

A construção de abrigos e componentes arquitetônicos utilizando impressão 3D

Identificação:

Grande área do CNPq.: Ciências Sociais Aplicadas
Área do CNPq: Arquitetura e Urbanismo
Título do Projeto: Ecologias de Projeto
Professor Orientador: Prof. Doutor Bruno Massara Rocha
Estudante PIBIC/PIVIC: Luisa Fernanda Gutiérrez Franklin

Resumo: Este subprojeto se propõe investigar o potencial construtivo arquitetônico dos processos de impressão em 3d na arquitetura, considerando a produção de estruturas, abrigos e equipamentos em escala 1:1. O trabalho busca dar continuidade à investigação precedente relacionada à análise dos abrigos de emergência utilizados em situações de crises ou desastres ambientais no mundo. Em especial, esta pesquisa tem como recorte o contexto dos recentes rompimentos de barragens de rejeitos de minério ocorridos em 2015 em Mariana e 2019 em Brumadinho, ambos no estado de MG mas com impactos em vários outros pontos do território brasileiro. Este subprojeto tem como horizonte explorar soluções de aprimoramento para os protótipos desenvolvidos levando em conta a ampliação de suas escalas construtivas.

Palavras-chave: impressão 3D, fabricação digital, design de abrigos, design arquitetônico.

1 – Introdução

Os processos de impressão 3d, também conhecidos como fabricação aditiva (R.A. Buswell et al., 2018) vem revolucionando a arquitetura, o design e a construção civil para além da forma como os objetos e projetos arquitetônicos são propostos e pensados, mas principalmente em como são fabricados. Os processos técnicos com mais acessibilidade para diferentes grupos de pesquisa, empresas e usuários são as impressoras 3D desktop que vêm revolucionando o setor tecnológico, a exemplo disso as comunidades "digitais" na internet como a Thingiverse¹ ou a simplicidade proporcionada aos estudos de pré-produção de maquetes e projetos que posteriormente serão elaborados na escala 1:1. O desenvolvimento destas tecnologias no setor da construção está em evolução desde 1996 (Dini et al., 2008) e o surgimento de várias técnicas de construção como a Contour Crafting^{TM2}, a D-Shape^{TM3}, e a Concrete Printing^{TM4} (J.B. Gardiner, 2011) significaram um grande passo científico, industrial e construtivo.

“In 1988, 3D Systems and CMET, a Japanese company, sold a total of 34 Stereolithography systems. These machines were among the first in a new class of technology that produced physical objects by joining thin layers of material, one on top of the next. The shipment and use of these machines marked the beginning of a new industry.” (Wohlers, 2007)⁵

¹ url: <https://www.thingiverse.com/>

²School of engineering, Viterbi, University of Southern California. url: <https://www.contourcrafting.com/>

³ D-Shape private company. url: www.d-shape.com

⁴Additive Manufacturing Research Group, Loughborough University UK. url: <http://www.buildfreeform.com/>

⁵ ‘Em 1988, a 3D Systems and CMET, empresa japonesa, venderam um total de 34 sistemas de estereolitografia. Essas máquinas estavam entre as primeiras em uma nova classe de tecnologia que produzia objetos físicos pela união de finas camadas de material, uma sobre a outra. O embarque e o uso dessas máquinas marcaram o início de uma nova indústria.’(Wohlers, 2007)

A técnica de impressão 3d começou a ser utilizada no final do século XIX, não apenas por companhias privadas, mas também por instituições governamentais como o FBI e a NASA (Hopkinson e Dickens, 2001). Estas instituições continuam investindo em pesquisas dedicadas à impressão 3d seus projetos, como é o caso da comunidade espacial que considera sua possível aplicação para a construção em ambientes espaciais hostis (Cesaretti, Dini et al., 2013).

Em termos gerais, a impressão 3d traz quatro questões fundamentais para as novas gerações de arquitetos, sendo elas: a construção sustentável⁶, a construção fora do local (*off-site fabrication*)⁷, os softwares específicos para a produção de prototipagem⁸ e as diferentes metodologias de aplicação na manufatura aditiva.

