecem de critérios para estabelecer procedimentos objetivos de avaliação, em cada caso de habitação, a abrangência da sua irregularidade, visto que, em cada região, a realidade vivida não é homogênea.

Já Pierini (2015) classifica as tipologias entre cortiços, mostrado na figura 14, favelas, loteamentos irregulares e conjuntos habitacionais em situação de degradação e irregularidade.



Figura 14- Cortiço Fonte: (PIERINI; CORREA, 2015).

Para solucionar ou diminuir tal problema, o governo criou diversos órgãos responsáveis por padronizar projetos de habitação para essa parcela da População. Inicialmente, em 1934, os Institutos da Aposentadoria e Pensões (IAPs) foram criados, posteriormente, tal função foi de responsabilidade do Banco Nacional da Habitação (BNH) que, posteriormente, devido ao seu fechamento, se tornou responsabilidade da Caixa Econômica Federal (CEF), das Companhias Habitacionais (COHABs) e das Cooperativas Habitacionais (INOCOOPs), as quais eram responsáveis pela construção de fato (NOVELLO, 2018).

Porém, segundo RIFRANO (2006), essa padronização só diz respeito ao espaço interno da construção, não considerando o mérito da qualidade da edificação, visto que a maior preocupação do poder público é o valor econômico da construção, e não a sua qualidade.

Graças a essa busca por redução de custo em detrimento da qualidade da habitação, a solução dos responsáveis por tais construções tornou-se realizar moradias cada vez menores

e de pior qualidade. O resultado dessa política foi a construção de casas cada vez mais improvisadas, causando o problema social de habitação que se encontra hoje (BONDUKI, 1998).

4.2.2. Características Construtivas

Para se definir um padrão construtivo de habitações de popular, Novello (2018) leva em consideração alguns itens a serem analisados, como a localização do terreno em questão, a possibilidade de assentamento e o número percentual do mesmo, as restrições e características ambientais na qual a área urbana está localizada, os procedimentos necessários para regularização do terreno, dentre outros.

Após essa primeira análise, deve-se classifica-las de acordo com suas similaridades, para, então, determinar as características de cada padrão, possibilitando antecipar ações que venham a ser necessárias e estimar os custos necessários (PIERINI e CORREA, 2015).

É importante salientar que, pode ocorrer variações nos padrões para cada município brasileiro, pois cada um apresenta divergência nos parâmetros mínimos de habitabilidade, salubridade e segurança exigidos em lei na construção dessas unidades habitacionais, visando o menor gasto possível.

Porém, para a o âmbito deste trabalho, será levado em conta a generalização desses diversos padrões em apenas dois tipos específicos, os determinados pelo programa Minha Casa Minha Vida (MCMV). Logo, pode-se dizer que existem dois tipos diferentes de formas construtivas: casas térreas, como mostrado na figura 15, ou apartamentos, como mostrado na figura 16.



Figura 15 - Casas térreas do MCMV Fonte: (Caixa Econômica Federal, 2017).



Figura 16 - Unidades habitacionais verticais MCMV Fonte: (Caixa Econômica Federal, 2017).

Considerando a arquitetura dessas duas formas construtivas, as plantas mostradas nas figuras 17 e 18 mostram quais os principais cômodos construídos para esse tipo de habitação. Procura-se construir habitações preferencialmente de 2 quartos, 1 cozinha, 1 banheiro e 1 sala.

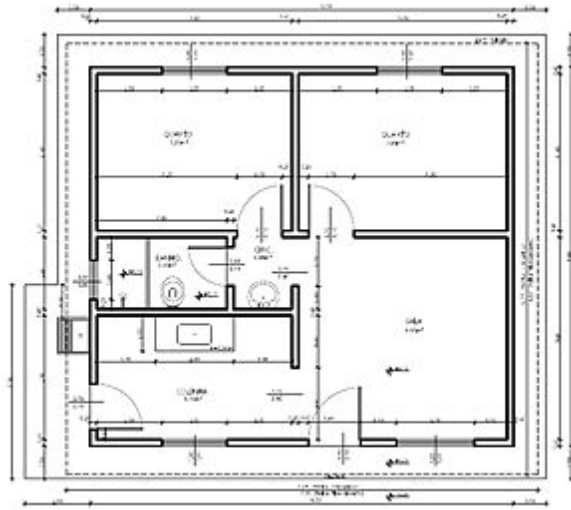


Figura 17- Exemplo de planta térrea do MCMV Fonte: (Caixa Econômica Federal, 2017).

