

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Jaqueline Teresinha Ramos De Oliveira

**ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM ÂMBITO GLOBAL E NACIONAL**

**Santa Maria, RS
2019**

Jaqueline Teresinha Ramos De Oliveira

**ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO
CIVIL EM ÂMBITO GLOBAL E NACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Graduação
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Maria, como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad

**Santa Maria, RS, Brasil
2019**

Jaqueline Teresinha Ramos De Oliveira

**ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO
CIVIL EM ÂMBITO GLOBAL E NACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Graduação
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Maria, como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Engenheira Civil.

Aprovada em 19 de julho de 2019.

Gihad Mohamad, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Rogério Cattelan Antochaves de Lima, Dr. (UFSM)

Fernando Marcuzzo Dotto, Prof.(UFSM)

Santa Maria, RS, Brasil
2019

“Se você deseja vencer, aprenda a sorrir, além do cansaço.”

“Esperança vitoriosa é aquela que não deixa de trabalhar.”

Chico Xavier

Agradecimentos

A minha mãe Elenir, que nunca mediu esforços para a realização dos meus sonhos, por ter me tornado tão forte quanto ela, devo além desse título toda a minha vida.

Ao meu irmão Janquiel, que foi pai, irmão e filho em determinadas situações, por ser, juntamente com minha mãe, meu porto seguro.

Ao meu namorado e amigo Marcos, por estar ao meu lado em todos os momentos e acreditar (algumas vezes mais do que eu mesma) neste sonho de tornar-me Engenheira Civil.

As minhas amigas Juliana, Angeli e Isabel que deram significado a palavra amizade e que apesar de ausências e distâncias fazem parte da minha vida tornando-a mais colorida e leve.

Ao meu supervisor de estágio Engenheiro Rafael Cardoso que permitiu e incentivou meu crescimento profissional desafiando-me, constantemente, a posicionar-me perante diversas situações e por, pacientemente, ter contribuído com a solidificação de tantos ensinamentos adquiridos ao longo dos estágios.

Ao meu professor Engenheiro Civil Gihad Mohamad pela paciência e orientação dedicada a este trabalho.

Aos colegas e amigos da graduação Agatha Canelas, Tais Carvalho e Desirre Cureau, que compartilharam tantas situações ao longo destes, intermináveis, cinco anos e meio de curso.

Aos queridos Vinícius e Eduardo que tornaram cada xerox mais divertido e que me acompanharam mesmo antes de iniciar a trajetória na Engenharia Civil.

A querida Dona Loreci que entre tantos cafezinhos no RU tornou-se parte da minha rotina com seu Bom-Dia animado e todo carinho que sempre teve por mim.

A todos que de alguma forma participaram dessa caminhada e que trouxeram boas energias e lembranças a essa etapa da minha vida, meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL EM ÂMBITO GLOBAL E NACIONAL

AUTORA: Jaqueline Teresinha Ramos de Oliveira

ORIENTADOR: Gihad Mohamad

Este trabalho é um estudo bibliográfico da implementação da tecnologia de impressão 3D aplicada à construção civil em âmbito global e nacional. Por meio deste, procura-se estudar e divulgar a tecnologia para a comunidade em geral fornecendo uma análise dos impactos oriundos da sua implementação e possibilitando que a mesma possa ser considerada como uma opção dentre os métodos construtivos já existentes. A pesquisa parte do estudo da evolução histórica da tecnologia de impressão 3D e suas aplicações em diferentes áreas. Posteriormente, segue o estudo da tecnologia aplicada, especificamente, ao setor da construção civil, onde são observadas as técnicas empregadas, suas características, os materiais utilizados como matéria prima bem como as limitações tanto da técnica quanto da impressora 3D em si. Finalizando o estudo bibliográfico com o estudo e análise, aprofundados, da implementação da impressão 3D no setor da construção civil em âmbito global. A partir do embasamento teórico no tema, demonstra-se uma aplicação da tecnologia de impressão 3D ao setor da construção civil através de maquetes físicas para compreensão e compatibilização de projeto em alvenaria estrutural. Conclui-se, a partir de análise de aspectos como mão de obra, tempo de execução, tecnologia empregada, custos, qualidade da construção e impacto ambiental que a implementação da tecnologia de impressão 3D aplicada ao setor é capaz de promover uma elevação da qualidade da obra, tempos de execução enxutos, menores desperdícios e maior controle do processo construtivo como um todo por parte dos gestores sendo que, à medida que os custos iniciais tendem a cair, sua utilização tende a tornar-se mais viável economicamente.

Palavras-Chave: Impressão 3D. Construção Civil. Inovação Tecnológica.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF 3D PRINTING IN CIVIL CONSTRUCTION IN GLOBAL AND NATIONAL LEVEL

AUTHOR: Jaqueline Teresinha Ramos de Oliveira

ADVISOR: Gihad Mohamad

This work is a bibliographical study of the implementation of 3D printing technology applied to civil construction at a global and national level. Through this, it is sought to study and disseminate the technology to the community in general, providing an analysis of the impacts of its implementation and enabling it to be considered as an option among existing construction methods. The research is based on the study of the historical evolution of 3D printing technology and its applications in different areas. Subsequently, it follows the study of the technology applied, specifically, to the civil construction sector, where the techniques employed, their characteristics, the materials used as raw material as well as the limitations of both the technique and the 3D printer itself are observed. Finalizing the bibliographic study with the study and analysis, in depth, of the implementation of 3D printing in the civil construction sector at a global level. Based on the theoretical basis of the theme, an application of 3D printing technology to the construction industry is demonstrated through physical models for understanding and compatibilizing the structural masonry project. The analysis of aspects such as manpower, time of execution, technology used, costs, quality of construction and environmental impact that the implementation of 3D printing technology applied to the sector is able to promote shorter times, less waste and greater control of the general process of construction by managers, and as initial costs tend to fall, their use tends to become more economically viable.

Keywords: 3D Printing. Civil Construction. Technologic Innovation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Matéria prima sendo despejada no tanque de impressão	14
Figura 2- Charles Hull (à esquerda) junto ao protótipo do que viria a ser a impressora 3D.....	15
Figura 3– Impressora 3D	15
Figura 4– Peça impressa com uma impressora 3D SLS	16
Figura 5– Filamento para impressora 3D de tecnologia FDM	17
Figura 6– Processo de impressão 3D, esquematizado	19
Figura 7– Impressora 3D na embarcação USS Harry S. Truman.	20
Figura 8 - Peças de aeronaves impressas em 3D	21
Figura 9 - Urbee	22
Figura 10– Impressão 3D utilizada para estudo de cirurgias.....	23
Figura 11– Detalhe da altura da camada.....	24
Figura 12– Possibilidade de compatibilização de projetos	25
Figura 13– Peça impressa com a tecnologia Contour Crafting e preenchida com concreto	25
Figura 14– Impressora e peça impressa utilizando a tecnologia <i>Concrete Printing</i>	26
Figura 15– Impressora e peça impressa com a tecnologia D-Shape.....	27
Figura 16- Distribuição dos resultados da pesquisa por ano – 1ª publicação.	28
Figura 17- Gráfico 2: Percentagem de depósitos por país de origem	29
Figura 18- Gráfico 2: Distribuição por <i>status</i> legal	29
Figura 19- Gráfico 4: Distribuição dos documentos de patentes tecnologia da impressora 3D na construção civil depositadas no mundo entre os anos de 2005 e 2017 por tipo de depositante.	30
Figura 20– Aberturas são embutidas no material impresso	31
Figura 21– Empresa chinesa constrói primeiro edifício do mundo com uma impressora 3D	31
Figura 22– Desenho esquemático da impressora chinesa.....	32
Figura 23– Configuração distribuição das camadas cimentíceas	32
Figura 24– Detalhe do reforço feito em aço e das camadas impressas em 3D	33
Figura 25– Paredes impressas e montadas.....	33
Figura 26– Montagem in loco das paredes	33
Figura 27– Fachada da “Mansão” impressa pela WinSun.....	34
Figura 28– Imponência e beleza da mansão impressa pela empresa chinesa	35
Figura 29– Impressões da empresa chinesa WinSun.....	35
Figura 30– Abrigo impresso em 3D	36
Figura 31– Casa impressa em 3D	36
Figura 32– Casa impressa em 3D	36
Figura 33– Sobrado impresso em 3D	37
Figura 34– Processo de construção	37
Figura 35– Fase inicial da construção da casa resistente a terremotos	39
Figura 36– Conclusão da construção de casa resistente a terremotos.....	39
Figura 37– Vista lateral da casa impressa em 3D pela empresa HuaShang Tengda.....	40
Figura 38 - Falha de compatibilização de projetos	41
Figura 39– Impressora B-Hut.....	42

Figura 40– Casa impressa em 3D no Texas, EUA	43
Figura 41– Casa impressa em 3D no Texas, EUA	44
Figura 42– Projeção de vila com cinco residências impressa em 3D na Holanda	45
Figura 43– Detalhe da altura da camada impressa e do bocal com uma única saída.....	45
Figura 44– Holanda constrói ponte com impressora 3D em aço inoxidável	46
Figura 45 – MX3D imprime ponte em aço.....	47
Figura 46– Robôs holandeses imprimem ponte.....	47
Figura 47– Robôs imprimem pontes para canal holandês	47
Figura 48– Inaugurada primeira ponte impressa em 3D na Holanda	48
Figura 49– Inaugurada primeira ponte impressa em 3D na Holanda	48
Figura 50– Detalhes construtivos da casa impressa na França	49
Figura 51– Primeira casa construída com impressora 3D a receber moradores	50
Figura 52– Casa impressa em 3D na França	50
Figura 53– Paredes curvas melhoram a circulação de ar, reduzem a umidade e melhoram a resistência...51	
Figura 54– Primeira morada na Europa construída com impressora 3D	52
Figura 55– Primeira morada na Europa construída com impressora 3D	52
Figura 56– Detalhes internos expõem a tecnologia utilizada na construção da casa.	53
Figura 57– Primeiro escritório funcional construído por impressoras 3D	54
Figura 58 – Desenho esquemático protótipo RoboVAST	57
Figura 59– Projeto do protótipo da impressora RoboVAST	57
Figura 60– Startup Be More 3D constrói primeira impressora 3D da Espanha.....	58
Figura 61– Construção com 24m ² feita pela Be More 3D.....	59
Figura 62– Detalhe da estrutura da Impressora 3D de concreto da Be More 3D	59
Figura 63– Construção finalizada.....	60
Figura 64– Protótipo da impressora 3D de concreto desenvolvida pela InovaHouse3D.....	61
Figura 65– Protótipo da impressora 3D de concreto desenvolvida pela InovaHouse3D.....	62
Figura 66– Imagem da fábrica automatizada de concreto da Urban 3D.....	63
Figura 67– Maquete impressa em 3D.....	64
Figura 68– Projeto estrutural impresso em 3D	65
Figura 69- Ligação em L em parede estrutural	66
Figura 70- Ligação em T em parede estrutural	66
Figura 71- Ligação em T com bloco especial.....	66
Figura 72- Ligação entre parede estrutural e de vedação	66
Figura 73-Ligação ente parede estrutural e de vedação.....	66
Figura 74- Ligação em T em parede de vedação	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 A IMPORTÂNCIA DO TEMA	11
1.2 OBJETIVOS.....	11
1.2.1 Objetivo Geral	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
1.3 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA.....	12
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2 METODOLOGIA.....	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 UM POUCO DA HISTÓRIA DA IMPRESSÃO 3D.....	14
3.1.1 Aplicações Gerais	19
3.2 TIPOS DE IMPRESSÃO 3D APLICADAS À CONSTRUÇÃO CIVIL	24
3.2.1 Contour Crafting – CC	24
3.2.2 Concrete Printing.....	25
3.2.3 D-Shape	26
3.2.4 Análise Comparativa das Principais Tecnologias	27
4 ESTADO DA TECNOLOGIA NO ÂMBITO GLOBAL E NACIONAL.....	28
4.1 ESTADO DA TECNOLOGIA NO ÂMBITO GLOBAL.....	28
4.1.1 China.....	30
4.1.2 EUA.....	41
4.1.3 Holanda.....	44
4.1.4 França	49
4.1.5 Rússia	51
4.1.6 Emirados Árabes	53
4.1.7 Romênia.....	56
4.1.8 Espanha.....	58
4.2 ESTADO DA TECNOLOGIA NO ÂMBITO NACIONAL	60
5 APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D ATRAVÉS DE PROTÓTIPOS FÍSICOS EM PROJETO DE ALVENARIA ESTRUTURAL	64
6 CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

1.1 A IMPORTÂNCIA DO TEMA

Apesar da crise internacional e desaceleração do setor nos últimos anos, a construção civil continua sendo uma das áreas mais importantes para a economia brasileira.

O setor demonstra sua força ao movimentar até o terceiro trimestre de 2018, aproximadamente, 9,5% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e empregar cerca de 10,3 milhões de trabalhadores segundo o consultor do Departamento de Construção Civil da Fiesp, Fernando Garcia (G1.GLOBO, 2018).

Neste contexto de crise, a busca por novas tecnologias que possibilitem reduzir custos, aumentar a lucratividade e reduzir desperdícios é ainda maior e rompe com a estrutura convencional fazendo com que as empresas busquem se atualizar e adequar-se as necessidades e tendências do mercado.

Contudo, a construção civil é um dos setores mais atrasados em relação às novas tecnologias e métodos construtivos em comparação à evolução que vemos, constantemente, em áreas como informática, nanotecnologia ou robótica.

Este trabalho visa estudar e divulgar a Impressão 3D aplicada à construção civil para a comunidade em geral fornecendo uma análise dos impactos oriundos da sua implementação e possibilitando que a mesma possa ser considerada como uma opção dentre os métodos construtivos já existentes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar e analisar os avanços bem como os impactos da implementação da tecnologia de impressão 3D na construção civil abordando o contexto global e nacional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Estudar o panorama de uso da impressão 3D na construção civil a nível global, estabelecer materiais, técnicas e resultados obtidos até o momento.

- b) Analisar os impactos oriundos da implementação desta nova tecnologia no setor da construção civil levando em consideração os seguintes pontos: mão de obra, tempo de execução, tecnologia empregada, custos, qualidade da construção e impacto ambiental.
- c) Demonstrar aplicação da tecnologia através de protótipos físicos para compreensão e compatibilização de projetos em alvenaria estrutural.

1.3 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

A construção civil é responsável por uma parcela significativa do PIB brasileiro, mas também é responsável por uma grande quantidade de resíduos, desperdício de materiais e mão de obra e elevado número de acidentes. E com tamanho atraso, o déficit habitacional é assustador e a qualidade das habitações, questionável.

Constantemente, ouve-se que a cada três prédios construídos o quarto se perde tamanho o desperdício do setor. Contudo, alguns autores, como Vahan Agopyan, após pesquisas, esclarecem sobre os dados reais desta perda:

Hoje já se sabe que as perdas de materiais - que viram entulho ou ficam incorporados à obra - chegam a 8%. "Ainda é muito", concorda Vahan Agopyan, vice-diretor da Escola Politécnica da USP, "mas está longe daquele número aleatório que se difundiu na década de 80" (TECHNE, 2001).

Percebe-se que, equivocadamente, as perdas totais eram pensadas ou entendidas como sendo apenas de materiais. Contudo, as perdas com mão de obra em retrabalhos, problemas da logística de materiais dentro do canteiro, falhas no cronograma de locação de máquinas e equipamentos impactam tanto quanto as relativas aos insumos.

A partir de dados alarmantes e de diversas pesquisas que buscam entender e solucionar tantas falhas vinculadas ao setor, a inovação tecnológica torna-se extremamente necessária e para muitas empresas é o que define a permanência ou não no mercado.

A implementação da impressão 3D na construção civil é considerada por alguns entusiastas da tecnologia como sendo uma das soluções para muitos dos impasses desse setor uma vez que possibilita a redução dos desperdícios com materiais, mão de obra e possibilita um controle maior de toda a logística dentro do canteiro por parte dos gestores.

No entanto, o desconhecimento da tecnologia em âmbito nacional é notório e evidencia a necessidade de estudos, publicações e debates a fim de esclarecer seus benefícios, aplicações, limitações possibilitando seu emprego e, quem sabe, uma maior produtividade no setor.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em sete capítulos: I. Introdução, II. Fundamentação Teórica, III. Estado da Tecnologia no âmbito global e nacional, IV. Análise dos Impactos oriundos da implementação da Impressão 3D na Construção Civil, V. Uso de Protótipos Físicos para Compatibilização e Compreensão de Projetos em Alvenaria Estrutural, VI. Conclusões;

I. Introdução: apresenta a importância do tema, os objetivos do trabalho, a justificativa da escolha do tema e a metodologia aplicada.

II. Fundamentação Teórica: aborda a história do surgimento da tecnologia de impressão 3D, suas aplicações gerais bem como o estudo da tecnologia de impressão 3D aplicada à construção civil. Apresentando as principais técnicas empregadas, suas características, limitações e materiais empregados.

III. Estado da tecnologia em âmbito global e nacional: aborda o estado da tecnologia de impressão 3D aplicada à construção civil em âmbito global e nacional, analisando as técnicas e resultados obtidos na construção civil considerando qualidade das construções, prazo, custos e materiais.