A técnica de fabricação aditiva forma objetos a partir de uma sequência de camadas, que são baseadas em uma modelagem digital tridimensional previamente elaborada. Existe uma grande variedade de técnicas utilizadas e diferentes máquinas de fabricação aditiva. Essas técnicas podem ser classificadas em dois grupos: a) Deposição de material para construir um objeto b) Mudança seletiva de estado.

A *Wholers Associates Inc*⁹ é uma companhia que faz um relatório de progresso dos termos, avanços e patentes relacionados com o campo da fabricação aditiva, fazendo uma classificação que é listada de acordo com as características, o processo industrial realizado e quem o produz (J.B. Gardiner, 2011). Este relatório pode ser resumido na seguinte tabela:

Técnica	Características	Processo Industrial	Produtor
Deposição de material para construir um objeto.	Deposição de massa	Materiais Pré-misturados	Fabber
	Deposição Fundida	Modelagem de deposição fundida	Polymer-Stratasys, HP e Makerbot
	Deposição de jato de tinta	Deposição por jato de tinta de fotopolímero e fotopolimerização (1)	
Mudança Seletiva de estado dos materiais. (2)	Fusão	Sinterização seletiva por laser, feixe de elétrons, etc	Metal- MTT, ARCAM e EOS, Stratasys, EOS
	Fotopolimerização	Estereolitografia (3)	CMET, sistemas 3D e DWS
	Adesão	Adição seletiva de um material adesivo a um material – Jato de tinta – injeta o aglutinante no pó	Z-corp e Ex One
	Reação Química	Adicionar seletivamente um material a outro para criar uma transformação química	D-Shape
(1) A fotopolimerização (LCS) é um processo de cura cerâmica para impressão 3D (G. Mitteramskogle et al. 2014) (2) em uma câmara ou em uma plataforma (em alguns casos usando catálise), a mudança de estado pode ser temporária (por exemplo, fusão temporária em líquido) ou permanente (por exemplo, solidificação). (3) Usa um laser ultravioleta para curar com precisão seções transversais de fotopolímeros, convertendo-os de líquidos a sólidos. https://es.3dsystems.com/			

Tabela 1. *Técnicas sintetizadas por J. B. Gardiner, 2011, p. 72.*

⁶ Considerar: material usado, energia usada, aire (poluição, reciclagem), água, biodiversidade (flora, fauna), factores humanos.

⁷ Definição por Gibb: “A fabricação fora do local é um processo que incorpora pré-fabricação e pré-montagem. O processo envolve o projeto e fabricação de unidades ou módulos, geralmente remotos do local de trabalho, e sua instalação para formar as obras permanentes no local de trabalho [...] a fabricação fora do local requer uma estratégia de projeto que mudará a orientação do processo de projeto desde a construção até a fabricação e instalação.” (Gibb, 1999)

⁸ Rhino™, Generative Components™, CATIA™, Maya™

⁹ url: <https://wohlersassociates.com/>

A maioria das técnicas de impressão 3D para construção civil é baseada na extrusão de material cimentício, estes são materiais compostos de partículas finas com características semelhantes ou complementares às do cimento (Figueredo, A. e Kuster L., 2019). Usam-se máquinas na produção como: a impressora cartesiana, os braços poliarticulados (Figura 01) ou robô de cabo (Figura 04) (N. Labonnote et al., 2016). Eventualmente, novas técnicas com outros tipos de operações surgirão, expandindo esta lista. Diante disto, é necessário mencionar os benefícios de sua implementação, conforme destacado por Gardiner (2011), sendo eles: a) a personalização e individualização dos produtos, como ajustes ou verificações individuais nas peças; b) construção de geometrias complexas, incluindo sequências entrelaçadas (Figura 04), sistema já explorado no setor têxtil c) o aumento da pré-fabricação de peças de montagem com um grande potencial de customização do material utilizado (J.B. Gardiner, 2011) e d) uma otimização estrutural e uma redução de uso de materiais em até um 70% (D. López et al, 2014).