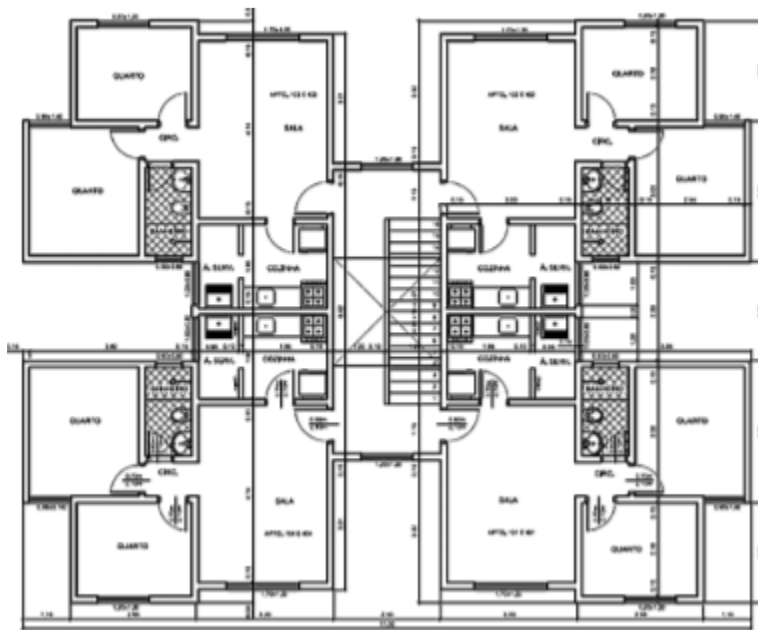


Figura 18- Exemplo de uma planta de unidade habitacional vertical do MCMV Fonte: (Caixa Econômica Federal, 2017).

O quadro 3 faz referência as especificações de um apartamento padrão de um prédio de 4 pavimentos, 16 apartamentos por bloco com opção de até 5 pavimentos e 20 apartamentos de do programa MCMV.

	Casa Térrea	Apartamento
Area da Unidade	35 m ²	42 m ²
Área Interna	32 m ²	37 m ²
Compartime ntos	Sala, cozinha, banheiro, 2 dormitórios e área externa com tanque.	Sala, cozinha, banheiro, 2 dormitórios e área de serviço.
Piso	Cerâmico na cozinha e banheiro, cimentado no restante.	
Revestimento de Alvenarias	Azulejo 1,50m nas paredes hidráulicas e box. Reboco interno e externo com pintura PVA no restante.	
Forro	Laje de concreto ou forro de madeira ou pvc.	Laje de concreto.
Cobertura	Telha cerâmica.	Telha fibrocimento.
Esquadrias	Janelas de ferro ou alumínio e portas de madeira.	
Dimensões dos Compartime ntos	Compatível com mobiliário mínimo.	
Pé-direito	2,20m na cozinha e banheiro, 2,50m no restante.	2,20m na cozinha e banheiro, 2,40m no restante.
Instalações Hidráulicas	Número de pontos definido, medição independente.	
Instalações Elétricas	Número de pontos definido, especificação mínima de materiais.	
Aquecimento Solar/Térmico	Instalação de kit completo.	
Passoio	telha cerâmica.	

Quadro 3- Especificações das tipologias do MCMV Fonte: (NOVELLO, 2018).

4.3.O déficit habitacional no Brasil

Segundo o IBGE, - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, existem duas formas de se classificar e calcular o déficit habitacional: através precariedade (considera-se a rusticidade das estruturas físicas das habitações, em virtude da depreciação e/ou da utilização de materiais improvisados ou da inadequação de algumas unidades habitacionais que, em decorrência de suas características físicas e funcionais, são utilizadas como domicílios de forma esporádica ou improvisada) e através da coabitação (existência de mais de uma família por domicílio em média). A figura 19 mostra como estava classificado o déficit habitacional Brasileiro em 2018.

De acordo com uma análise feita pelo Departamento da Indústria da Construção da Fiesp (DECONCIC) houve uma retração do déficit habitacional no país, onde o déficit que

correspondia a 6,941 milhões de famílias (sendo 85% na área urbana) em 2010 reduziu para, em 2014, 6,198 milhões, ou seja, uma diferença de 742,4 mil famílias em um período de 4 anos (uma taxa de queda de 2,8% ao ano) (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP, 2016).