IV. Aplicação da tecnologia de impressão 3D na construção civil através de maquetes físicas a projetos em alvenaria estrutural;

V. Conclusões: trata-se das considerações finais do trabalho; onde será feita a análise dos impactos oriundos da implementação da Impressão 3D na construção civil.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho é uma revisão bibliográfica de cunho exploratório que visa estudar e analisar a implementação da impressão 3D na construção civil em âmbito global e nacional.

O trabalho inicia pela história da evolução da tecnologia de impressão tridimensional e posterior estudo detalhado da tecnologia aplicada, especificamente, à

construção civil por meio de pesquisa sobre o tema em monografias, dissertações de mestrado e teses de doutorado, além de revistas de tecnologia, publicações e pesquisas em sites eletrônicos.

Após embasamento sobre a aplicação da tecnologia na construção civil, far-se-á o estudo sobre sua implementação bem como seus impactos em nível global.

E por fim, realizar-se-á demonstração de uma das aplicações da Impressão 3D na construção civil, através de maquetes físicas para análise e compreensão de projetos em alvenaria estrutural, especificamente.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 UM POUCO DA HISTÓRIA DA IMPRESSÃO 3D

Através de diversas pesquisas sobre a tecnologia de impressão tridimensional pode-se estabelecer o seguinte cronograma elencando os avanços considerados mais significativos ao longo de sua evolução:

- 1980: Primeira patente de prototipagem rápida feita pelo Japonês Dr. Kodama;

O advogado japonês, do Instituto Industrial de Investigação de Nagoya, Hideo Kodama foi o primeiro a descrever e registrar a abordagem de formação de objetos por camadas sobrepostas em que uma luz ultravioleta endurecia polímeros fotossensíveis inicialmente em estado líquido de acordo com um modelo tridimensional pré-estabelecido.

Figura 1- Matéria prima sendo despejada no tanque de impressão



Fonte: WISHBOX (2019).

- 1984: Tecnologia de prototipagem rápida denominada por Estereolitografia (SLA¹) foi abandonada por um time de engenheiros franceses;

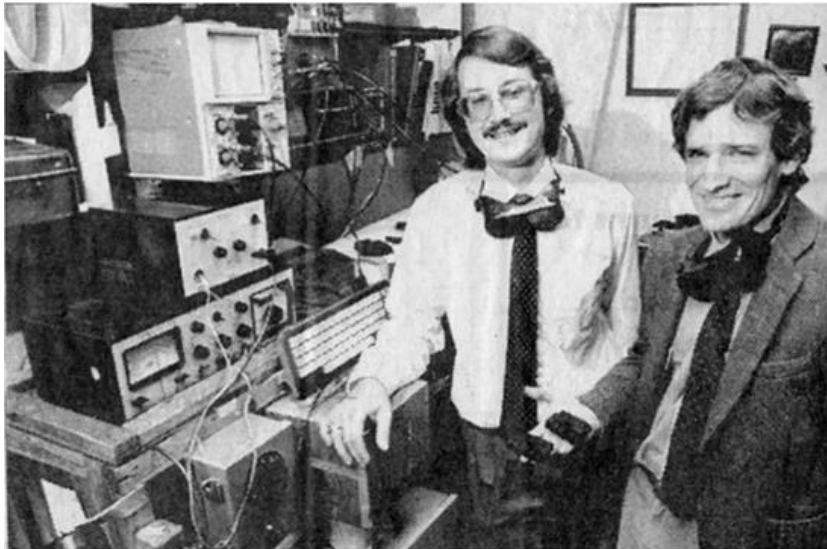
¹ Sigla para Stereolithography Apparatus, ou “Aparelho de Estereolitografia”. É nada mais que uma máquina de fabricação de aditivos usando o processo SL para impressão em 3D.

Por falta de investimentos para desenvolver a tecnologia um grupo de engenheiros franceses desistiu das suas pesquisas relacionadas ao tema.

- 1984: Charles Hull desenvolve sua impressora 3D;

O engenheiro norte-americano Charles Hull, do Colorado, colocou em funcionamento a primeira impressora 3D utilizando a Estereolitografia.

Figura 2- Charles Hull (à esquerda) junto ao protótipo do que viria a ser a impressora 3D

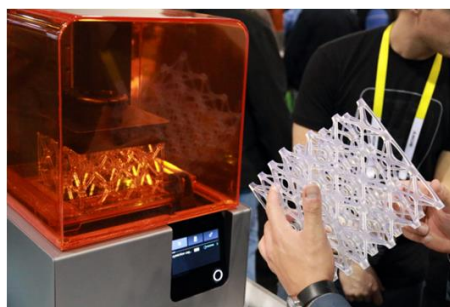


Fonte: WISHBOX (2019).

- 1986: Charles Hull patenteia a Estereolitografia;

Hull patenteou a tecnologia SLA e fundou a 3D Systems Corp. iniciando a comercialização das impressoras 3D.

Figura 3– Impressora 3D



Fonte: WISHBOX (2019).

- 1987: Primeira máquina de Estereolitografia a venda (SLA-1);

Lançado, nos EUA, o primeiro sistema de prototipagem rápida disponível comercialmente desenvolvido por Hull.

- 1988: Primeira máquina de Sinterização Seletiva à Laser (SLS²);

Carl Deckard, da universidade do Texas, protocolou patente de tecnologia similar à SLA. Denominada de sinterização seletiva à laser, ou SLS, a nova tecnologia difere da sua precursora pelo fato de não mais utilizar como material de impressão polímeros fotossensíveis em estado líquido mas sim em estado sólido.

Wishbox Technologies detalha o procedimento:

O polímero é alocado em um container/recipiente, onde uma lâmina de recobrimento distribui uma fina camada de material sobre a área de construção. Um laser de alta potência combina as pequenas partículas de material para formar uma única camada horizontal de acordo com os dados do CAD³. O recipiente então move uma fração de milímetro para iniciar uma nova camada, e uma lâmina de recobrimento desliza pela área de construção para depositar uma nova camada de matéria-prima. O pó não fundido é reciclado, sendo peneirando e misturando ao pó não utilizado. Esse processo é repetido até que o objeto fique pronto.

Figura 4— Peça impressa com uma impressora 3D SLS



Fonte: WISHBOX (2019).

Essa tecnologia é mais cara do que a anterior, contudo a liberdade de criação de peças complexas em alta qualidade é significativa se comparada aos custos.

- 1990: Primeiro sistema de EOS Stereos⁴.

² Sigla para Selective Laser Sintering é uma manufatura aditiva (MA) que utiliza um laser para sinterizar material plástico em pó em uma estrutura sólida com base em um modelo 3D.

³ Sigla para computer aided design (desenho assistido por computador) é o nome genérico de sistemas computacionais (software) utilizados pela engenharia, geologia, geografia, arquitetura e design para facilitar o projeto e desenho técnicos.

⁴ Sigla para Eletro Optical Systems.

Na Europa, a empresa EOS GmbH foi fundada e criou o primeiro sistema EOS “Stereos” para prototipagem industrial e aplicações da impressão 3D.

- 1992: Patente da tecnologia de FDM⁵ pela Stratasys;

Co-fundador da Stratasys, Scott Crump, protocola patente para tecnologia de modelagem por fusão e deposição, denominada FDM, considerada a terceira tecnologia para impressão 3D desenvolvida.

A FDM é a tecnologia mais comumente utilizada atualmente devido a sua facilidade de uso e seu custo com matéria prima significativamente inferior às demais utilizando como matéria prima o filamento.

Os filamentos têm um diâmetro constante de 1,75 mm ou 2,85 mm, e são geralmente termoplásticos enrolados em uma bobina. No processo FFF o filamento é extrusado por um bico aquecido, o qual é montado em um sistema de movimentos lineares que se move ao redor de uma área de impressão (WISHBOX TECHNOLOGIES, 2018).

Figura 5– Filamento para impressora 3D de tecnologia FDM



Fonte: IMPRESSÃO 3D - MUNDO 3D (2019).

Assim, em menos de 10 anos houve a criação das três principais tecnologias de impressão 3D.

- 1993: Solidscape foi fundada;

As ferramentas CAD para impressão 3D começaram a ficar mais acessíveis e desenvolvidas, como exemplo a criação do Sanders Prototype (hoje conhecido como Solidscape), um dos primeiros players a desenvolver ferramentas específicas para manufatura aditiva.

⁵ Sigla para Fused Deposition Modeling ou ainda FFF.

- 1999: Avanços na medicina com a impressão 3D;

Cientistas do Instituto Wake Forest de Medicina Regenerativa dos EUA imprimiram uma forma em colágeno de uma bexiga humana e depois depositaram células do paciente que geraram um novo tecido com o formato da forma impressa sendo depois implantado no paciente.

- 2000: Criação de um rim por meio da impressão 3D;

Um grupo de cientistas chinês, da Universidade de Ciência e Tecnologia de Huazhong, produziu um rim em miniatura.

Foi necessário cultivar células de rins vivos em um grande volume e misturá-las com hidrogel e água. Dessa maneira, eles conseguiram criar uma espécie de gel que serviu como matéria prima para a impressora 3D construir o pequeno rim.

Contudo, somente em 2013 houve o primeiro transplante para um paciente, sendo que o órgão impresso transplantado provou funcionar perfeitamente.

- 2006: Um projeto aberto foi iniciado, o chamado RepRap;

O projeto RepRap consiste em um projeto aberto, onde qualquer pessoa pode modificar, corrigir ou até mesmo deletar partes do código de programação da impressora, que possibilita a auto-replicação de uma impressora 3D. Esse projeto possibilitou a difusão das impressoras 3D desktop utilizando a tecnologia FDM aumentando a popularidade da tecnologia na comunidade maker.⁶

- 2008: Foi impresso em 3D a primeira prótese de perna;

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.

- 2009: A patente de FDM caiu no domínio público;

Desencadeando uma nova onda de inovação tratando-se desta tecnologia, com queda acentuada de preços, dado que a tecnologia estava mais acessível e com aumento de visibilidade.

- 2010: Urbee é o primeiro carro prototipado em impressoras 3D;

- 2011: Universidade de Cornell começa a produzir impressora 3D de comida;

- 2012: A primeira prótese mandibular foi impressa e implantada;

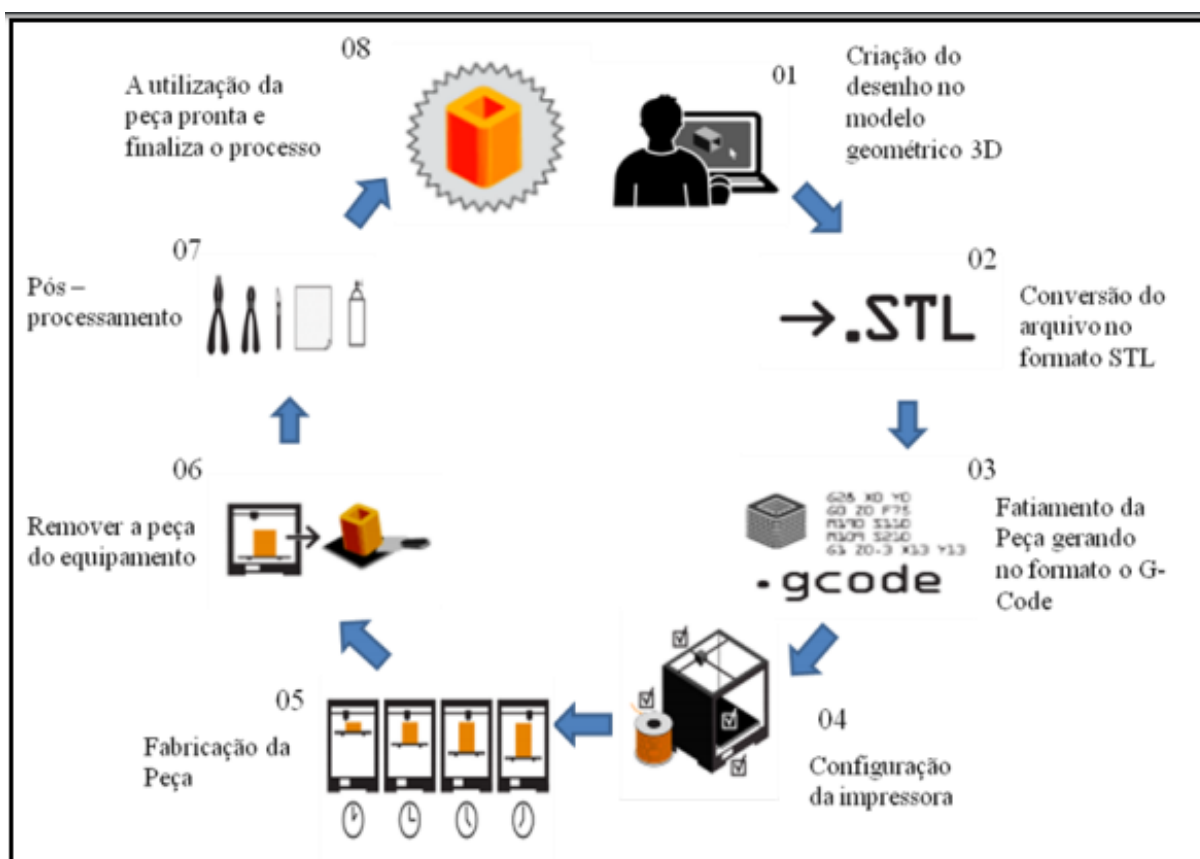
⁶ O movimento Maker é uma extensão da cultura Faça-Você-Mesmo ou, em inglês, Do-It-Yourself. Esta cultura moderna tem em sua base a ideia de que pessoas comuns podem construir, consertar, modificar e fabricar os mais diversos tipos de objetos e projetos com suas próprias mãos.

Após impasse inicial sobre o implante de peças impressas em 3D em pacientes ser analisado e aceito entre a comunidade médica se obteve o precedente necessário para o uso da tecnologia em diversas outras aplicações dentro da medicina.

- 2013: Impressão 3D foi dita pelo presidente dos EUA Barack Obama, como tecnologia estratégica para o futuro;
- 2016: Carbon3D lança sua primeira impressora 3D, com sua tecnologia revolucionária de alta velocidade, utilizando a técnica de SLA;

O processo de fabricação utilizando a impressão 3D, resumidamente, é demonstrado na imagem abaixo:

Figura 6– Processo de impressão 3D, esquematizado



Fonte: ROCHA, D. ; SANTOS, L. (2018).

3.1.1 Aplicações Gerais

Dentre tantas aplicações que têm surgido, seguem abaixo as principais elencadas por PORTO (2016, p. 18-22):

- **Naval:** O porta-aviões americano USS Harry S. Truman e o navio de assalto anfíbio USS Kearsarge foram equipados com impressoras 3D para a produção de peças personalizadas para consertar seus navios.

A Marinha Real britânica lançou uma aeronave feita por impressora 3D a partir do navio HMS Protector. O navio de patrulha quebra gelo, que navegava pelas águas da Antártida, fabricou o drone a bordo e utilizou o pequeno avião de controle remoto para explorar uma rota livre de gelo. Com o desenvolvimento das impressoras, a tecnologia será utilizada para criar drones maiores, possibilitando que um navio porta-aviões não seja apenas um aeroporto flutuante, mas uma fábrica de aviões flutuante (MIZOKAMI, 2016).

Figura 7– Impressora 3D na embarcação USS Harry S. Truman.



Fonte: VERGAKIS (2015).

- **Aeroespacial:** Benefícios como a redução do tempo de fabricação das peças e a diminuição do peso dos aviões que resultam na redução do consumo de combustível e na emissão de poluentes no ar alavancam o uso da tecnologia nesse setor. Além disso, em vez de armazenar peças nos respectivos hubs⁷, as companhias economizam espaço e simplificam a logística ao simplesmente imprimí-las.

As grandes companhias mundiais de fabricação de aeronaves já empregam amplamente a tecnologia 3D em seus processos produtivos. A companhia norte-

⁷Hub ou entreposto: pode ser um estabelecimento, complexo ou cidade situado geograficamente na rota estratégica entre dois ou mais polos de interesse econômico: geralmente, entre o polo produtor e o polo consumidor.

americana Boeing já produziu mais de 20.000 peças impressas em 3D. Essas peças são utilizadas em 10 tipos diferentes de aviões militares e comerciais. A companhia aérea tem ainda construído uma cabine inteira usando uma das impressoras da Stratasys (KRASSENSTEIN, 2015).

Já a empresa aeroespacial francesa, Airbus, apresentou um mini avião chamado Thor, o primeiro impresso em 3D no mundo das aeronaves. Construído com apenas 50 peças produzidas a partir de uma substância chamada poliamida, um polímero sintético, o avião pesa 22 quilos e tem quatro metros de comprimento. O projeto faz parte dos estudos que a fabricante vem fazendo para incluir esse tipo de tecnologia em sua produção (WISHBOX, 2016).

Enquanto pesquisas na Europa e nos EUA estão se concentrando mais na impressão 3D de peças menores, a China apresenta resultados promissores para as partes de seções maiores. Pesquisadores da Universidade de Pequim, desenvolveram 50 peças grandes de ligas de titânio impressas para aeronaves, aviões e até mesmo novos foguetes (Figura 8). Utilizaram-se da tecnologia SLS para fabricação das peças, apresentando propriedades mecânicas fortes, devido ao fato de que as peças são impressas em unidades grandes comparadas a outros métodos com peças menores que precisam ser montadas (HIPOLITE, 2015).

Figura 8 - Peças de aeronaves impressas em 3D



Fonte: HIPOLITE (2015).

-Automotivo: As maiores fabricantes de automóveis ao redor do mundo estão usando impressoras 3D, a fim de acelerar e melhorar o design e os processos de construção. A Ford, por exemplo, já imprimiu 500.000 partes de automóveis e economizou bilhões de dólares e milhões de horas de trabalho (FORD, 2016). A tecnologia é capaz de produzir

desde volantes, passando pelos assentos dos automóveis, até partes do motor dos veículos.

Em 2011, a Kor Ecologic lançou o primeiro carro com toda a carroceria feita por impressão 3D, como peso de apenas 544 kg, o que contribui para fazer uma média de 100km/l (Figura 9).

Figura 9 - Urbee



Fonte: AUTOESPORTE (2014).

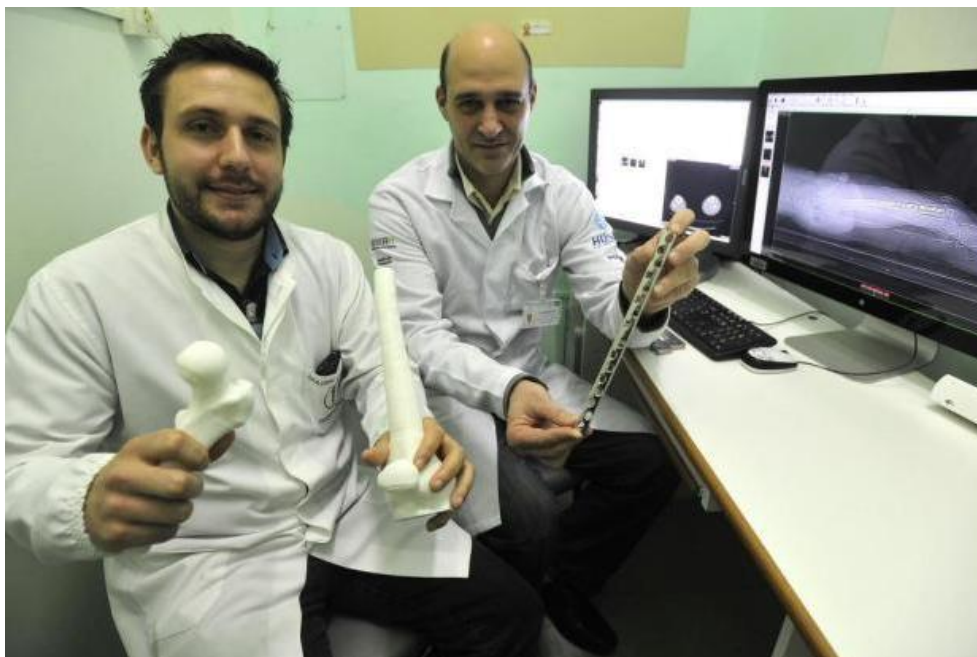
-Medicina: desde 1999 a impressão tem sido usada na área médica

A impressão de réplicas de órgãos apresenta uma série de funcionalidades. Estudantes de Medicina de diversas Universidades tem a possibilidade de aprender sobre o funcionamento do corpo humano, sem depender de cadáveres. Em outro exemplo, médicos da Universidade de Buffalo, Nova York, usaram imagens de tomografias para imprimir uma réplica em tamanho real do sistema vascular dos pacientes. Assim, os profissionais podem praticar melhor antes das cirurgias, diminuindo o tempo de operação e conseqüentemente os riscos (MEARIAN,2015).

Recentemente, em 2016, o jornal Diário de Santa Maria, 2016, noticiou que “Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM), adquiriu duas impressoras 3D que devem facilitar e agilizar os procedimentos cirúrgicos”.

O dentista e professor Gustavo Dotto, idealizador do projeto, explica que “[] o processo consiste em três etapas”. Simplificadamente, a primeira delas é fazer uma imagem da parte do corpo que precisa ser tratado, por meio de uma tomografia, após, a imagem é tratada para ser impressa em 3D e segue então para a impressão.

Figura 10– Impressão 3D utilizada para estudo de cirurgias.



Fonte: DIVULGAÇÃO DIÁRIO DE SANTA MARIA (2016).

Uma equipe médica da Universidade Biomédica de Hasselt, Bélgica, implantou uma mandíbula artificial de titânio em uma paciente de 83 anos (BBC NEWS, 2012).

O francês Nicolas Huchet, de 32 anos, desenvolveu uma técnica para produzir uma prótese de mão de baixo orçamento para si mesmo usando uma impressora 3D. Segundo ele o custo de fabricação ficará entre 1 mil e 1,5 mil euros, vinte vezes mais barato que as versões comerciais disponíveis (SIMON, 2015).

Os avanços da tecnologia de impressão 3D são constantes e abrangem praticamente todo e qualquer setor produtivo modificando a velocidade de produção, os custos, mão-de-obra e materiais utilizados. Peças de reposição de máquinas e equipamentos, protótipos físicos, e até mesmo órgãos humanos são impressos e cumprem sua função satisfatoriamente.

Apesar do setor da construção civil ser considerado um dos mais atrasados em relação à inovação tecnológica não houve maneiras de se manter imparcial em se tratando de impressão 3D. Pesquisadores e empresários de diversos países estudam a tecnologia voltada para a construção civil e desenvolvendo diferentes técnicas e matérias primas derivadas dessas pesquisas como abordaremos a seguir.

3.2 TIPOS DE IMPRESSÃO 3D APLICADAS À CONSTRUÇÃO CIVIL

3.2.1 Contour Crafting – CC

Criada e desenvolvida por Khoshnevis, na University of Southern Califórnia, teve suas primeiras publicações em 1998 e desde então tem sido aprimorada e servido como base para o desenvolvimento de outras técnicas e tecnologias.

Nesse método, o bocal de extrusão usado para criar elementos estruturais através da deposição de camadas, possui múltiplas saídas. Sendo que, basicamente, temos uma saída para cada uma das laterais e outra apontada para o núcleo, fazendo o preenchimento interno.

Dessa forma, é possível ajustar os bocais para criar superfícies não-ortogonais tais como cúpulas e abóbadas bem como a extrusão de múltiplos materiais como por exemplo: gesso, para as camadas externas e concreto para a camada de preenchimento interno.

Limitações dessa técnica são sentidas em relação à necessidade de utilização de moldes, que não podendo ser retirados da estrutura acabam por fazer parte da mesma, bem como a necessidade de estruturas de reforço para possibilitar a criação de vãos e aberturas ou formas geométricas mais complexas.

Essas limitações, em grande parte, se devem ao fato da técnica utilizar uma altura de camada relativamente grande (20 mm) o que por um lado proporciona maior velocidade de construção também reduz a capacidade construtiva da máquina em relação a formas geométricas complexas.

Figura 11– Detalhe da altura da camada



Fonte: IMAGEM YOUTUBE (WHY DESIGN NOW?: CONTOUR CRAFTING) (2010).

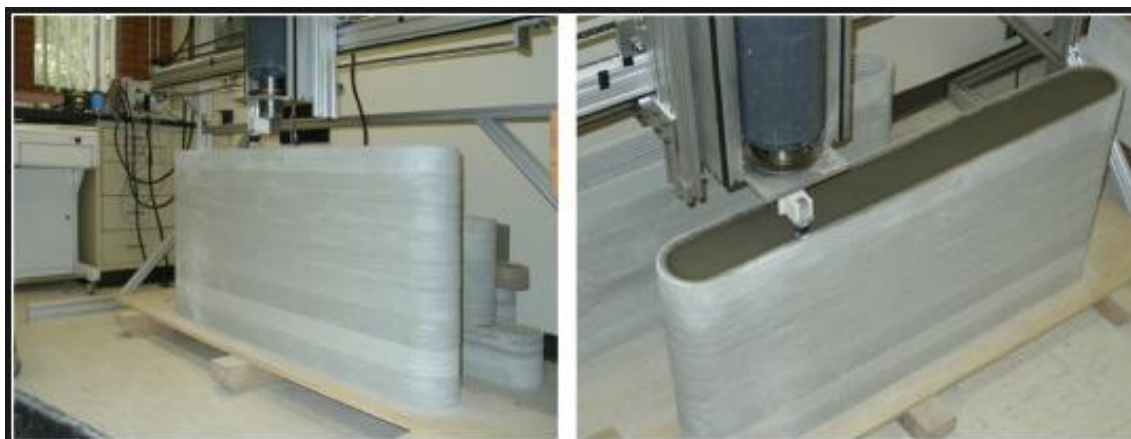
Podemos observar na Figura 12 a estrutura externa e interna das paredes. Além disso, a compatibilização entre os projetos tem sido estudada através da tecnologia.

Figura 12– Possibilidade de compatibilização de projetos



Fonte: ENGIOBRA (2014).

Figura 13– Peça impressa com a tecnologia Contour Crafting e preenchida com concreto



Fonte: B. ZAREIYAN, B. KHOSHNEVIS (2017).

3.2.2 Concrete Printing

Conhecendo-se as limitações da técnica pioneira, pesquisas iniciaram em Loughborough University trazendo avanços no campo do uso da impressão 3D na

construção civil através da técnica *Concrete Printing* tendo como base a extrusão em argamassa de cimento.

Com a mudança na escolha do material a ser utilizado para impressão tornou-se possível aumentar a resolução da impressão reduzindo a altura da camada de 20 mm para 4-6mm proporcionando uma maior liberdade construtiva e permitindo maior controle da geometria interna e externa da estrutura.

Figura 14– Impressora e peça impressa utilizando a tecnologia *Concrete Printing*



Fonte: LIM et al. (2012).

3.2.3 D-Shape

Desenvolvida por Enrico Dino essa técnica se diferencia das duas anteriores por não imprimir as peças por meio da extrusão de material em camadas e sim por fazer a deposição de material ligante sobre o pó utilizado como insumo.

Camadas de areia são feitas com a espessura desejada e compactadas para receberem o material aglutinante onde se deseja uma estrutura sólida e servindo de base para as camadas subsequentes onde não se deseja uma estrutura rígida.

Após a conclusão da impressão é feita a escavação da estrutura de dentro da camada de pó não solidificado pelo aglutinante.

A dificuldade dessa técnica se encontra na construção das camadas de areia para receber o aglutinante e ao término a escavação da peça sólida de dentro da areia excedente.

Figura 15– Impressora e peça impressa com a tecnologia D-Shape



Fonte: WOLFES (2015).

3.2.4 Análise Comparativa das Principais Tecnologias

PORTO, T. (2016) compara as técnicas e resume que, concebidas para impressão em concreto, as três técnicas são baseadas na fabricação aditiva e apesar de possuírem semelhanças, são distintas em vários aspectos como material utilizado, local de impressão, transposição de vãos entre outros.

Sendo que a maior vantagem do processo de extrusão em relação ao de deposição se tem pela independência do design em relação ao material a ser extrudido, conferindo maior flexibilidade e possibilitando desassociar decisões de design ou pelo menos adiá-las.

Já na deposição tem-se a necessidade de se conhecer as características exatas do material a ser utilizado antes mesmo de se iniciar a modelagem da peça e estruturação do projeto.

Outra diferença se tem em relação à criação de vãos onde a D-Shape e Contour Crafting necessitam de apoio adicional para criar estruturas em balanço enquanto a Contour Printing necessita apenas da criação de uma verga de auxílio confeccionada com o próprio material extrudido durante a impressão da estrutura.

Além das citadas acima, outra distinção entre as técnicas é em relação ao local de impressão. Enquanto a D-shape e a Concrete Printing são impressoras montadas sobre pórticos a CC foi desenvolvida para ser um dispositivo montado na grua para aplicações in situ.

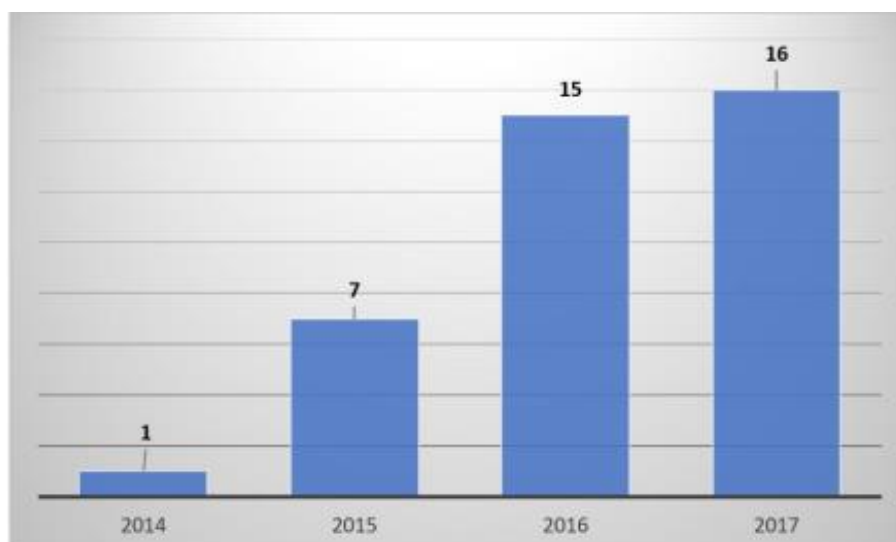
Outras tecnologias surgem em paralelo ao desenvolvimento das três citadas acima as usando como base e melhorando alguma(s) de suas características.

4 ESTADO DA TECNOLOGIA NO ÂMBITO GLOBAL E NACIONAL

4.1 ESTADO DA TECNOLOGIA NO ÂMBITO GLOBAL

Em nível nacional, o tema impressão 3D ainda destoa do cotidiano e apresenta-se como um futuro um tanto distante, principalmente do setor da construção civil. Mas, em nível global, tem crescido, notoriamente, o número de publicações sobre concreto para impressoras 3D nos últimos quatro anos e de acordo com estudos de Florêncio (2017, p. 584) temos os dados da Figura 16- Distribuição dos resultados da pesquisa por ano – 1ª publicação. Figura 16:

Figura 16- Distribuição dos resultados da pesquisa por ano – 1ª publicação.



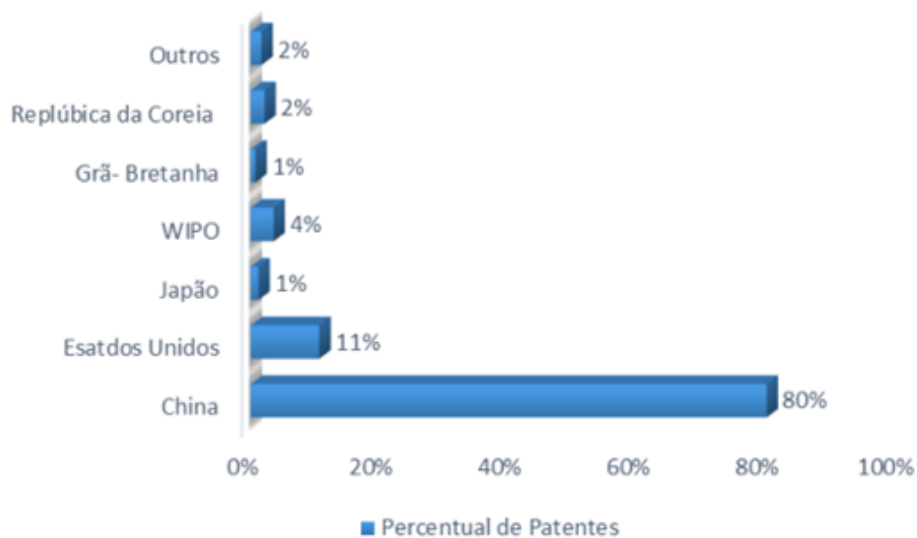
Fonte: FLORÊNCIO E. Q. (2017).

A análise dos dados fornecidos pelas patentes coletadas indicou um aumento quantitativo dos depósitos nos anos de 2016 e 2017, com uma concentração de 79,49% das amostras consideradas neste período, evidenciando um crescente interesse na referida tecnologia nos últimos dois anos (FLORÊNCIO, E. Q., 2017).

Segundo Florêncio (2017, p. 587), “[...] a China se apresenta como o grande centro de desenvolvimento de concreto para Impressão 3D, detendo 89,74% dos depósitos de patentes consideradas relevantes”.

Um ano após, Paim (2017, p. 468), reafirma essa supremacia chinesa e destaca o crescente interesse dos americanos ao tema, como vemos abaixo:

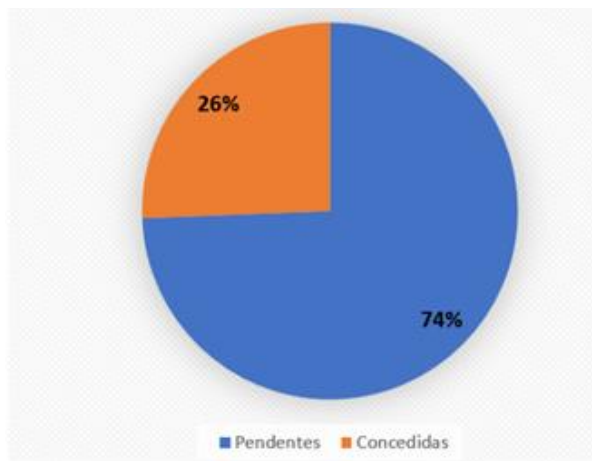
Figura 17- Gráfico 2: Percentagem de depósitos por país de origem



Fonte: PAIM, F.G. (2017).