Porém, segundo a Pesquisa Nacional Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad), do IBGE, em 2015 este número subiu para 7,757 milhões de moradias, representando um aumento de aproximadamente 25%. Segundo o Instituto Brasileiro de Economia (IBRE) (2018), este aumento ocorreu por causa do ônus excessivo com aluguel, já que as famílias tiveram a renda afetada pela crise. Ainda segundo o IBRE, o ônus excessivo com aluguel é, por definição, um problema urbano, e está ligado ao encarecimento das habitações nos grandes centros.

Segundo Auricchio (2016), diretor titular do DECONCIC, essa retração se deve principalmente graças a programas sociais como o Minha Casa Minha Vida, que teve grande sucesso entre no período entre os anos 2010 e 2014. Ainda segundo Auricchio (2016), em virtude da nova realidade vivida pelo Brasil, é de grande relevância estimular novas Parcerias Público Privada (PPP), para que o aumento visto em 2015 não volte a ocorrer.

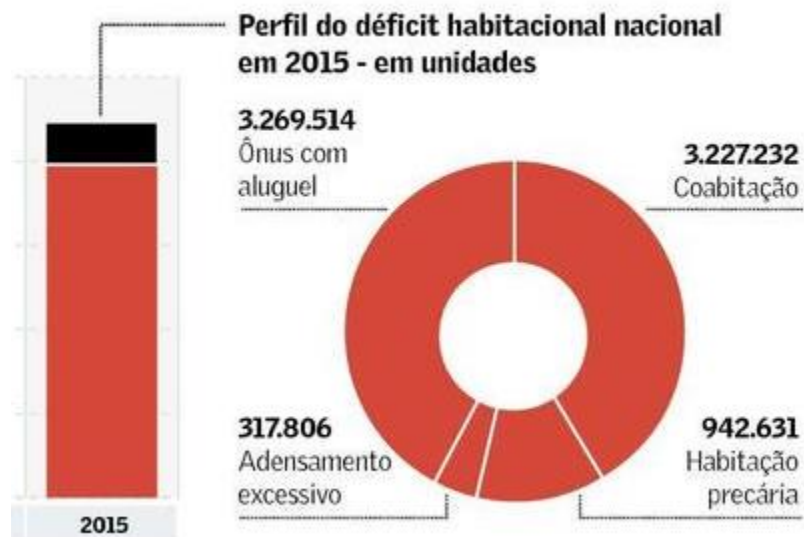


Figura 19 - Perfil do déficit habitacional Brasileiro. Fonte: (Valor, 2018).

4.4.Principais Tecnologias Empregadas

Existe na construção civil diversas tecnologias aplicadas para a construção de habitações de baixa renda. Na engenharia civil, existem diversos fatores determinantes para a escolha da tecnologia: restrições devido às condições climáticas e topográficas, qualidade exigida, tempo para a execução e custo são alguns desses fatores. Entretanto, para a construção de baixa renda, independentemente de ser a tecnologia mais recomendada para a tipologia da habitação, destaca-se o fator custo. A construção de habitações sociais, independentemente se são construídas por iniciativa privada ou pública, são realizadas sempre mantendo um determinado patamar de orçamento. Nesse caso, a escolha da tecnologia fica intrinsecamente atrelada ao custo, deixando em detrimento a escolha da melhor tecnologia para a edificação.

Neste capítulo são descritas as tecnologias mais utilizadas para a execução de edificações habitacionais de baixa renda. Para cada tecnologia reportada são sintetizadas suas característica, vantagens e desvantagens.

4.4.1. Concreto Armado

O concreto armado é hoje a tecnologia construtiva mais empregada no Brasil e no mundo. É feito através da mistura de um cimento (aglomerante), agregados (como a areia e brita), água, aditivos e armadura (barras de aço). O concreto é responsável por dar a estrutura resistência aos esforços de compressão, enquanto a armadura metálica é responsável por resistir aos esforços de tração e cisalhamento. (GUIMARÃES, 2014).

Sua execução pode ser de diversas formas, entretanto, para construção de habitações de baixa renda, as seguintes etapas são as mais usuais: fundação, alvenaria, revestimento, esquadrias, cobertura, instalações elétricas, hidrossanitárias e pintura. (NOVELLO, 2018).

É uma tecnologia mais cara, se comparada com outras utilizadas para a construção de habitações de baixa renda. Porém, sua matéria prima está disponível em grande quantidade no mercado, o que facilita a logística de distribuição da obra. O fato de não exigir mão de obra especializada, da relativa rapidez para de execução e por utilizar técnicas e ferramentas simples também contribuem para o baixo custo do concreto armado. Porém seu peso elevado, a constante necessidade de manutenção e dificuldades de se realizar reformas caracterizam as suas desvantagens (GUIMARÃES, 2014).