Outro dado elencado por Florêncio (2017, p.584) que chama a atenção é o grande número de patentes com pedidos pendentes relacionadas ao tema concreto para impressão 3D em nível global:

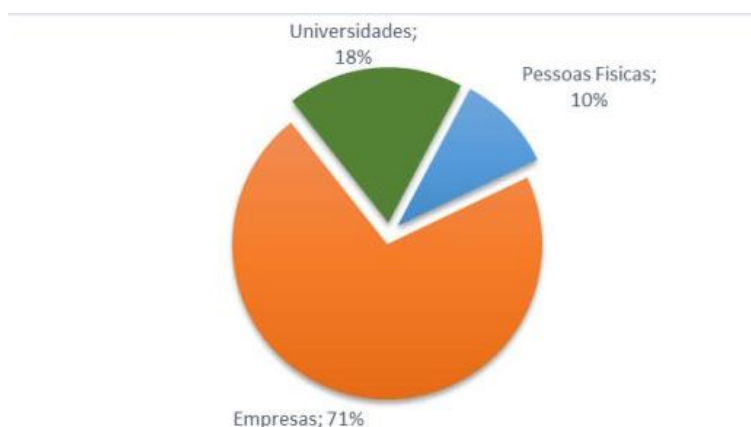
Figura 18- Gráfico 2: Distribuição por *status* legal



Fonte: FLORÊNCIO, E. Q.(2017).

Por tipo de depositante, temos uma maior concentração de pedidos de patentes relacionadas ao tema feitas pelo setor privado segundo Paim (2018, p. 470):

Figura 19- Gráfico 4: Distribuição dos documentos de patentes tecnologia da impressora 3D na construção civil depositadas no mundo entre os anos de 2005 e 2017 por tipo de depositante.



Fonte: PAIM, F.G. (2017).

Iniciam-se os estudos, portanto, pela detentora de maior número de patentes relacionadas ao tema concreto para impressora 3D.

Como apontada, tanto por Fabiane quanto por Eduardo em suas respectivas pesquisas, a China se mostra como o grande celeiro de desenvolvimento da construção civil através de impressoras 3D e, portanto, nosso ponto de partida no estudo da nova tecnologia.

4.1.1 China

Em Abril de 2014 tivemos os primeiros vislumbres do potencial do uso da impressão 3D na construção civil divulgado nas mídias: a empresa chinesa WinSun noticiou a sua capacidade de construção através de impressoras 3D de até 10 casas em apenas 24 horas.

No entanto, o estudo e o desenvolvimento da tecnologia utilizada pela WinSun haviam iniciado doze anos antes da divulgação do seu potencial construtivo com custo inicial superior a três milhões de dólares. Segundo Ma Yihe, fundador da WinSun, “o objetivo era criar um sistema que respondesse a quatro questões chaves: tecnologia digital, materiais reciclados, menos mão de obra e menos tempo de construção”.

Yihe encontrou a solução. Desenvolveu uma impressora 3D com 150 metros de comprimento, 10 de largura e 6,6 metros de altura com a qual imprimiu 10 casas em apenas um dia.

E a partir desse momento, o desenvolvimento da tecnologia pela empresa tem sido aprimorado e seus avanços noticiados:

A empresa chinesa WinSun é a pioneira na construção do primeiro prédio do mundo com peças elaboradas em uma impressora 3D. As estruturas foram produzidas por um equipamento em larga escala para a montagem final do prédio de cinco andares com apartamentos (TECHTUDO, 2015).

O prédio, construído pela WinSun, possui cinco andares e localiza-se no Parque Industrial de Suzhou, na China.

Internamente, o prédio manteve a mostra a estrutura em diversas camadas de material sobrepostas, conforme Figura 20, enquanto na parte externa se optou por acabamento convencional como observamos na Figura 21.

Figura 20– Aberturas são embutidas no material impresso

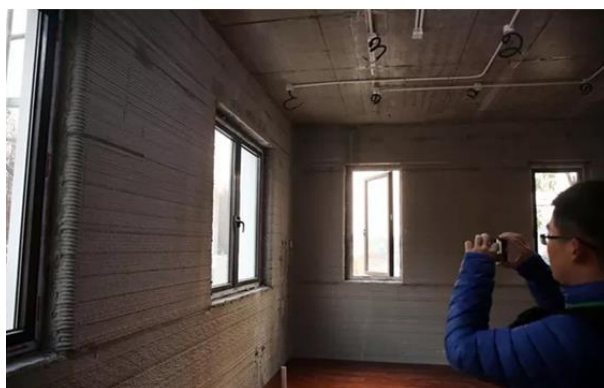


Foto: REPRODUÇÃO/CNET

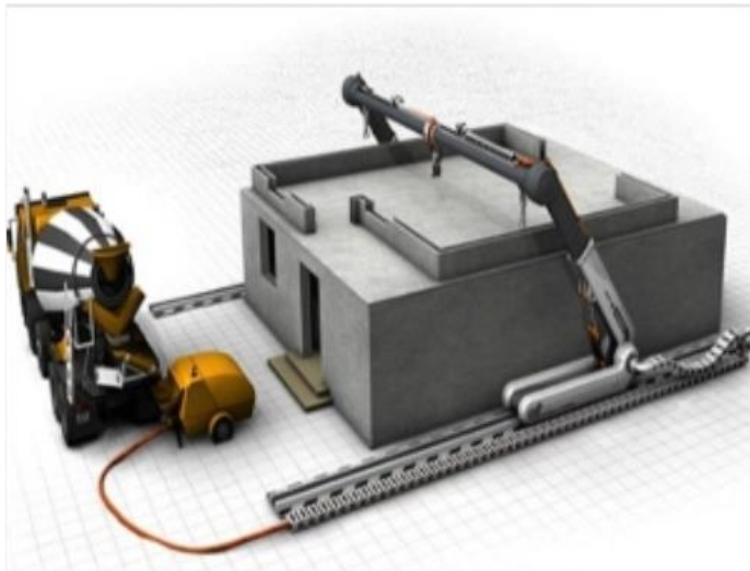
Figura 21– Empresa chinesa constrói primeiro edifício do mundo com uma impressora 3D



Fonte: TECHTUDO (2015).

A impressora de grandes dimensões utilizada para a impressão das peças do edifício possui 6,6 metros de altura, 10 metros de largura e 40 metros de comprimento e movimenta-se sobre esteiras.

Figura 22– Desenho esquemático da impressora chinesa



Fonte: ACORDA ENGENHEIRO (2014).

Seguindo as leis e normas de construções do país as peças da estrutura são montadas no local e recebem isolamento e reforço de aço, sendo que as paredes do edifício são ocas e apresentam a configuração conforme Figura 23.

Figura 23– Configuração distribuição das camadas cimentíceas

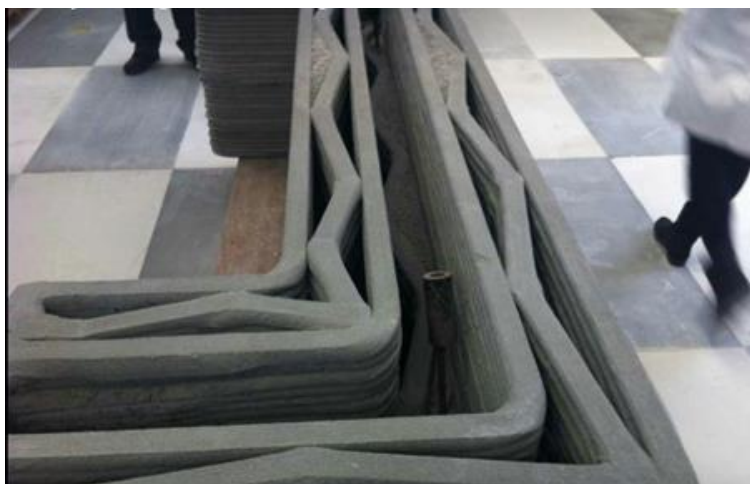


Foto: REPRODUÇÃO/CNET (2019).

As camadas impressas se sobrepõem e em um dado momento é feita a colocação da armadura da estrutura.

Figura 24– Detalhe do reforço feito em aço e das camadas impressas em 3D

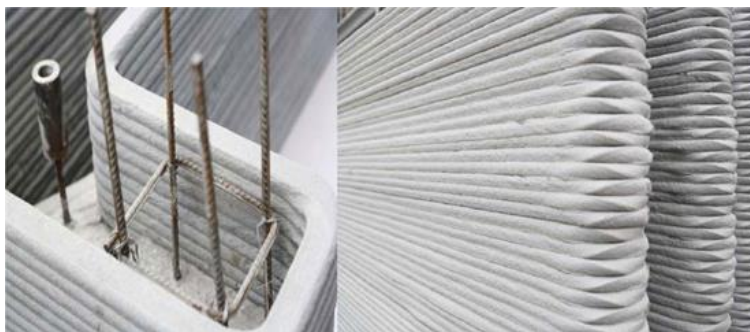


Foto: REPRODUÇÃO/CNET

Todo processo de impressão da empresa chinesa se mantém na fábrica para posterior transporte e montagem in loco. Observamos o grande potencial construtivo da empresa, já noticiado em 2014, dentro de seus galpões.

Figura 25– Paredes impressas e montadas



Foto: WNSUN (2019).

Como um lego gigante, as paredes são montadas uma a uma no local desejado e como podemos observar na Figura 20, é necessário a utilização de um guindaste para esse processo.

Figura 26– Montagem in loco das paredes



Foto: WINSUN (2019)

A companhia chinesa já é reconhecida no mercado na construção de casas impressas em 3D, mas além de dominar e investir no desenvolvimento dessa tecnologia a empresa utiliza solo misturado a materiais reciclados, como o vidro, juntamente com cimento de secagem rápida e um aditivo endurecedor na confecção da matéria prima da Impressora 3D. “A construção é mais ecológica e resulta numa economia de 50%”, diz Yihe.

A WinSun New Materials constrói moradias com cerca de 200 metros quadrados, com um custo médio de 4800 dólares americanos (cerca de 3500 euros). O baixo custo da utilização deste tipo de impressoras é um dos seus maiores atributos (ENGIOPRA, 2014).

Na época em que a notícia da impressão do primeiro edifício impresso em 3D foi divulgada, algumas críticas ao método foram levantadas, como a citada abaixo:

A utilização de impressoras de 3D na indústria de construção ainda é algo limitada, permitindo apenas construir habitações muito simples. É verdade que estas moradias construídas em tempo recorde estão longe de corresponder às pretensões de muitos clientes, em termos de design e arquitetura, contudo podem ser muito úteis em diversos contextos (PLANETATIVO, 2015).

Críticas referentes tanto à arquitetura quando as possibilidades de construção de edifícios de grandes alturas caíram por terra nos anos seguintes com a impressão de uma “Mansão” em 3D.

Figura 27– Fachada da “Mansão” impressa pela WinSun



Fonte: WINSUN (2019).

Figura 28– Imponência e beleza da mansão impressa pela empresa chinesa



Foto: WINSUN (2019).

Abaixo podemos ver as duas edificações construídas pela empresa chinesa e termos noção mais clara das suas dimensões e seu contraste com o entorno no Parque Industrial chinês.

Figura 29– Impressões da empresa chinesa WinSun



Fonte: WINSUN (2019).

A empresa chinesa não para de investir no desenvolvimento da tecnologia de impressão 3D na construção civil e prova disso são suas obras tendo partido de um prédio de arquitetura simples e traços ainda conservadores para edificações mais arrojadas e que desafiam constantemente a sua evolução bem como atender as necessidades dos seus futuros usuários.

Yihe registrou um total de 77 patentes até o momento, em Qingpu, e já tem uma dezena de construções impressas. Abaixo, temos algumas das suas construções dentre

elas escritórios e habitações ocupadas por alguns de seus funcionários e outras há espera de inquilinos.

Figura 30– Abrigo impresso em 3D



Fonte: WINSUN (2019).

Dentre as diversas construções feitas pela empresa chinesa, temos desde alojamentos provisórios como demonstrado pela Figura 30 à construções residenciais de arquitetura diversa como demonstrado pelas Figura 31e Figura 32, abaixo.

Figura 31– Casa impressa em 3D



Fonte: WINSUN (2019).

Figura 32– Casa impressa em 3D



Fonte: WINSUN (2019).

Além das construções demonstradas acima, um sobrado também foi impresso utilizando a tecnologia de impressão 3D aplicada à construção civil pela empresa chinesa conforme Figura 33.

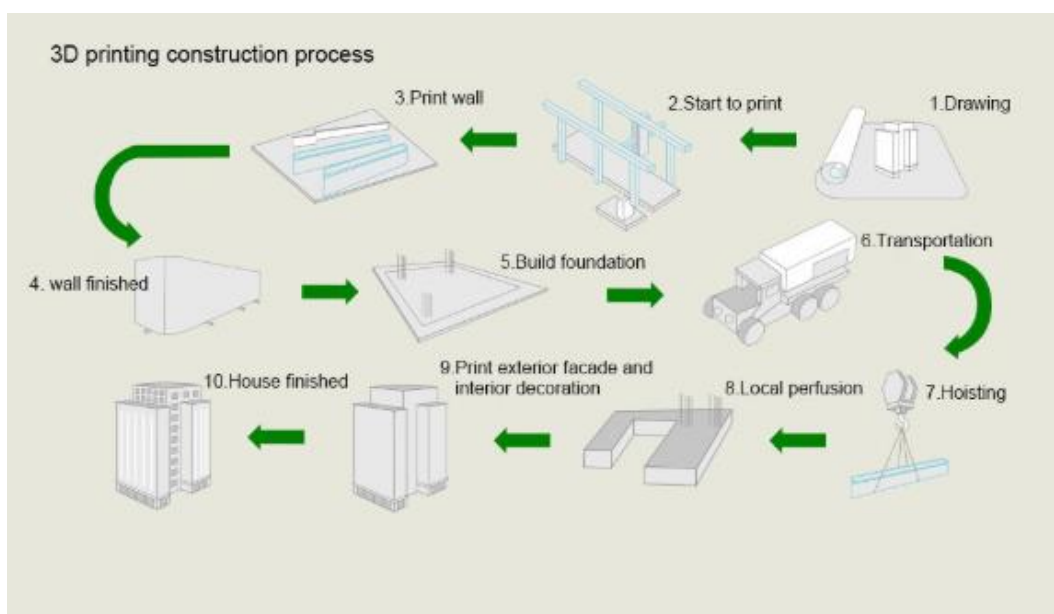
Figura 33– Sobrado impresso em 3D



Fonte: WINSUN (2019).

Analisando o processo construtivo da empresa temos o seguinte layout:

Figura 34– Processo de construção



Fonte: WINSUN (2019).

Entendendo melhor o processo construtivo da WinSun:

- 1- Primeira etapa é definida pela concepção do projeto a ser impresso em 3D;
- 2- Segunda etapa é realizada a impressão das várias peças que irão compor a construção;

- 3- Na terceira etapa todas as peças de uma determinada parede foram impressas
- 4- Na quarta etapa a parede foi terminada e identificada para ser transportada até o local da construção
- 5- Na próxima etapa é realizada a montagem da fundação da construção, de forma convencional (estacas, sapatas ou radier)
- 6- A próxima etapa é o transporte das paredes até o local da obra
- 7- A próxima etapa é feita a montagem das paredes, antes partes soltas de um quebra-cabeça, agora serão encaixadas com o uso de guindastes ou guias;
- 8- Próxima etapa é feita a montagem das paredes externas na fundação da construção, e posteriormente é feita a decoração do interior com aberturas e demais elementos decorativos;
- 9- Última etapa é a de acabamentos, em que são feitos os revestimentos, pinturas e demais conformações com o projeto arquitetônico.

A busca por prédios mais resistentes fez com as pesquisas relacionadas à construção utilizando Impressoras 3D, na China, ampliassem seus desafios. E não tardou para que os primeiros resultados aparecessem. Logo após ter sido inaugurado o primeiro escritório funcional em Dubai (em parceria com WinSun) a empresa HuaShang Tengda, de Pequim, constrói uma casa com uma impressoras 3D capaz de resistir a terremotos de até 8,0 graus na escala Richter. Sendo que o terremoto mais forte registrado foi de 9,5 graus no Chile em maio de 1960, conforme noticiado por BBC News (2014).

Detalhes construtivos da casa realizada pela HuaShang Tengda são observados através da Figura 35:

Figura 35– Fase inicial da construção da casa resistente a terremotos



Fonte: 3DERS (2016).

Figura 36– Conclusão da construção de casa resistente a terremotos



Fonte: 3DERS (2016).

A construção manteve as camadas sobrepostas impressas em 3D expostas, com a finalidade de evidenciar a tecnologia utilizada.

Segundo publicado em P1 Protótipos em 2017 “O Beijing Villa de 400 m² foi impresso com concreto armado ao longo de 45 horas. Algumas paredes possuem mais de 2 metros de espessura, o que os arquitetos afirmam permitir a casa a resistir os terremotos mais intensos”.

Figura 37– Vista lateral da casa impressa em 3D pela empresa HuaShang Tengda



Fonte: 3DERS (2016).

Essa construção se tornou um marco importante na pesquisa chinesa para a área da construção civil, pois o governo chinês, em 2018, admitiu que “[...] construções mal projetadas desempenharam um papel importante na morte de até 10.000 estudantes durante um terremoto de 7,9 graus de magnitude, quando 7.000 salas de aula se ruíram. Se os engenheiros puderem construir edifícios extremamente resistentes e baratos através do uso da tecnologia, isso poderia salvar vidas.” (P1 PROTÓTIPOS, 2017).

Mesmo destacando-se quanto às inovações referentes à impressão 3D na construção civil em nível global, problemas de compatibilização de projetos fizeram com que a empresa chinesa tomasse medidas corretivas desastrosas.

Após terem sido confeccionadas e, posteriormente, montadas no local definido para a construção, as paredes tiveram de ser cortadas para receberem a rede elétrica e da mesma forma ocorreu para a instalação da tubulação hidrossanitária.

Figura 38 - Falha de compatibilização de projetos



Fonte: WU et al. (2016)

4.1.2 EUA

Enquanto, na China, são empresas privadas que desenvolvem a tecnologia de construção civil através de impressoras 3D nos EUA essa tecnologia está sendo usada e desenvolvida pelo Exército Americano em parceria com a NASA⁸.

Dessa parceria entre Exército e NASA desenvolveu-se a impressora batizada de B-Hut. Com a finalidade de construir moradias provisórias em situações de calamidade ou de conflito e construir instalações para operações militares a impressora vem sendo aprimorada.

Sendo que uma das características inovadoras da B-Hut em relação às demais impressoras aplicadas ao setor da construção é o fato da mesma aceitar na composição do concreto agregados de dimensões maiores.

Segundo Michael Case, gerente de laboratório do exército afrente do programa, em entrevista a Cimento Itaimbé, é possível usar agregados de até 3/8". Essa capacidade da impressora B-Hut amplia as possibilidades construtivas da tecnologia como afirma Case:

“Significa que a máquina pode misturar ao concreto boa parte dos agregados que ela encontrar no terreno em que a impressora for instalada. Isso amplia sua versatilidade e permite gerar estruturas com características mais robustas, sejam elas horizontais ou

⁸ Sigla de National Aeronautics and Space Administration traduzida para o português como Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica é a Agência Espacial Americana, que responde pela pesquisa, e desenvolvimento de tecnologias e programas de exploração espacial e tem como missão incrementar o futuro na pesquisa, a descoberta e a exploração espacial.

verticais. Além disso, alivia a carga de material de construção a ser transportada para pôr a impressora em funcionamento. Basicamente, só precisamos levar cimento”, afirma. (CIMENTO ITAIMBÉ, 2019).

Figura 39– Impressora B-Hut



Fonte: DEFENSE LOGISTICS AGENCY/ MIKE JAZDYK (2019).

Ainda, segundo Case “Paralelamente à impressora 3D para construir edificações, a US Army trabalha também no projeto X-FAB. Trata-se do emprego da tecnologia 3D para fabricar peças de reposição para equipamentos de defesa e veículos. O objetivo é reparar máquinas em qualquer lugar”.

É perceptível a adesão em relação à nova tecnologia em solo americano, tanto na construção civil quanto em outros setores como o automobilístico, na medicina, na indústria bélica e até mesmo na exploração de outros planetas:

Para a NASA, a funcionalidade da impressão 3D é fundamental, já que ela entrou na parceria pensando no “Projeto Marte”. O plano da agência é levar uma tripulação ao planeta vizinho até 2030. Outro objetivo do programa Construção Automatizada de Estruturas Expedicionárias ou ACES é viabilizar a impressora comercialmente. Por isso, o laboratório de engenharia estabeleceu um acordo de pesquisa e desenvolvimento cooperativo com a Caterpillar Inc. “Queremos disseminar a tecnologia que permite construir rapidamente e com segurança, e a impressão em 3D provou que é capaz de fazer as duas coisas”, relata Michael Case (CIMENTO ITAIMBÉ, 2019).

Além das construções feitas com impressoras 3D pelo exército em parceria com a NASA, no Texas, uma casa foi impressa com o intuito de apresentar o projeto de criação de casas populares em países desenvolvidos. Após aprovação desse plano, a construtora e startup ICON em parceria com a organização sem fins lucrativos New Story pretendem levar a tecnologia a em El Salvador através de 100 moradias-piloto.

As construções projetadas para serem construídas em El Salvador deverão ter as mesmas medidas da construída no Texas. Com 74 m², as casas terão sala/cozinha, quarto, banheiro e uma varanda em curva. Sendo o tamanho dessas moradias semelhante ao de apartamentos médios de cidades como São Paulo e até mesmo New York.

Figura 40– Casa impressa em 3D no Texas, EUA



Fonte: HIPENESS (2018).

Figura 41– Casa impressa em 3D no Texas, EUA



Fonte: HIPENESS (2018).

Segundo a ICON, custa cerca de US\$ 20 mil e leva vários dias para imprimir uma casa de 186 m² em 3D. Depois de calcular o custo do terreno e dos acessórios, como encanamentos e acabamentos, isso equivale a uma redução de cerca de 30% no custo total, diz Ballard. Em Austin, uma residência custa em média US\$ 400 mil. É possível, então, reduzir seu preço em US\$ 120 mil, o que é uma proposta interessante. Vale enfatizar que essa redução não considera os lucros das construtoras (OLHAR DIGITAL, 2019).

4.1.3 Holanda

Projeto envolvendo prefeitura da cidade de Eindhoven, no sul do país, Universidade de Eindhoven e empresas construtoras projetam a construção de cinco residências, inicialmente, através da impressão 3D.

Os avanços nas pesquisas holandesas tornam a construção civil utilizando impressoras 3D cada dia mais acessível. Percebemos a relevância do que está sendo feito na Holanda através de notícias como a publicada em G1 (2017): “Embora esta técnica já exista no mundo, as casas projetadas com impressoras 3D não são em geral destinadas à moradia. Trata-se de algo inédito na Holanda, pois as casas deste novo complexo imobiliário serão alugadas.”

Figura 42– Projeção de vila com cinco residências impressa em 3D na Holanda

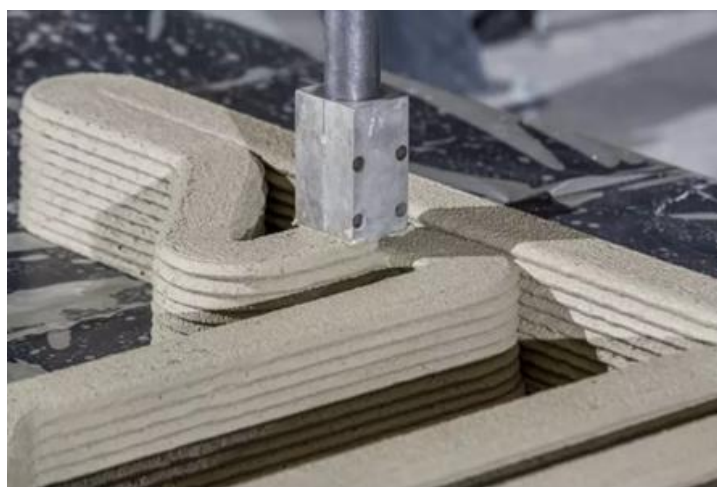


Fonte: UNIVERSITY OF EINDHOVEN/ PROJECT MILESTONE (2019).

Uma centena de inquilinos já mostrou interesse. O aluguel mensal será de entre 900 e 1.200 euros (de R\$ 4 mil a R\$ 5400 aproximadamente), o que corresponde aos preços médios de aluguéis na Holanda levando em consideração o espaço que terão as "casas 3D". O complexo estará composto por cinco casas de tamanhos diferentes, cuja construção será financiada por investidores privados. A primeira, com três quartos, estaria pronta por volta de junho de 2019 (G1, 2018).

As impressoras 3D funcionam com a ajuda de sensores, que são posicionados no lugar exato para a construção das partes da casa. Isso economiza tempo e dinheiro. A iniciativa também é motivada pelo problema da escassez crescente de artesãos na Holanda.

Figura 43– Detalhe da altura da camada impressa e do bocal com uma única saída

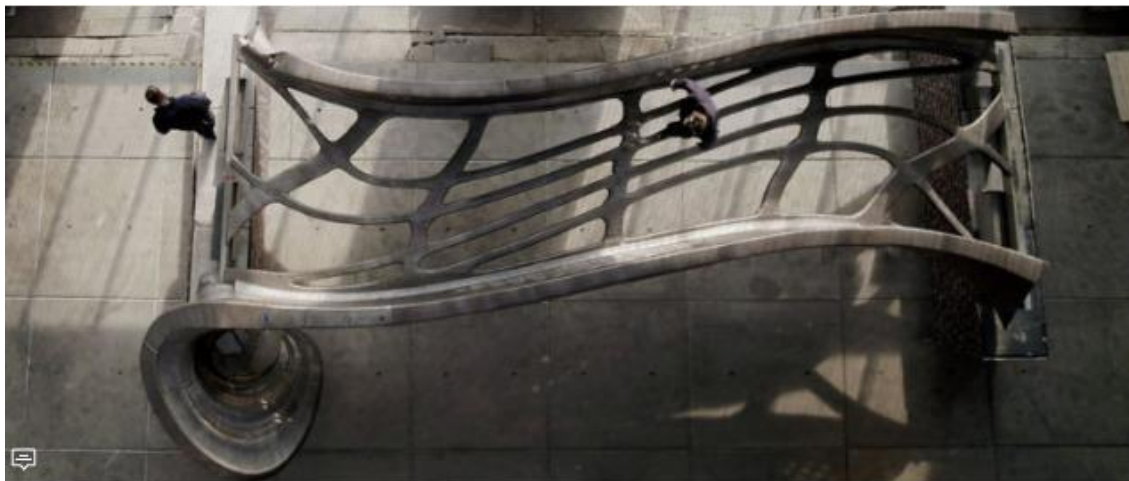


Fonte: UNIVERSITY OF EINDHOVEN/ PROJECT MILESTONE (2019).

Embora esta técnica, por enquanto, seja mais cara que os métodos tradicionais, os preços baixarão à medida que evoluir a tecnologia das impressoras 3D, considera Rudy van Gorp, um dos encarregados do projeto “Milestone” (G1 GLOBO, 2018).

Mas, além de moradias a Holanda tem usado a impressão 3D para outras finalidades como, por exemplo, na construção de pontes como a da imagem abaixo:

Figura 44– Holanda constrói ponte com impressora 3D em aço inoxidável



Fonte: ARCHDAILY (2018).

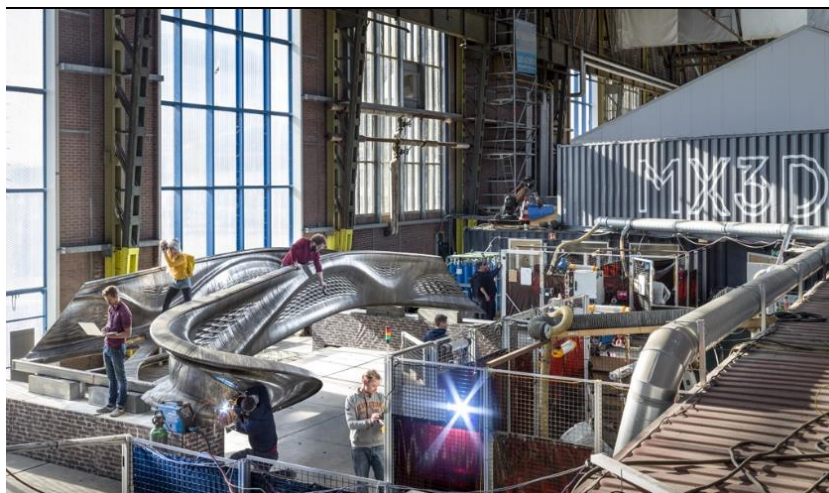
As impressoras 3D utilizadas na construção civil, até o momento, possuíam uma área de impressão definida pelo pórtico em que estão armadas em sua grande maioria. No entanto, as impressoras destinadas à impressão da ponte não possuem essa limitação e são na verdade robôs com bico extrusor que conforme publicado em Hipeness, (2018) “são capazes de imprimir qualquer coisa em qualquer lugar”.

A etapa final de testes estruturais está prevista para o meio do ano, apenas três anos após o anúncio oficial do projeto. Após a integridade estrutural ter sido testada, o projeto será eventualmente ajustado e concluído. A MX3D⁹ espera mostrar o potencial de sua impressora 3D durante a Dutch Design Week¹⁰, e sua primeira ponte será instalada sobre um canal de Amsterdã no próximo ano (ARCHDAILY, 2018).

⁹Startup de impressão 3D dos Países Baixos, primeira a imprimir uma ponte metálica com a tecnologia da impressão 3D.

¹⁰ Tradução para o português: Semana do Design Holandês.

Figura 45 – MX3D imprime ponte em aço



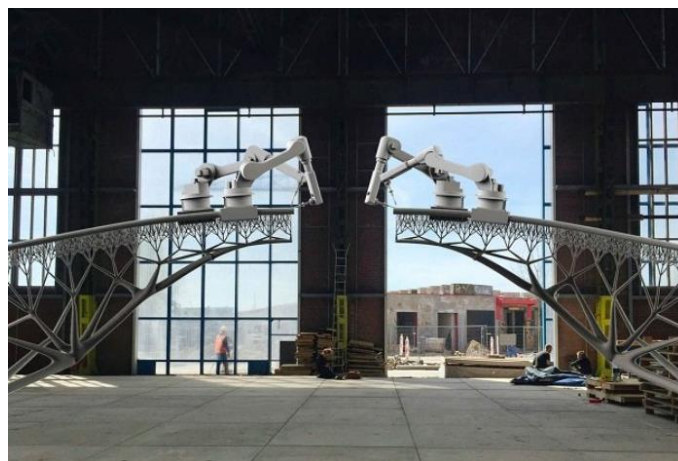
Fonte: ARCHDAILY (2018).

Figura 46– Robôs holandeses imprimem ponte



Fonte: ARCHDAILY (2018).

Figura 47– Robôs imprimem pontes para canal holandês



Fonte: ARCHDAILY (2018).

Enquanto a ponte impressa em aço inoxidável passa por testes, em 17 de Outubro de 2017, a primeira ponte de concreto impressa em 3D foi inaugurada e em um primeiro momento foi reservada somente ao tráfego de ciclistas.

Figura 48– Inaugurada primeira ponte impressa em 3D na Holanda



Fonte: UOL (2017).

Foram necessários três meses de impressão para a construção da ponte de 8 metros de comprimento feita em concreto protendido e reforçado.

Figura 49– Inaugurada primeira ponte impressa em 3D na Holanda



Fonte: UOL (2017).

"Uma das vantagens de imprimir uma ponte é que se necessita muito menos concreto do que na técnica convencional, em que um molde é preenchido", disse a Universidade de Eindhoven em seu site, acrescentando que "uma impressora deposita o concreto apenas onde é necessário". Com a colaboração da empresa de construção BAM Infra, foi testada para garantir que é segura e capaz de suportar cargas de até duas toneladas (UOL, 2017).

4.1.4 França

Com uma nova técnica e buscando um conforto térmico e acústico de melhor qualidade, a França inovou no setor da construção civil ao imprimir uma casa de 95 metros quadrados utilizando poliuretano em substituição as formas para receber o concreto das paredes.

De acordo com GALILEU (2018) a casa tem capacidade de acomodar até 5 pessoas e toda sua estrutura foi construída em apenas 54 horas entrando para a história da Construção Civil realizada com Tecnologia de Impressão 3D por ter sido a primeira a receber moradores.

Ainda segundo a revista “As paredes da casa são feitas em camadas de poliuretano, com um vão no meio, que é posteriormente preenchido com cimento. A parte mais demorada é o acabamento, como instalar portas e janelas, que demorou mais quatro meses para ficar pronto”.

Figura 50– Detalhes construtivos da casa impressa na França



Fonte: ÉPOCA (2018).

A parte do trabalho designada ao robô, chamado de BatiPrint3D, durou 18 dias, construindo paredes ocas com um polímero especial que depois foram preenchidas com concreto para garantir o isolamento. A casa é equipada com vários sensores para monitorar umidade, qualidade do ar e temperatura e conta com equipamentos para analisar as propriedades térmicas da construção. Tudo isso leva os pesquisadores a dizerem, segundo a agência de notícias Reuters, que os moradores poderão economizar energia (UOL, 2018).

Ainda segundo noticiado em UOL (2018) “A casa toda custou cerca de R\$ 900 mil para ser construída, 20% a menos que uma construção tradicional”.

A partir desse projeto, Furet, um dos seus idealizadores, sonha construir uma vila com 18 casas utilizando a tecnologia no norte de Paris.

O projeto é uma parceria da Universidade de Nantes com o município. Francky Trichet, chefe do conselho de Nantes em questões de tecnologia e inovação, disse à **BBC** que se trata de um protótipo para construção massiva de moradias e outros tipo de edifícios, como ginásios esportivos. "Durante 2 mil anos, não houve uma mudança no paradigma do processo de construção", diz Trichet. "Queríamos varrer todo esse processo de construção" (GALILEU, 2018).

Figura 51– Primeira casa construída com impressora 3D a receber moradores



Fonte: FORBES (2018).

Figura 52– Casa impressa em 3D na França



PRIMEIRA CASA CONSTRUÍDA COM IMPRESSORA 3D A RECEBER MORADORES. (FOTO: DIVULGAÇÃO / UNIVERSIDADE DE NANTES)

Fonte: FOTO/DIVULGAÇÃO UNIVERSIDADE DE NANTES

Através da Figura 53, podemos notar a utilização do poliuretano impresso em camadas através da impressora 3D sendo utilizado como uma forma para receber a parede de concreto bem como a armadura.