4.4.2. Alvenaria Estrutural

É uma tecnologia composta por blocos de concreto ou cerâmicos, e é utilizada com frequência para as construções de habitações de baixa renda. É regulamentada pela NBR 6136 (2006), que define os requisitos mínimos para os blocos de função estrutural e de vedação. A tabela 1 fornece os dados para os blocos definidos como classes A, B e C (blocos de função estrutural) e D (blocos de vedação).

Classe do Bloco	Resistência à mínima à compressão (MPa)	Absorção média do bloco (%)		Retração ¹ (%)
		Agregado normal	Agregado leve	
A	≥ 6,0	≤ 10	≤ 13 (média) ≥ 16 (individual)	≤ 0,065
B	≥ 4,0			
C	≥ 3,0			
D	≥ 2,0			

¹Facultativo

Tabela 1– Requisitos de qualidade para blocos de concreto. Fonte: (ABNT, 2006).

Possui como principal vantagem a redução do custo, devido a diminuição do desperdício de material, do gasto em instalações elétricas e hidráulicas, da redução da mão de obra utilizada, da eliminação da necessidade das fôrmas e, principalmente, o menor tempo de execução da obra devido a padronização de elementos e ampla rede de fornecedores no país. (Novello, 2018)

Porém, segundo Guimarães (2014), possui como desvantagens a necessidade de mão de obra especializada, da dificuldade de construção de grandes vãos, e da necessidade de grande conhecimento de alvenaria estrutural por parte dos projetistas (GUIMARÃES, 2014).

5. UTILIZAÇÃO DE IMPRESSORA 3D PARA PRODUÇÃO DE UNIDADES HABITACIONAIS POPULARES

5.1. Aplicações da Impressora 3D para construção de habitações no mundo

5.1.1. Nos Estados Unidos

A organização sem fins lucrativos que trabalha com o objetivo de melhorar as condições de vida de pessoas carentes em todo o mundo, chamada *New Story*, em parceria com a ICON, empresa provedora de tecnologias voltadas para a construção civil, foram responsáveis pela construção do primeiro protótipo de casa utilizando a tecnologia de impressão aditiva nos Estados Unidos. (NEW STORY, 2017).

Projetada para reduzir o déficit habitacional mundial que, segundo a *New Story*, é de 1,3 bilhão de pessoas, a casa, que varia de 56 a 74 m² é construída através da impressora *Vulcan*, ilustrada na figura 20, de criação da ICON, que utiliza a técnica de *Contour Crafting*. A *Vulcan* possui 6 metros de largura, 3 metros de altura, e não possui limitação de comprimento, visto que é construída sobre trilhos, que podem ser adaptados ao projeto.



Figura 20- Impressora Vulcan da ICON. Fonte: (ICON, 2017).

O protótipo, construído inteiramente com uma argamassa especial de alta resistência, demorou apenas 24 horas para ser concluído, custou cerca de 4 mil dólares, e contou com apenas 4 funcionários. Segundo a ICON, a casa impressa em 3D, ilustrada na figura 21, pode durar tanto quanto ou mais do que as casas construídas padrão da Unidade de Alvenaria de Concreto (CMU). As casas são construídas de acordo com o código de código estrutural do Código Internacional de Construção (IBC). A expectativa é de que a *New Story* construa 100 casas em uma comunidade de El Salvador, ainda no segundo semestre de 2019. (NEW STORY, 2017).



Figura 21 - Casa impressa em 3D. Fonte: (ICON, 2017).

5.1.2. Na Europa

A empresa italiana Centro Sviluppo Progetti (CSP), criou em 2012 o WASP (World's Advanced Saving Project), um projeto para criar soluções sustentáveis que deu início a uma impressora 3D capaz de construir casas. O resultado desse projeto foi a *BigDelta*, a maior impressora 3D do mundo, ilustrada na figura 22, com 12 metros de altura e 7 metros de largura, equipados com braços de 6 metros, que também são modulares. Todos os sistemas que compõem a máquina têm um comprimento máximo de 3 metros para serem carregados em um caminhão e facilmente transportados. A máquina criada pela CSP, que utiliza o método de *Contour Crafting*, foi desenvolvida com o objetivo de reduzir ao máximo o custo de construção. A *BigDelta* funciona a 220 volts, mas também pode operar a 60 volts, porque os motores foram projetados para serem alimentados por painéis solares (3dwasp, 2012).