Figura 53– Paredes curvas melhoram a circulação de ar, reduzem a umidade e melhoram a resistência.



Fonte: BBC NEWS (2018).

4.1.5 Rússia

Os entraves para regulamentar a construção através de impressoras 3D estão sendo solucionados à medida que a tecnologia se aprimora e a Rússia foi o primeiro país a conseguir, legalmente, cumprir todos os requisitos construtivos.

"A casa é única, não só porque é a primeira desse tipo, mas porque é construída em conformidade com todos os requisitos de qualquer outro tipo de construção. Coletamos todos os documentos necessários, recebemos autorização para começar as obras, criamos o projeto, assim como calculamos a capacidade térmica, a durabilidade e a resistência à atividade sísmica da casa", declarou Maslov, diretor-geral do grupo AMT Spetsavia responsável pelo projeto.

Figura 54– Primeira morada na Europa construída com impressora 3D



Fonte: SPUTNIK (2017).

Figura 55– Primeira morada na Europa construída com impressora 3D



Fonte: SPUTNIK (2017).

Fabricada pela empresa americana Apis Cor, a estrutura tem 300 metros quadrados e foi impressa em uma fábrica e posteriormente montada no local definido para a construção.

Segundo o dirigente da empresa americana, Maslov, “O aparelho imprime camadas de 10 mm de altura e cerca de 30-50 mm de largura. A velocidade de impressão pode atingir 15 metros quadrados, em uma hora”.

Figura 56– Detalhes internos expõem a tecnologia utilizada na construção da casa.



Fonte: SPUTNIK (2017).

Ainda segundo Malov, “O levantamento do edifício começou no ano de 2015: sua estrutura foi impressa e montada em dezembro de 2015, em um prazo de apenas 30 dias. No verão de 2017 foram concluídas as obras de instalação do telhado e a maior parte dos trabalhos de decoração”.

Concluída no final de 2017, o projeto foi entregue a uma família da região.

4.1.6 Emirados Árabes

Na maioria dos países que estão imprimindo casas em 3D, as mesmas estão sendo usadas apenas para visitas como protótipos da tecnologia. Mas, Dubai está a um passo a frente nesse sentido, tendo impresso o primeiro prédio funcional em 3D.

O escritório que contém 250 m² custou em torno de US\$ 140.000, segundo Cimento.org, 2016, e está sendo usado, provisoriamente, pela empresa Dubai Future Foundation. Organização criada para gerenciar projetos tecnológicos de melhorias para a cidade que apresentou recentemente o plano de redução de mão-de-obra em 70% e dos custos gerais em 90% com impressão 3D.

O prédio, com seu design moderno e inovador, passa a ser um marco na história e um passo firme rumo ao futuro da construção civil. O projeto e sua execução servirão como case para auxiliar na regulação, apoiar os centros de pesquisas e desenvolvimento sobre a aplicação real da tecnologia de impressão 3D ao redor do planeta. O espaço será utilizado para fomentar o uso de tecnologias modernas para o país, que é conhecido por seus arranha-céus gigantes, suas largas avenidas e pelo luxo e desenvolvimento da indústria da construção civil (CIMENTO.ORG, 2016).

Figura 57– Primeiro escritório funcional construído por impressoras 3D



Fonte: CIMENTO.ORG (2016).

Reconhecido mundialmente pelas suas construções exuberantes e luxuosas, Dubai que construiu o prédio mais alto do mundo acredita, fortemente, que a tecnologia de construção a partir de impressoras 3D não é apenas coisa do futuro e faz projeções audaciosas para a sua utilização.

O país vai investir pesado e tenciona ser o primeiro do mundo no uso da tecnologia 3D, bem como conseguir chegar a 25% de todas suas construções utilizando a tecnologia 3D até o ano de 2030. Inicialmente os estudos do setor da construção vão se concentrar em produtos elétricos e de iluminação, bases e fundações, juntas, instalações, edifícios para causas humanitárias e prédios móveis, além de galerias, lojas e casas residenciais. O uso de impressão 3D no setor de construção de Dubai vai aumentar cerca de 2% a partir de 2019, e mais nos próximos anos, em função do desenvolvimento e confiabilidade da tecnologia (CIMENTO.ORG, 2016).

De acordo com CIMENTO.ORG, (2016) com a utilização de impressão 3D conseguiu reduzir o custo em 50% , quando comparado com a tecnologia convencional.

O escritório impresso em 3D foi construído usando uma mistura especial de cimento e um conjunto de materiais projetados e fabricados tanto no próprio país, como nos Estados Unidos da América. Os materiais foram submetidos a uma série de testes na China e no Reino Unido, buscando garantir a confiabilidade dos materiais e de toda a construção. A obra, em forma de arco, adotada para fins de segurança e para garantir a estabilidade do edifício, também contou com recursos importantes e inovadores para uma redução no consumo de energia, buscando a sustentabilidade do prédio (CIMENTO.ORG, 2016).

‘Este é o primeiro edifício impresso em 3D do mundo, e não é apenas um edifício, tem escritórios totalmente funcionais e pessoas trabalhando...Acreditamos que este é apenas o começo. O mundo vai mudar!’, disse Mohamed Al Gergawi.

A estratégia de Dubai para atingir sua meta de implementação da tecnologia é baseada em cinco pilares, conforme Maurício Bernardes relatou à PINI¹¹, (2016):

1. Infraestrutura: Criação do suporte e da adequada infraestrutura para o desenvolvimento de pesquisa para atrair as grandes corporações mundiais interessadas no tema;
2. Regulamentação legal: Criação de marco legal, para disciplinar o uso em cada setor, com base em requisitos e especificações de materiais;
3. Financiamento: Promoção de diferentes modelos de financiamento para o desenvolvimento da tecnologia e expansão das possibilidades de aplicação;
4. Talentos: Desenvolvimento de competências e habilidades de pesquisadores, projetistas e inovadores locais, incentivando também a vinda dos maiores experts mundiais no assunto;
5. Demanda: Incentivo à utilização da tecnologia em diferentes setores para fomentar a ampliação da oferta e a consequente autorregulação de preços em níveis competitivos dentro de um adequado patamar de qualidade;

Ainda segundo Maurício, para alcançar suas metas, os Emirados Árabes organizaram seu plano da seguinte maneira:

- a) incentivar e investir em pesquisas para atrair marcas mundiais;
- b) criar um marco legal para normatizar o uso da impressão 3D em cada setor, com base em requisitos e especificações de materiais;
- c) financiar o desenvolvimento da tecnologia e sua expansão;
- d) investir nos pesquisadores;
- e) incentivar o uso da impressão 3D em diversos setores para que haja uma autorregulação de preços e justa competição – tudo dentro de um padrão de qualidade;

¹¹ Revista técnica de engenharia civil.

- f) realizar estudos de campo para qualificar os processos de execução da construção com impressão 3D;
- g) especificar e normatizar os materiais usados nas impressões 3D;
- h) treinar profissionais e empresas;
- i) construir laboratórios que realizem testes de materiais impressos em 3D e que sejam acreditados internacionalmente;
- j) lançar projetos-pilotos para encorajar a iniciativa privada a usar a tecnologia, por meio de incentivos;
- k) avaliar o desempenho de cada etapa e aprimorá-las.

4.1.7 Romênia

Além das opções de impressão in loco ou em fábrica com posterior transporte e montagem, as impressoras 3D permitem outras tantas possibilidades para o setor da construção civil e entre elas a criação/ utilização de novos materiais.

A empresa romena Austrocasa International vem desenvolvendo seu protótipo de impressora, chamado de RoboVAST, para utilizar novos materiais como argila e cerâmica em substituição ao concreto. Com esse propósito sustentável a empresa acredita que, futuramente, outros materiais irão ser usados na impressão 3D na mesma escala das impressoras de concreto.

Segundo os fundadores da Austrocasa: “As empresas de construção perdem dinheiro devido a problemas de gestão, desperdício de material, atrasos nos edifícios e o alto custo de manter uma força de trabalho qualificada. Os arquitetos se preocupam com a liberdade limitada de projeto e se seus planos serão executados com precisão no canteiro de obras”, dizem eles.

E ainda citam que “Para alguns, construir uma casa sustentável é impossível devido à sua localização remota”.

A empresa romena com base em Iași tem trabalhado em um modelo de negócio que se baseia fortemente na modelagem digital para a construção de casas e outros edifícios usando materiais ecológicos, como madeira, fibra de celulose, mistura de concreto, argila e materiais reciclados. Eles começaram a oferecer kits caseiros feitos desses materiais em 2003, e clientes de qualquer lugar do mundo podem enviar seus

projetos e preferências antes de receber kits personalizados (BIOFABRIS, 2016).

A empresa desenvolveu sua primeira impressora 3D DesignVAST no início de 2016 e desde então consegue imprimir em 3D miniaturas de concreto, argila e outros materiais de construção. A 3D DesignVAST será testada e estudada pela equipe para posterior construção da RoboVAST com capacidade de imprimir em escala real e com longa lista de materiais.

Podemos observar na Figura 58 o esquema de construção utilizando uma impressora 3D:

Figura 58 – Desenho esquemático protótipo RoboVAST



Fonte: 3DERS (2016).

Observamos a necessidade de uma bomba para fornecer o concreto de forma contínua à impressora bem como de um caminhão de concreto como armazenador da mistura em condições de uso imediato.

Figura 59– Projeto do protótipo da impressora RoboVAST



Fonte: 3DERS (2016).

“As empresas de construção perdem dinheiro devido a problemas de gestão, materiais desperdiçados, atrasos nas obras, e o alto custo de manter uma força de trabalho qualificada. Por outro lado, os arquitetos se preocupam com o design limitado e se seus planos serão executados com precisão no canteiro de obras”, explicam os idealizadores da Austrocasa International. “No topo desses problemas, existem barreiras financeiras e logísticas à habitação em muitas partes do mundo. Para muitos, habitação de qualidade possui um custo proibitivo. Para outros, a construção de uma casa sustentável é impossível devido à sua localização remota” (BIOFABRIS, 2016).

“Nossa equipe acredita no fornecimento de casas de alta qualidade e ecologicamente corretas a preços razoáveis”, acrescentam.

Segundo 3DERS, 2016, “No papel, pelo menos, parece que a Austrocasa tem tecnologia e mentalidade sustentável para fazer disso um enorme sucesso na impressão 3D. Mas eles também estão pensando sobre o mundo prático, com discussões em curso para uma parceria para imprimir em 3D um distrito de 50 casas na Gâmbia”.

4.1.8 Espanha

A Be More 3D é a primeira impressora de concreto a ser desenvolvida na Espanha. Criada por estudantes de engenharia da Universidade Politécnica de Valência o projeto evoluiu como startup, tornando-se um dos projetos de impressora de concreto mais rápidos e eficientes já construídos (3DPRINTING, 2018).

Figura 60– Startup Be More 3D constrói primeira impressora 3D da Espanha



Fonte: 3DPRINTING (2018).

Vicente Ramirez, co-fundador da startup, afirma “Imagine uma máquina 3D para a construção civil capaz de reduzir em até 35% os custos da fabricação convencional, e de quebra imprimir a estrutura e divisórias interiores de uma casa de 70m² em menos de 24 horas”.

E do projeto dos estudantes de engenharia de Valência em parceria com empresas do ramo da construção civil, como ACCIONA (uma das responsáveis pela primeira ponte impressa em Madrid) surgiu um novo protótipo de construção feita com impressora 3D.

Figura 61– Construção com 24m² feita pela Be More 3D



Fonte: 3DNATIVES (2018).

Figura 62– Detalhe da estrutura da Impressora 3D de concreto da Be More 3D



Fonte: 3DNATIVES (2018).

Figura 63– Construção finalizada



Fonte: BE MORE 3D (2019).

Segundo afirma José Guillermo Muñoz Montes, um dos fundadores da startup Be More 3D, a tecnologia de construção através de impressoras 3D não chegou para tirar postos de trabalho.

Al contrario de lo que se puede pensar cuando conoces esta tecnología, conseguimos que se promueva la economía y generar puesto de trabajo, ya que al reducir costes se impulsa la compra de este tipo de viviendas, volviendo a emplear a jugadores de la construcción como, albañil, electricista, escayolista...nuestra máquina solo hace la estructura, todo lo demás hay que revestirlo, instalarlo y rematarlo a mano (3D natives, 2018).

4.2 ESTADO DA TECNOLOGIA NO ÂMBITO NACIONAL

Com desenvolvimento em fase embrionária, a tecnologia de construção através de impressoras 3D ainda é uma realidade um pouco distante no contexto nacional. Contudo, surgem startups, como a InovaHouse3D e a Urban 3D, que desafiam os limites do setor da construção e buscam desenvolver a tecnologia.

Motivados, inicialmente, pelas notícias divulgadas pela empresa chinesa WinSun New Materials e desafiados em uma competição de startups a InovaHouse3D foi fundada em 2015 mesclando conhecimentos de engenharia elétrica, civil, mecânica e química.

Em 2016, a InovaHouse3D criou o primeiro protótipo de impressora 3D para concreto da América latina e recebeu com isso alguns aportes financeiros de Editais de Inovação do SENAI¹² e FAPDF¹³ para desenvolver seu projeto.

Figura 64– Protótipo da impressora 3D de concreto desenvolvida pela InovaHouse3D



Fonte: IT FORUM 365 (2018).

“Atualmente somos prestadores de serviço e consultoria, atendendo designers, arquitetos, paisagistas e pessoas físicas que queiram imprimir peças de design e decoração. Temos tido muita demanda desse tipo”, afirma Juliana Martinelli, sócia fundadora da InovaHouse3D em entrevista à IT Fórum 365 em 2018.

Segundo Juliana “Os motivos que notamos serem os principais causadores dessa falta de produtividade estavam vinculados ao tempo e custo de obras. Por isso, ainda estamos estudando um modelo de negócio sustentável para aplicação da tecnologia na indústria brasileira”.

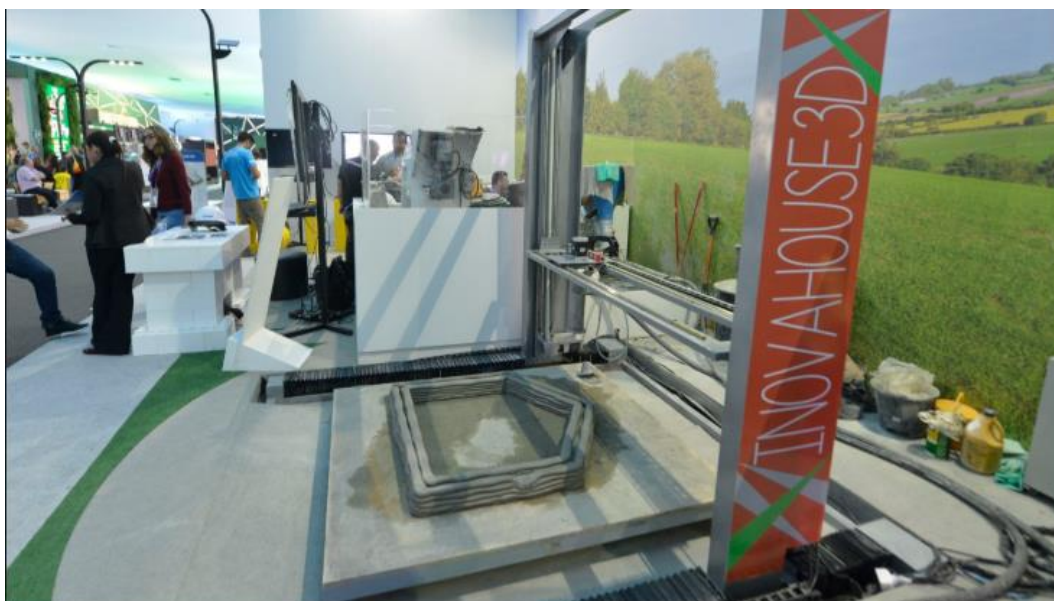
A empresa nasceu voltada para a construção social e não vamos perder essa raiz, que é muito forte na empresa e na equipe. No entanto, por ser uma tecnologia cara e que vai demorar um tempo para ser aplicada de fato à construção civil, devido a burocracias e normas do setor, foi necessário mudar um pouco o foco inicial de atuação, (3DPRINTING, 2016).

Atualmente, conta Juliana, a InovaHouse3D já está na terceira versão deste equipamento. O projeto pretende ter, até 2019, capacidade de impressão para uma residência de 32m², de baixo custo e que possa ser implementado, por exemplo, para refugiados.

¹² Sigla para Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.

¹³ Sigla para Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal.

Figura 65– Protótipo da impressora 3D de concreto desenvolvida pela InovaHouse3D



Fonte: PORTAL DA INDÚSTRIA (2018).

Além da startup InovaHouse3D, outra empresa surgiu com o propósito de desenvolver a tecnologia aplicada ao setor da construção: a Urban3D.

Empresa criada pela brasileira Anielle Guedes, com a visão de desenvolver um processo de construção 10 vezes mais rápido do que o tradicional, a um décimo do seu custo. Para tanto inicialmente pretende utilizar concreto especial com adições recicladas na conformação da estrutura /paredes das construções (PINI, 2016).

Buscando mais a fundo sobre como surgiu a Urban 3D descobrimos que seu desenvolvimento não é recente como descreve Roni Meisler para Revista-se, 2018:

A paulistana decidiu fundar a empresa depois de participar de um programa de pós-graduação na Singularity University, think tank do centro de pesquisas da NASA no Vale do Silício, nos EUA. A ideia, no entanto, já vinha sendo trabalhada muito antes disso: “A Urban é um projeto de vida e, portanto, foi sendo construída ao longo de muitos anos. Minha família trabalha no ramo de construção civil há mais de três décadas e eu já tinha me envolvido em projetos do setor público na cidade de São Paulo, além de ter participado de um programa de design de desenvolvimento de tecnologia do MIT (Massachusetts Institute of Technology)”, explica ela, que atuou como tradutora no projeto da universidade americana que em 2012 trouxe 45 estudantes para vivenciar as favelas da capital paulista.

Abaixo uma projeção da fábrica da Urban 3D:

Figura 66– Imagem da fábrica automatizada de concreto da Urban 3D



FONTE: URBAN 3D (2018).

Com uma abordagem similar a da França, a Urban 3D desenvolve o método de imprimir o que seriam as formas para posterior preenchimento das mesmas, através de robôs, com concreto. Sendo que o preço final estimado de um imóvel produzido com a tecnologia seria em torno de 10 mil a 15 mil reais, conforme Vanessa Farias cita em *Buildin Construção & Informação*, 2018.

A tecnologia desenvolvida pela brasileira Anielle tem chamado à atenção internacional:

Com investimentos de empresas globais a Urban 3D tem chamado a atenção de organismos internacionais, incluindo o governo norte-americano. No Brasil, a empresa já firmou dois contratos com construtoras da região Sudeste e espera para os próximos anos a difusão de sua tecnologia (PINI, 2016).

Além das duas empresas citadas, existe o interesse da comunidade acadêmica pelo tema e iniciam-se pesquisas e experimentos utilizando a nova tecnologia em Universidades.

Além dos países citados acima, outros países iniciam suas pesquisas e a aplicação da tecnologia de impressão 3D em diversas áreas, sendo, optou-se pela explanação dos que apresentam uma evolução consistente na implementação da tecnologia ao setor da construção civil.

Outras tantas aplicações e até mesmo materiais, possivelmente, podem estar sendo empregados. Contudo, a dificuldade de encontrar material consistente sobre o

tema ainda é grande e é em grande parte de conhecimento restrito de detentores das patentes como citado anteriormente.

Apesar das limitações da pesquisa em questão, a mesma possui representatividade por reunir em um único documento a evolução da tecnologia de impressão 3D e apresentar o estado atual da tecnologia em âmbito global e nacional.

5 APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D ATRAVÉS DE PROTÓTIPOS FÍSICOS EM PROJETO DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Enquanto as impressoras de concreto não se tornam populares nos canteiros de obras nacionais, a aplicação da tecnologia no setor da construção civil vem sendo utilizada através de maquetes físicas feitas por impressoras 3D utilizando os filamentos de polímeros como matéria prima como vimos anteriormente (Figura 5).

Na Figura 67, temos uma maquete impressa com a tecnologia 3D na qual podemos observar a riqueza de detalhes e também a precisão atingida pela máquina.

Figura 67– Maquete impressa em 3D



Fonte: SANTA CRUZ ACABAMENTOS (2017).

Segundo Mario Lúcio Coimbra de Paula (2017) à Santa Cruz Acabamentos, as vantagens do uso da tecnologia são de grande impacto:

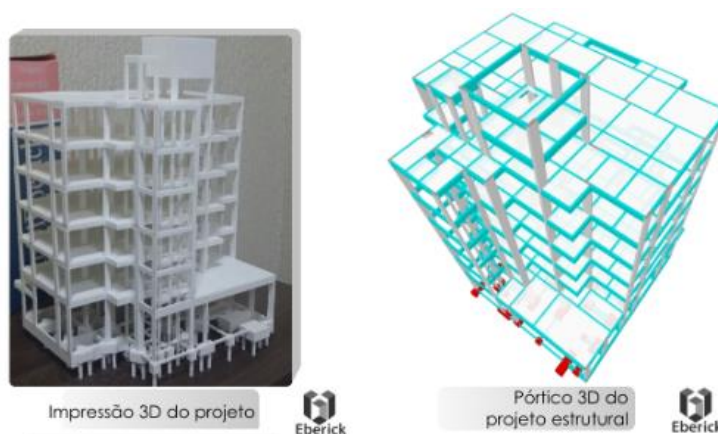
Pequenas versões de grandes obras produzidas em impressoras tridimensionais permitem o contratante interagir com sua obra desde o projeto, simular cores, projetos de iluminação e servem como forte argumento

para o convencimento do cliente no momento da assinatura de um contrato para a realização de uma obra (SANTACRUZ ACABAMENTOS, 2017).

Além das vantagens citadas por Mário, através da maquete de um projeto estrutural impressa, por exemplo, podemos compreender com maior clareza os pontos mais críticos para a execução, a compatibilização dos projetos e até mesmo para locação da obra no canteiro, uma vez que fica clara a disposição e alinhamentos existentes.

Algumas empresas como a AltoQi se utilizam da tecnologia de impressão 3D para demonstrar as características dos seus projetos e com isso evidenciam a inovação emergente no setor.

Figura 68– Projeto estrutural impresso em 3D



Fonte: ALTOQI (2019).

Para analisar a aplicação da tecnologia como material de suporte a compreensão de um projeto de alvenaria estrutural¹⁴, considerando alguns problemas já mencionados como compatibilização de projetos e desperdícios (mão de obra, materiais e financeiros) iremos utilizar o detalhamento de algumas amarrações como exemplo.

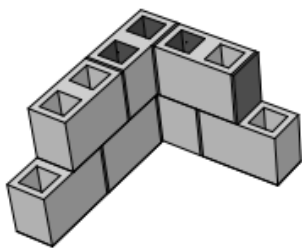
Da Figura 69 à Figura 74 são exemplificadas algumas amarrações possíveis em projetos de alvenaria estrutural sendo que, os blocos em cinza representam blocos de concreto estrutural e os blocos em rosa representam blocos de concreto de vedação.

Além disso, se optou pela retirada dos grampos (elemento de amarração entre paredes distintas) e do graute¹⁵ da modelagem 3D dos detalhamentos das amarrações para que ficasse mais evidente a modulação de 1ª e 2ª fiadas.

¹⁴Processo construtivo pelo qual as paredes são elementos resistentes constituídos por blocos que são unidos por juntas de argamassa capazes de resistirem a cargas superiores ao seu peso próprio.

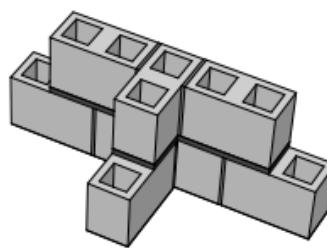
¹⁵Tipo específico de concreto, indicado para preenchimento de espaços vazios dos blocos e canaletas, com o objetivo de solidarização da armadura e aumentar a capacidade portante.

Figura 69- Ligação em L em parede estrutural



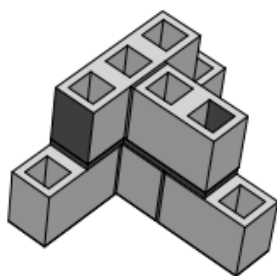
Fonte: Autora (2019).

Figura 70- Ligação em T em parede estrutural



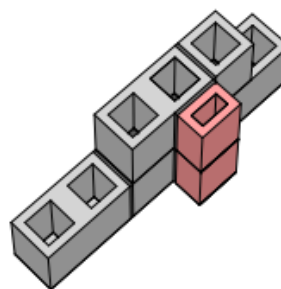
Fonte: Autora (2019).

Figura 71- Ligação em T com bloco especial



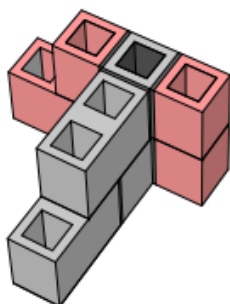
Fonte: Autora (2019).

Figura 72- Ligação entre parede estrutural e de vedação



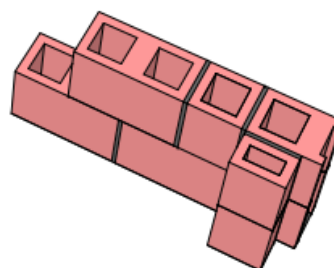
Fonte: Autora (2019).

Figura 73- Ligação entre parede estrutural e de vedação



Fonte: Autora (2019).

Figura 74- Ligação em T em parede de vedação



Fonte: Autora (2019).

Algumas opções de uso das impressões 3D das peças acima para compreensão de um projeto em alvenaria estrutural são apresentadas abaixo:

- a) Com as peças impressas sobrepostas à planta de marcação das paredes pode-se demonstrar à equipe responsável pelo assentamento da alvenaria a disposição das amarrações com a cotagem das paredes.

Dessa forma, torna-se palpável a modulação das amarrações que iniciam determinadas paredes e, além disso, quais blocos especiais devem ser utilizados em determinada amarração. Com isso, o espaço para improvisos e, conseqüentemente, equívocos na fase de assentamento, é reduzida.

- b) Para a definição da posição, bem como explanação construtiva dos shafts¹⁶ que receberão as tubulações hidrossanitárias de todos os apartamentos.

Compreender a posição das telas de amarração utilizadas para unir o shaft à uma parede, por exemplo, é favorável ao executor da alvenaria e ao passo que não sobram espaços para equívocos o rendimento aumenta, consideravelmente, e os erros de execução são minimizados gerando menores desperdícios e uma melhor qualidade final da obra.

- c) Imprimindo o projeto de modulação de uma parede ou inteiro, em escala reduzida, teríamos uma compreensão melhor do projeto, pois, se definirmos, por exemplo, a posição de uma tomada na 2ª fiada e a mesma estiver representada na maquete, todas as possíveis interferências serão perceptíveis anteriormente ao início da sua execução.
- d) Com o projeto todo impresso, os elementos construtivos ficam definidos claramente em dimensões e posições, como, por exemplo, para vergas, contra-vergas, coxins entre outros tantos presentes no projeto.
- e) Outra forma de utilizarmos as impressões 3D como material de apoio seria imprimindo as amarrações e inserindo um imã na base das mesmas e com o auxílio de um quadro metálico com as plantas de fiadas e de marcação das paredes desenhadas, tanto a locação quanto o assentamento das primeiras fiadas seria facilmente compreendidas.

Podemos verificar que as maquetes físicas de projetos de alvenaria estrutural servem como materiais de apoio versáteis e de grandes impactos quanto à compreensão

¹⁶ Compreendido por poço vertical, semelhante ao poço de ventilação, projetados em edificações de mais de um pavimento, com a finalidade principal de embutir as prumadas das instalações hidráulicas e sanitárias aparentes comuns, tendo como objetivos a estética e a facilidade de manutenção.

do projeto como um todo a partir de um entendimento visual e tátil a mão dos projetistas, executores e clientes também.

6 CONCLUSÕES

Podemos concluir, a partir dos estudos realizados em contexto global, que existem duas linhas sendo abordadas/desenvolvidas pelos países que estão utilizando a tecnologia de impressão 3D na construção civil. Na primeira delas, temos as peças sendo impressas em fábricas e posterior montagem no local da construção. Na segunda, temos impressoras desenvolvidas para serem montadas no local da construção.

Nessas duas abordagens, a impressora é montada sobre uma estrutura de pórtico que se movimenta sobre “trilhos” e imprime camada a camada cada uma das partes da estrutura.

A matéria prima utilizada para a construção através de impressoras 3D é a argamassa de cimento e areia. Contudo, existem pesquisas sendo desenvolvidas que buscam materiais alternativos ao concreto como misturas de argila e cerâmica.

A maioria dos países que utilizam a tecnologia de construção através de impressoras 3D constroem as “formas” e preenchem as mesmas com concreto formando assim a parede da estrutura. Apenas a França inovou em relação a técnica utilizada e substituiu o material de impressão das “formas” de concreto para poliuretano reduzindo uma das etapas posterior de isolamento térmico da estrutura.

Apesar de toda inovação que a tecnologia demonstra ser capaz de levar ao canteiro de obras alguns equívocos do sistema tradicional continuam persistindo na construção através de impressoras 3D. A compatibilização de projetos é um deles e a empresa chinesa WinSun busca solucionar suas falhas.

Além disso, inicialmente, poderia se considerar que novas tecnologias como a construção através de impressoras 3D fossem elevar o desemprego no setor da construção civil, ou até mesmo acabar com a necessidade de mão de obra no canteiro.

Contudo, ao aprofundarmos os estudos referentes a essa tecnologia nos diversos países em que está sendo utilizada, percebemos que isso não ocorre de fato, inicialmente.

Simplificadamente, podemos considerar que apenas as fases de Superestrutura e Paredes e Vedação são afetadas, inicialmente, pela implementação da nova tecnologia. As demais fases (Elaboração do projeto arquitetônico e projetos complementares, Serviços preliminares, Fundações, Paredes e Vedações, Telhados e Forros, Instalações Hidrossanitárias, elétricas e complementares, Acabamentos e Revestimentos, Esquadrias, Pinturas e Texturas, Louças e Metais, Limpeza final da obra) continuarão com a mesma necessidade de mão de obra anterior a sua utilização e logo, não serão afetadas pelo emprego da mesma.

Para podermos analisar os fatores: tempo de execução, qualidade das construções e impacto ambiental oriundos da aplicação da tecnologia, compreender a aplicação e impactos da tecnologia nas diferentes fases da obra é imprescindível:

- tempo de execução: principalmente na confecção e montagem das formas (ocorre na fase de construção definida como superestrutura) a tecnologia de construção através de impressoras 3D possibilita grande velocidade e reduz as perdas de materiais (entulho ou incorporados à obra), uma vez que dispensa quase que na totalidade o uso de madeira para essa etapa.

- controle do processo produtivo desde sua concepção: para se iniciar a construção através da tecnologia de impressão 3D todos os projetos (arquitetônico e complementares) devem estar finalizados o que possibilita com maior eficiência a determinação de orçamentos, cronograma de execução e por consequência um controle de qualidade maior o que possibilita construções de melhor qualidade se comparadas ao sistema tradicional e empregada a boa técnica da engenharia e materiais de boa qualidade.

- desperdícios consideravelmente menores: tendo todo o processo construtivo elaborado antes do início da obra e com um cronograma de execução predeterminado e coerente, torna-se possível um planejamento de compras de materiais, locações de máquinas e equipamentos e com isso as perdas (materiais, mão de obra, equipamentos e

financeiras) se reduzem significativamente tornando os impactos ambientais relativamente menores do que no sistema construtivo tradicional.

- maior liberdade de concepção de projeto arquitetônico: formas curvas e com detalhes mais sofisticados são muitas vezes abandonados pelos projetistas quando se tem em mente a dificuldade de execução no canteiro de obras. A utilização de impressoras 3D com uma precisão milimétrica e sem a necessidade de formas possibilita maior liberdade de criação com a certeza de que o projetado será realmente o executado.

- menor dependência em relação à mão de obra: gestores com conhecimento prévio da totalidade projeto possuem melhores condições e parâmetros para contratar e mobilizar a mão de obra necessária. Além disso, com um cronograma coerente e com controle de qualidade eficiente é possível determinar o rendimento real de cada equipe, retroalimentando o sistema.

Além disso, existe uma facilidade ainda maior no planejamento e gerenciamento da construção civil e, conseqüentemente, na redução dos desperdícios ao alinharmos a tecnologia de construção através de impressoras 3D à ferramentas como o Microsoft Project¹⁷ ou à plataforma BIM¹⁸.

Em relação aos custos da tecnologia de construção civil através de impressoras 3D ainda existe uma grande evolução a ser feita. A tecnologia ainda é considerada cara quando aplicada a construção de uma ou poucas unidades, mas, quando utilizada para a construção de um grande número de unidades habitacionais a tecnologia torna-se mais viável, principalmente, em se tratando de construção ou compra de uma impressora de concreto para escala industrial.

¹⁷É uma ferramenta bastante popular, sendo que sua primeira versão foi lançada em 1985! Possui uma interface mais complexa e repleta de recursos, que lembra o Microsoft Excel. Entre suas funcionalidades estão a possibilidade de elaborar relatórios personalizados, controlar orçamentos e analisar cargas de trabalho.

¹⁸Sigla para Building Information Model que significa Modelagem da Informação da Construção ou Modelo da Informação da Construção é um conjunto de informações geradas e mantidas durante todo o ciclo de vida de um edifício.

Sobre a redução de custos das unidades habitacionais construídas com a tecnologia e através do sistema tradicional ainda não se tem precisão em valores uma vez que poucas unidades foram construídas até o momento o que ainda evidencia o custo da máquina e não do sistema como um todo.

As aplicações da tecnologia de impressão 3D através de protótipos físicos à projetos de alvenaria estrutural são inúmeras e possibilitam, por exemplo: a compatibilização de projetos, planejamento da obra pelos gestores, redução dos erros de interpretação de projetos pelos executores, utilização como material de apoio à venda dos imóveis.

Com tantas evidências de que a tecnologia é promissora no setor, a indústria brasileira deve se adaptar a nova tendência que faz parte de um contexto muito maior de industrialização da construção civil.