Figura 22- A impressora Bigdelta. Fonte: (3dwasp, 2012).

Segundo a CSP, apesar de poder trabalhar com a argamassa como matéria prima, a *BigDelta* foi projetada para trabalhar com uma mistura à base de argila ou cal enriquecidas com cânhamo ou canapulo, plantas de fibras longas. As razões para essas escolhas são, além do objetivo de reduzir ao máximo os custos, pelo fato da fibra funcionar melhor quando é longa.

Atualmente, velocidade máxima de 400 mm/s. A velocidade de impressão também depende da quantidade de material presente dentro da extrusora. A primeira casa construída pela *BigDelta*, ilustrada na figura 23, possui 5 metros de diâmetro e 2,70 metros de altura, e demorou aproximadamente 2 dias para ser concluída. A casa utilizou 2 metros cúbicos de água e 200kWh de energia. O custo da construção foi de apenas 48 euros. A empresa ainda estimou que, caso a matéria prima fosse misturada com os pés ao invés de utilizar a maquina, o custo com energia (67% do custo total da obra), reduziria 90%. (3dwasp, 2012)



Figura 23- Etapa produção de casa utilizando a Bigdelta. Fonte: (3dwasp, 2012).

5.1.3. Na China

Pioneira na utilização de impressão 3D para construção de casas, escritórios e até prédios, a WISUN, empresa chinesa do ramo de construção civil utiliza o método de *Contour Crafting* para a elaboração de sua construção. A WISUN utiliza uma impressora que custou 3,2 milhões de dólares e possui 6,6 metros de altura, 10 metros de largura e 40 metros de comprimento e, ao contrario das outras impressoras utilizadas com essa finalidade, permanece fixa na fábrica da empresa. No local, cada detalhe da casa é impresso com a ajuda de apenas 3 funcionários, que em seguida, é transportado até o local da obra e, como se fosse uma peça pré-moldada, é encaixada de acordo com o projeto. Este esquema de produção da WISUN está representado na figura 24.(WISUN, 2018).



Figura 24- Metodo de produção da WISUN. Fonte: (WISUN, 2018).

Segundo a WISUN, 50% da sua matéria prima é proveniente de rejeitos de obras e mineiradoras. O rejeito é processado, misturado com fibra de vidro e um material aglutinante, criando um material patenteado denominado *Crazy Magic Stone*. Em 2014, a empresa utilizou seu sistema de produção para construir uma vila com 10 casas em menos de 24 horas. Cada casa, de aproximadamente 55 m² e ilustrada na figura 25a, custaram em média 4.800 dólares. Já em 2016, a WINSUN foi a primeira empresa a construir um prédio de 6,6 metros de altura, 10 metros de largura e 40 metros de comprimento, como mostra a figura 25b. A construção seguiu o modelo de produção de todas as peças na fábrica, e montagem no local da obra, no local, que recebeu reforço de aço e isolamento térmico e acústico.



a)

b)

Figuras 25a e 25b -Casa e prédio construído pela WISUN. Fonte: (WISUN, 2016).

5.1.4. No Brasil

A Inovahouse3D, startup idealizada dentro da Universidade Federal de Brasília – UNB se tornou a primeira startup da América Latina a estudar a aplicação de manufatura aditiva dentro do setor da construção civil. Apesar de ainda ser embrionária, ela já caminha para ser referência no Brasil. A empresa criou, em 2016, um protótipo do que seria a impressora, para que, em 2017, através de um financiamento, o produto final, uma impressora de larga escala, ilustrada na figura 26, fosse criada. Já em 2018, através de outro financiamento, a empresa avançou nos estudos da matéria prima da construção, o material cimentício que sera utilizado para construção das casas. Segundo Juliana Martinelli, fundadora e CEO da Inovahouse, a primeira casa utilizando a impressora sera construída ainda em 2019. (Inovahouse3D, 2019)



Figura 26-Impressora da Inovahouse3D em atuação. Fonte: (Inovahouse3D, 2019).

5.2. Metodologia mais adaptada para o mercado brasileiro

Ao se analisar todas as aplicações desenvolvidas no Brasil e no mundo, fica evidente que o método *Contour Crafting* é o mais adequado para a construção de habitações utilizando a impressora 3D, pelo fato de possuir a maior produtividade, o menor custo e a menor complexidade de matéria prima para a extrusão do concreto. Das 4 utilizações abordadas no tópico anterior, a empresa brasileira ainda se encontra em desenvolvimento, não fornecendo nenhum dado referente a custo ou eficiência da maquina. Sendo assim, para o tópico a seguir, somente os valores referentes a ICON, CSP e WISUN serão consideradas. Para resumir

qualitativamente as 3 tecnologias, o quadro 4 foi elaborado, reunindo os dados de qualidade, custo e eficiência.

Aspéctos Avaliados			
Técnica 3D	Tipo de Acabamento	Custo	Produtividade
ICON	Padrão	4000 Dólares	Aproximadamente 2,34 m ² /hora
CSP	Inferior	48 Euros	Aproximadamente 1,65 m ² /hora
WISUN	Superior	4800 Dólares	Aproximadamente 23,0 m ² /hora

Quadro 4- Resumo qualitativo das tecnologias. Fonte: (O próprio autor, 2019).

5.3.SIMULAÇÃO DE CUSTO PARA UMA HABITAÇÃO DO PROGRAMA MCMV

Para efeito de comparação, custos indiretos como a aquisição da impressora e depreciação do equipamento, além da qualidade final da construção não foram considerados por falta de informação disponível. Logo, somente o custo por metro quadrado de cada tecnologia foi considerado. Portanto, para simular o custo e comparar com o padrão de construção de habitações populares no Brasil, foram utilizados os dados referentes ao quadro 5, de uma habitação popular do tipo CP.1-2Q, construída no estado de São Paulo, com os valores referentes ao custo de projeto por m², desconsiderando as fundações, por tipo de projeto e padrão de acabamento aos dados publicados pelo IBGE, no mês de dezembro de 2018. Para fins de conversão, o câmbio no final de dezembro de 2018, representado no quadro 6, também foi utilizado. Por fim, a tabela 2 resumi os gastos, em reais, para a construção de uma habitação padrão do programa minha casa minha vida.

Custo de projeto m ² , por tipo de projeto e padrão de acabamento	
CP.1-2Q - Casa popular, 1 pavimento, varanda, sala, 2 quartos, circulação, banheiro e cozinha	
Unidade da Federação: São Paulo; Padrão de Acabamento: Mínimo	R\$ 810,29

Quadro 5- Valores de projeto de uma habitação do programa MCMV. Fonte: (IBGE, 2018).

Cotação Dolar (28 de Dezembro de 2018)	R\$ 3,88
Cotação Euro (28 de Dezembro de 2018)	R\$ 4,45

Quadro 6 - Cotação do Dolar e do Euro frente ao Real. Fonte: (Banco Central, 2018).

BASE	CUSTO/M ³	TAMANHO	CUSTO TOTAL
Custo ICON	R\$ 276,86	35	R\$ 9.690,00
Custo CSP	R\$ 2,72	35	R\$ 95,19
Custo WISUN	R\$ 338,27	35	R\$ 11.839,42
Custo IBGE	R\$ 810,29	35	R\$ 28.360,15

Tabela 2- Valores de projeto considerando uma casa no padrão do programa MCMV. Fonte: (O autor, 2019).

6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve dentre seus objetivos mostrar os avanços e tendências da impressão 3D, sua aplicação na construção civil e, principalmente, na construção de unidades habitacionais de baixa renda. A tecnologia de manufatura aditiva já trouxe grandes avanços para diversos setores da economia, reduzindo custos, aumentando a produtividade e possibilitando a customização de diversos itens.

A tecnologia de manufatura aditiva mostrou que é capaz de padronizar, gerar poucos resíduos e reduzir a mão de obra, todos esses problemas atuais da engenharia civil. A indústria da construção civil sempre se mostrou resiliente a grandes inovações, sendo técnicas artesanais e antiquadas sendo utilizadas com frequência até hoje, algo totalmente contrastante os avanços tecnológicos de outras indústrias.

A utilização da impressora 3D na engenharia civil é embrionária ainda. Estudos mostram que sua aplicabilidade pode ser enorme, porém, muito pouco se faz com esse potencial. A ciência BIM possibilitou a construção de maquetes via manufatura aditiva com maior facilidade e precisão. Mudanças significativas no projeto podem ser feitas facilmente, e tudo isso ser refletido na maquete, reduzindo assim prejuízos futuros com erros de projetos.