Como já evidenciamos anteriormente, o desenvolvimento da tecnologia em âmbito nacional encontra-se em fase embrionária, contudo a utilização de maquetes físicas e virtuais é uma realidade global que nos permite estudar e compreender e analisar a compatibilização de projetos que é um dos problemas mais complexos do setor.

Neste estudo não se obteve informações sobre o desempenho das edificações e, além disso, as informações do material utilizado como matéria prima para impressora 3D aplicada à construção civil (argamassa e concreto) são vagas e abrem campo para novos trabalhos.

Compactua-se, portanto, com a opinião de Maurício Bernardes:

Por fim, em nosso País, aonde o déficit habitacional alcança marcas expressivas, com quase 11 milhões de pessoas vivendo em favelas, o desenvolvimento da tecnologia de impressão 3D nos próximos 15 anos, ao lado de outras iniciativas, pode reverter esta situação. Assim, penso que: pesquisar, investir, financiar, apoiar, desenvolver aplicações em escala piloto, regulamentar e normalizar a aplicação, compartilhar e integrar esforços, disseminar conhecimento a respeito, deveriam ser ações de uma sociedade que pretende incrementar a sua competitividade, baseada em tecnologia (PINI, 2016).

REFERÊNCIAS

3D NATIVES. **Be More 3D fabrica la primera casa impresa en 3D de España.** 2018. Disponível em: <<https://www.3dnatives.com/es/be-more-3d-casa-impresa-espana-140320182/>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 08:45h.

3DERS. **Austrocasa developing RoboVAST construction 3D Printer that prints in clay, concrete mix, ceramics, wood.** 2016. Disponível em: <<https://www.3ders.org/articles/20160930-austrocasa-developing-robovast-construction-3d-printer-that-prints-in-clay-concrete-mix-ceramics.html>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 08:42h.t

3DPRINTING. **E surge mais uma impressora 3D de concreto. Dessa vez, na Espanha.** 2018. Disponível em: <<https://3dprinting.com.br/e-surge-mais-uma-impressora-3d-de-concreto-dessa-vez-na-espanha/>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 16:47h.

3DPRINTING. **Sonho ou realidade? Brasil na rota do primeiro protótipo de impressora 3D de cimento da América Latina.** 2018. Disponível em: <<https://3dprinting.com.br/sonho-ou-realidade-brasil-na-rota-do-primeiro-prototipo-de-impressora-3d-de-cimento-da-america-latina/>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 08:46h.

AGOPYAN, V et al. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras.** Coletânea Habitare - vol. 2 - Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional, 226-249, São Paulo, 1998.

ALTOQI. Disponível em: <<https://www.altoqi.com.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2019, 0:51h.

ALVIM, B. **As 15 etapas fundamentais de uma obra. O que você precisa saber – Entenda Antes!** Entendantes, 2018. Disponível em: <<https://entendaantes.com.br/as-15-etapas-fundamentais-de-uma-obra-o-que-voce-precisa-saber-entenda-antes/>>. Acesso em: 29 jun. 2019, 10:39h.

Avanço Tecnológico Cria Novos Parâmetros na Construção Civil. Acorda Engenheiro, 2014. Disponível em: <<https://acordaengenheiro.wordpress.com/2014/05/23/avanco-tecnologico-cria-novos-parametros-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 07:15h.

BBC NEWS BRASIL. **A primeira família a se mudar para uma casa construída com uma impressora 3D.** 2018. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2018/07/primeira-familia-se-mudar-para-uma-casa-construida-com-uma-impressora-3d.html>>. Acesso em: 06 jun. 2019, 08:04h.

BBC NEWS, **Transplant jaw made by 3D printer claimed as first,** 2012. Disponível em: <<http://www.bbc.com/news/technology-16907104>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 08:03h.

BE MORE 3D, 2019. Disponível em: <<https://bemore3d.com/language/en/home/>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 08:44h.

BENSOUSSAN, H. **The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today.** Sculpteo, 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: 23 jun. 2019, 16:34h.

BERNARDES, M. **Impressão 3D na construção: em breve uma realidade em escala.** PINI, 2018. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/tecnologia-sustentabilidade/impressao-3d-na-construcao-em-breve-uma-realidade-em-escala-376975-1.aspx>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 17:02h.

BIOFABRIS. **Impressora 3D para construção que emprega argila, concreto, cerâmica e até madeira como matéria-prima.** 2019. Disponível em: <<https://biofabris.com.br/pt/impressora-3d-para-construcao-que-emprega-argila-concreto-ceramica-e-ate-madeira-como-materia-prima/>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 08:40h.

BRUINSMA, F. T. Avaliação dos parâmetros de execução de espessuras de argamassa de assentamento e desaprumo em obras de alvenaria estrutural. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1_2014/TCC_FERNANDO%20TREMEEA%20BRUINSMA.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2019, 23:48h.

CANALTECH. **Avião feito por impressora 3D sobrevoa a Antártida.** 2016. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/gadgets/aviao-feito-por-impressora-3d-sobrevoa-a-antartida-62875/>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 07:29h.

CIMENTO.ORG. **Dubai constrói o primeiro prédio funcional em uma impressora 3D.** 2016. Disponível em: <<https://cimento.org/dubai-constroio-primeiro-predio-funcional-em-uma-impressora-3d/>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 17:40h.

COLPANI, J. **Uma história de sucesso – descubra como surgiu a impressora 3D.** Print Wayy, 2019. Disponível em: <<http://printwayy.com/blog/uma-historia-de-sucesso-descubra-como-surgiu-a-impressora-3d/>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 16:13h.

COOPER HEWITT (ORG). **Why Design Now?: Contour Crafting,** 2010. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=-yv-IWdSdns>>. Acesso em: 29 jun. 2019, 21:05h.

DEFENSE LOGISTICS AGENCY (ORG.) Disponível em: <<https://www.dla.mil/News/Images/igphoto/2001795838/>>. Acesso em: 09 jul. 2019, 16:48h.

DUARTE, H. **Descubra como surgiu a impressora 3D.** Tectudo, 2014. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2014/04/descubra-como-surgiu-impressora-3d.html>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 15:56h.

DUTRA, M. **Feita com impressora 3D, esta mini casa custou apenas 4 mil dólares.** HYPENESS, 2018. Disponível em: <<https://www.hypeness.com.br/2018/03/feita-com-impressora-3d-esta-mini-casa-custou-4-mil-dolares/>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 08:10h.

ESCUDEIRO, Leo. **Casa impressa em 3D na França deve ser a primeira do tipo a receber moradores.** UOL, 2018. Disponível em: <<https://gizmodo.uol.com.br/casa-impressa-3d-franca-primeira-com-moradores/>> Acesso em: 05 mai. 2019, 09:51h.

FLORÊNCIO, E. **Concreto para uso em impressora 3D e sua utilização na construção de edificações: Um estudo prospectivo.** 2017. 12 f. Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2017.

FOLHA DE S. PAULO. **Médico reconstrói bexiga em laboratório.** 2006. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff0404200615.htm>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 15:49h.

FORBES. **Pesquisadores na França criam casa impressa em 3D.** 2018. Disponível em: <<https://forbes.uol.com.br/last/2018/04/pesquisadores-na-franca-criam-casa-impressa-em-3d/>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 08:28h.

FORD, **Building in the Automotive Sandbox.** Disponível em: <<https://corporate.ford.com/innovation/building-in-the-automotive-sandbox.html>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 07:56h.

GALILEU. **Família francesa se torna a primeira a habitar uma casa impressa em 3D.** 2018. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Tecnologia/noticia/2018/07/familia-francesa-se-torna-primeira-habitar-uma-casa-impressa-em-3d.html>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 08:26h.

GEOFOCO BRASIL. **O QUE É GRAUTE?.** 2014. Disponível em: <<http://geofoco.com.br/o-que-e-graute-anchorgrout/>>. Acesso em: 11 jul. 2019, 13:08h.

HIPOLITE, W. **Beijing University Unveils Enormous 3D Printed Aircraft Frames & More, Created with SLS Technology.** 3DPRINT.COM, 2015. Disponível em: <<https://3dprint.com/82169/3d-printed-aircraft-parts/>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 07:54h.

IT MÍDIA. **Casa é produzida com impressora 3D na Rússia em 24 horas.** 2017. Disponível em: <<https://itmidia.com/casa-e-produzida-com-impressora-3d-na-russia-em-24-horas/>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 08:32h.

KRASSENSTEIN, B. **20,000 3D Printed Parts Are Currently Used on Boeing Aircraft as Patent Filing Reveals Further Plans,** 3DPRINT.COM, 2015. Disponível em: <<https://3dprint.com/49489/boeing-3d-print>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 07:50h.

MANNARA, B. **Empresa chinesa constrói primeiro edifício do mundo com uma impressora 3D.** Techtudo, 2015. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/01/empresa-chinesa-constroi-primeiro-edificio-do-mundo-com-uma-impressora-3d.html>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 06:45h.

MEARIAN, L. **3D printing can re-create your vascular system for pre-op practice,** COMPUTER WORLD, 2015. Disponível em: <<http://www.computerworld.com/article/3008229/emerging-technology/3dprinting-can-recreate-your-vascular-system-for-pre-op-practice.html>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 08:00h.

MEISLER, R. **Anielle Guedes, da Urban 3D, e a construção de cidades inclusivas.** Revista-se, 2018. Disponível em: <<http://revista.usereserva.com/2018/01/08/anielle-guedes-urban3d/>>. Acesso em: 18 jun. 2019, 09:12h.

MIZOKAMI, K. **The future of America's aircraft carriers? Floating drone factories.** The Week, 2016. Disponível em: <<http://theweek.com/articles/619455/future-americanaircraft-carriers-floating-drone-factories.>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 07:32h.

MONTEIRO, M. C. **Quatro países que têm investido em impressão 3d na construção civil.** Beepinted, 2018. Disponível em: <<https://beepinted.com.br/blog/impressa-3d-construcao-civil>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 17:10h.

MOTTI, V. **Dicionário da Impressão 3D: conheça os principais termos.** PRODUTECA Ideias Tangíveis, 2018. Disponível em: <<https://www.produtecalab.com.br/dicionario-da-impressao-3d/>>. Acesso em: 10 jul. 2019, 02:10h.

MUNDO 3D. **Filamento impressora 3D.** Disponível em: <<http://www.impressao3d.net.br/filamento-impressora-3d>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 15:53h.

OLHAR DIGITAL. **Impressoras 3D são usadas na construção de casas familiares.** 2019. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/noticia/impressoras-3d-sao-usadas-na-construcao-de-casas-familiares/83600>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 08:34h.

OVERSTREET, K. **MX3D constrói primeira ponte metálica impressa em 3D do mundo.** Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/892362/mx3d-constrói-primeira-ponte-metalica-impressa-em-3d-do-mundo>>. Acesso em: 09 jul. 2019, 16:56h.

PIPROTÓTIPOS. **CASA IMPRESSA EM 3D É CAPAZ DE RESISTIR A TERREMOTOS.** 2017. Disponível em: <<http://www.p1prototipos.com.br/blog/casa-impressa-em-3d-e-capaz-de-resistir-a-terremotos>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 07:40h.

PAULA, M. L. C. de **Inovação: Impressão 3D é realidade na arquitetura e construção.** Santa Cruz Acabamentos, 2017. Disponível em: <<http://blog.santacruz acabamentos.com.br/inovacao-impressao-3d-e-realidade-na-arquitetura-e-construcao/>>. Acesso em: 13 jun. 2019, 09:29h.

PLANETATIVO. **Uma casa de luxo em 3D usa materiais reciclados.** 2015. Disponível em: <<http://planetativo.com/2010/2015/01/5991/>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 07:35h.

PORTAL DA INDUSTRIA. **Máquinas inovadoras apresentadas durante a Olimpíada do Conhecimento, como a impressora de concreto, mostram que automação é tendência para o futuro da indústria, mas não dispensa o acompanhamento de profissionais.** Portal da Indústria, 2018. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/educacao/novas-tecnologias-para-a-industria-da-construcao-exigem-capacidade-de-mao-de-obra/>>. Acesso em: 18 jun. 2019, 09:31h.

PORTO, T. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3d e da sua aplicação na construção civil**. 2016. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

PRESSE, F. **Holanda construirá as primeiras casas com impressoras 3D**, G1.Globo, 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/olha-que-legal/noticia/holanda-construira-as-primeiras-casas-com-impressoras-3d.ghtml>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 08:16h.

RODRIGUES, R. **Impressora 3D Constrói Casas Num dia**. Engiobra, 2014. Disponível em: <<https://engiobra.com/impressora-3d-constroi-casas-num-dia>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 07:27h.

RODRIGUES, R. **O que é o Contour Crafting?** Engiobra, 2014. Disponível em: <<https://engiobra.com/o-que-e-o-contour-crafting/>>. Acesso em: 29 jun. 2019, 20:28h.

S4C CONSTRUÇÕES. **Impressão 3D na construção civil: tendência e alternativa**. 2017. Disponível em: <<https://s4cconstrucoes.com.br/impressao-3d-na-construcao-civil-tendencia-e-alternativa/>>. Acesso em: 13 jun. 2019, 08:59h.

S4CCONSTRUÇÕES. **Impressão 3D na construção civil: tendência e alternativa**. 2017. Disponível em: <<https://s4cconstrucoes.com.br/impressao-3d-na-construcao-civil-tendencia-e-alternativa/>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 17:48h.

SANTOS, A. **Exército dos EUA faz casas em 3D para desabrigados**. Cimento Itaimbé, 2017. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/exercito-dos-eua-faz-casas-em-3d-para-desabrigados/>>. Acesso em: 12 jun. 2019, 09:12h.

SANTOS, L. et al. **Tipos de polímeros utilizados como matéria prima no método de manufatura aditiva por fdm: Uma abordagem conceitual**. 2018. 12 f. XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO.

SIMON. **Inspired amputee maker creates his own 3D printed robotic arm**, www.3ders.org, 2015. Disponível em: <<http://www.3ders.org/articles/20150128-inspiredamputee-maker-creates-his-own-3d-printed-robotic-arm.html>> Acesso em: 23 jun. 2019, 08:04h.

SPUTNIK. **Lar doce lar russo: primeira casa da Europa criada com impressora 3D**. 2017. Disponível em: <<https://br.sputniknews.com/russia/201710259671579-casa-russa-impressora-tecnologia-3d-fotos-video/>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 08:35h.

UOL. **Holanda inaugura primeira ponte construída com impressora 3D**. 2018. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/afp/2017/10/18/holanda-inaugura-primeira-ponte-construida-com-impressora-3d.htm>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 08:22h.

VERGAKIS, B. **Aircraft carrier Harry S. Truman prints spare, unique parts at sea with 3D printer**. The Virginian Pilot, 2015. Disponível em: <http://pilotonline.com/news/military/local/aircraft-carrier-harry-s-truman-prints-spareunique-parts-at/article_b46b30f0-2ad4-525f-8328-34d37034450c.html>. Acesso em: 23 jun. 2019, 07:39h.

WINSUN. NEW TECHNOLOGIES (ORG.). Disponível em: <<http://www.WinSun3d.com/En/About/>>. Acesso em: 30 jun. 2019, 11:28h.

WISHBOX TECHNOLOGIES. **Como funciona uma impressora 3D SLA?**, 2016. Disponível em: <<https://www.wishbox.net.br/impressora-3d-sla-como-funciona/#btn-continuar-lendo>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 16:35h.

WISHBOX TECHNOLOGIES. **Comparando tecnologias de impressão 3D FFF, SLA e SLS**, 2016. Disponível em: <<https://www.wishbox.net.br/fff-sla-e-sls-comparando-tecnologias/#btn>>. Acesso em: 23 jun. 2019, 16:04h.

XANDÓ, F. **PapoFácil: Inova House 3D Tecnologia de Impressão 3D em Concreto**. IT Fórum 365, 2018. Disponível em: <<https://itforum365.com.br/colunas/papofacil-213-inova-house-3d/>>. Acesso em: 13 jun. 2019, 08:54h.

ZAREIYAN, B., KHOSHNEVIS, B. **Interlayer adhesion and strength of structures in Contour Crafting - Effects of aggregate size, extrusion rate, and layer thickness**. In: ELSEVIER, 81, 2017.

3DCRIAR. **SINTERIZAÇÃO SELETIVA À LASER**. Disponível em: <<https://3dcriar.com.br/v2/sls/>>. Acesso em: 11 jul. 2019, 22:47h.

WIKIPEDIA.ORG. **Desenho assistido por computador**. 2018. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Desenho_assistido_por_computador>. Acesso em: 11 jul. 2019, 22:54h.

CIMM. **A EVOLUÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA**. 2018. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/2683-a-evolucao-dos-equipamentos-de-prototipagem-rapida>. Acesso em: 11 jul. 2019, 23:05h.

G1.GLOBO. **Emprego, PIB, qualidade de vida: conheça as contribuições da construção civil para o Brasil**. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/especial-publicitario/em-movimento/noticia/2018/12/17/emprego-pib-qualidade-de-vida-conheca-as-contribuicoes-da-construcao-civil-para-o-brasil.ghtml>>. Acesso em: 20 jul. 2019, 19:07h.

DIÁRIO DE SANTA MARIA. **Husm usará impressão 3D para agilizar cirurgias**. 2016. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/midia/?p=35956>>. Acesso em: 20 jul. 2019, 19:26h.