Levando-se em conta os métodos de extrusão de argamassas cimentícias, abordou-se as tecnologias mais avançadas no momento. As principais e mais promissoras se baseiam na extrusão da massa de concreto rica em aditivos, como é o caso do CC e do 3DCP. Já outras técnicas recorrem a utilização de um pó endurecido com uma substância aglutinante, como é o caso da D-Shape. Ademais, a impressão 3D mostrou seu potencial também na área de

recuperação de estradas, através do Addibot, que pode ser utilizado tanto preventivamente quanto paliativamente.

No que diz respeito a construção de moradias, a tecnologia 3D já é realidade de estudo, tanto na construção de casas pequenas e rudimentares, como em edificações com arquitetura mais rebuscada. Foram apresentados casos de casas construídas com impressão *in-situ*, utilizando um material mais industrializado ou utilizando somente matéria disponível na natureza, bem como edifícios que foram montados com paredes impressas em fábricas.

Porém, a primeira leva de conjuntos habitacionais só serão produzidos no ano de 2019. Com isso, dados como durabilidade, conforto térmico e acústico, ou qualquer outro dado qualitativo das habitações são escassos e de difícil acesso. Poucos dados relacionados a custo e produtividade estão disponíveis nesse quesito, mas já é o suficiente para se ter uma ideia de que a possibilidade de redução de custos e de ganho de velocidade na produção são diretamente proporcionais as expectativas da tecnologia.

Como sugestão de temas para demais trabalhos, a fim de desenvolver melhor o estudo sobre a aplicação desta tecnologia: o melhor tipo de material para ser usado como material de impressão; dados relativos a qualidade da construção, como tempo de vida útil, necessidade de manutenção e etc; e por fim, um estudo de caso de uma construção de uma casa utilizando essa tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3DPINTINGINDUSTRY. Disponível em: <<https://3dprintingindustry.com/>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

3D WASP, Home, 2012. Disponível em: <<https://www.3dwasp.com/>>. Acesso em: 31 jan. 2019.

AGUIAR, Magna Caires. Avaliação da prototipagem rápida em impressão 3d como uma inovação tecnológica aplicada ao desenvolvimento de produtos - um estudo multicaso. Projeto de graduação – UNIVEM, São Paulo. 2013.

AURICCHIO, C. E., 2016. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/observatoriodaconstrucao/boletim/ao-lado-de-skaf-diretor-do-deconcic-e-presidente-do-consic-participam-de-encontro-com-michel-temer/>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

BBC, 2014. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/02/150212_tucano_bico_rp>. Acesso em: 19 nov. 2018.

BONDUKI, Nabil. Origens da habitação social no Brasil. São Paulo: Estação Liberdade, 1998

Caixa Econômica Federal. Minha Casa Minha Vida, 2017. Disponível em:. Acesso em 25 de Fevereiro de 2019.

CONCRETE-3DPRINTER, 2018. Disponível em: < > ,

CARDOSO, A. L. (Org.). Habitação social nas metrópoles brasileiras. Rio de Janeiro: Finep/CEF, 2007.

CAVALCANTI, M. N. de A. A Utilização do Sistema BIM (Building Modeling Information) no Planejamento de Custos da Construção Civil. Trabalho Final de Graduação. UFRJ, Rio de Janeiro, 2016

CIMJECT. Laboratório de Projeto e Manufatura de Componentes de Plástico Injetados, 2009. Disponível em:< <http://www.cimject.ufsc.br> >Acesso em: 08 de Fev.2019

"Eastman, Chuck, et al. 2008. BIM Handbook. New Jersey : John Wiley & Sons, 2008."

DINI, E. 2009. Disponível em: < <https://d-shape.com>>. Acesso em: 15 Jan. 2019

EASTMAN, C. et al. BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. 2.ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.

FARMER, MARK. The FarmerReview of the UK Construction Labour Model. United Kingdom: Construction Leadership Council (CLC), 2016.

G1, Tucano que perdeu bico em ataque ganhará prótese impressa em 3D, 2015. Disponível em: < <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2015/02/tucano-que-perdeu-bico-em-ataque-ganhara-protese-impressa-em-3d.html>> Acesso em: 08 de Fev.2019

GARCIA, G. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/tecnologia/nova-tecnica-de-impresao-permite-a-deficientes-visuais-sentir-quadros-de-museu/>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

GUIMARÃES, A. H., Análise da viabilidade técnica e econômica de diferentes sistemas construtivos aplicados às habitações de interesse social de Florianópolis, nov de 2014. Disponível em:
<<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/127116/TCC%20Andrei%20Guimar%C3%A3es.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 23 de janeiro de 2018.

HOLZ, S. e MONTEIRO, T. V. de A. (2008) POLÍTICA DE HABITACÃO SOCIAL E O DIREITO A MORADIA NO BRASIL. X Coloquio Internacional de Geocrítica. Universidad de Barcelona, Barcelona, 2008

HOTZA, D. Prototipagem rápida de pilhas a combustível de óxido sólido. Revista Matéria. Florianópolis, vol. 14 no.4, 2009. Disponível em: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11102/#r8>. Acesso em: 03 de março de 2019.

KHOSHNEVIS, B. Offering Automated Construction of Various Types of Structures. Disponível em: <<http://contourcrafting.com/building-construction/>> Acesso em: 01 Mar. 2019, 19:43:21

INOVAHOUSE3D, 2019. Disponível em: <<http://inovahouse3d.com.br> > Acesso em: 01 de Mar. 2019

LARRONDO, R. Fabricantes de Impressoras 3D en Argentina. 2016

LBORO. Disponível em: <<http://www.lboro.ac.uk/enterprise/case-studies/3d-concrete-printing/>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

LE, T., AUSTIN, S., LIM, S., et al. Mix design and fresh properties for highperformance printing concrete. *Materials and Structures*, 45(8), 1221–1232. 2012.

NEW STORY, 2017. Disponível em: <<https://newstorycharity.org/3d-community/> > Acesso em: 08 de Fev.2019

NOVELLO, B. S. Estudo de caso de construção habitacional comunitária para baixa renda na cidade do Rio de Janeiro. Trabalho Final de Graduação. UFRJ, Rio de Janeiro, 2018

PAEZ, M. Estudo para o projeto de um mecanismo para uma máquina de modelagem por fusão e deposição/ Manuella Paez. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013

PAGGI, R. A. SINTERIZAÇÃO SELETIVA A LASER DE COMPÓSITOS COM GRADIENTE FUNCIONAL ENTRE POLIAMIDA 12 E NANOTUBOS DE CARBONO APLICÁVEIS NO SETOR AEROESPACIAL – Florianópolis, 2008

PARNAIBA, G. Estado de Minas, Garoto de 11 anos ganha prótese criada com impressora 3D em Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/01/28/interna_gerais,843090/garoto-se-emociona-ao-ganhar-protese.shtml> Acesso em: 08 de Fev.2019

PIERINI, A. J.; CORREA, A. L., Tipologias de Assentamentos Precários do Município de Itapetininga. Araraquara: Revista UNIARA, Volume 18, nº 2, 2015. RIOS, J. A. Capítulos da Memória do Urbanismo Carioca. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002

PORTO, T. M. S. Estudo dos Avanços da Tecnologia de Impressão 3D e da sua Aplicação na Construção Civil. Trabalho Final de Graduação. UFRJ, Rio de Janeiro, 2016

RIFRANO, L. Avaliação de projetos habitacionais. Determinando a funcionalidade da moradia social. São Paulo: Ensino Profissional, 2006

LE, T., AUSTIN, S., LIM, S., et al. Mix design and fresh properties for highperformance printing concrete. *Materials and Structures*, 45(8), 1221–1232. 2012.

SANTOS, F.C. dos, Desenvolvimento de software para equipamento de prototipagem rápida por sinterização seletiva a laser (SLS). Trabalho Final de mestrado. UFSC, Florianópolis, 2009

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, v. 1, 2016. 159 p. *The Fourth Industrial Revolution*.

SCULPETO, The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today, 2016. Disponível

em: <<https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/14/the-history-of-3d-printing-3d-printing-technologies-from-the-80s-to-today/>> Acesso em: 08 de Fev.2019

SILVA, L.F.C.N. da. Qualidade e produtividade na construção civil. Trabalho Final de mestrado. UFF, 2010.

WU, P., WANG, J., WANG, X. A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. Curtin University, 2016.

O Valor, Déficit de moradias no país já chega a 7,7 milhões, 2018. Disponível

em: <<https://www.valor.com.br/brasil/5498629/deficit-de-moradias-no-pais-ja-chega-77-milhoes>> Acesso em: 08 de Jan.2019

XPRESS3D. Fused Deposition Modeling Technology. Disponível em: <<http://www.xpress3d.com/FDM.aspx>>. Acesso em: 09 de Março de 2019.

YOSSEF, M., CHEN, A. Applicability and Limitations of 3D Printing for Civil Structures. Iowa State University. 2015.