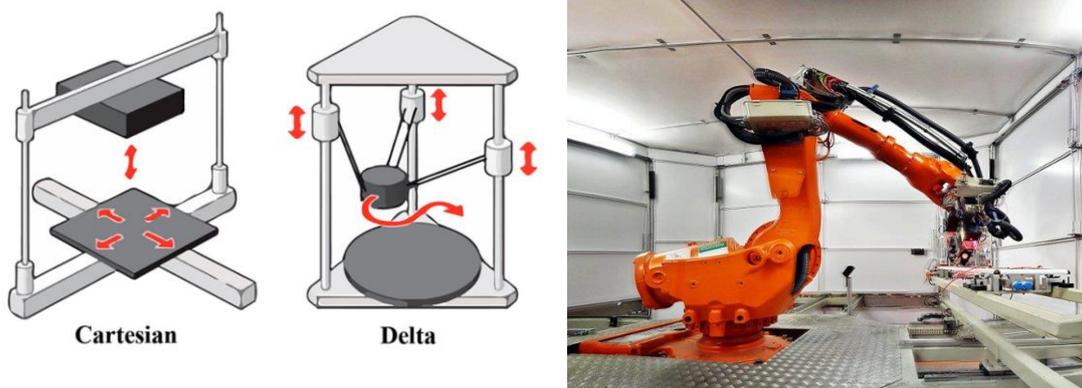


Figura 01. Esquema de impressoras cartesianas e delta (esquerda). . Braço poliarticulado (direita). Fonte: Earls e Baya (2014)

2 – Objetivos

- . realizar levantamento de técnicas de produção de estruturas impressas em 3d, tais como a impressão de objetos cerâmicos, vidros e compostos híbridos; avaliar a disponibilidade destes recursos no contexto local e aferir a viabilidade de utilizá-los em projetos de abrigos e pequenas construções;
- . Organizar material bibliográfico e apresentá-lo didaticamente em produções gráficas próprias visando a exposição e divulgação da pesquisa; documentar todo o projeto e redigir artigos científicos originais

3 – Metodologia

Considerando a importância de conhecer os casos de projetos e protótipos que foram discutidos, simulados e construídos com tecnologia de construção em impressão 3D, uma lista de estudos de caso surge como referência de apoio.

1. Estudos de caso

1.1 Gaia (2018)

Na Itália, o grupo 3D WASP produziu o estudo de caso para moradia intitulado “Gaia”, feita com tecnologia ABMs¹⁰. O nome é devido ao uso do solo bruto como principal aglutinante da mistura constituinte. Expectativa da empresa é que essa técnica possa ser considerada como um novo modelo arquitetônico eco sustentável. Este projeto dá atenção especial ao uso de resíduos naturais, provenientes da

¹⁰ Fabricação Aditiva de Edifícios (Additive Building Manufacturing).

cadeia produtiva do arroz e orientados para a construção de alvenaria particularmente eficiente, do ponto de vista bioclimático e sustentável.

Para a realização de Gaia, a RiceHouse forneceu as fibras vegetais através das quais a WASP desenvolveu uma mistura composta por: 25% do solo retirado do local (30% de argila, 40% de silte (limo)¹¹ e 30% de areia), 40% de arroz picado, 25 % de casca de arroz e 10% de cal hidráulica. A mistura foi misturada através do uso de um moinho de panela úmida, capaz de tornar a mistura homogênea e viável (Chiusoli A. 2018)¹²



Figura 02: Máquina CraneWASP na produção do primeiro modelo Gaia. Fonte: WASP

A casa modular Gaia foi produzida graças à máquina modular Crane Wasp (Figura 02), usada pela equipe para a maioria de suas criações em impressão 3D. Esta máquina pode ser montada de várias maneiras dependendo do objetivo de produção, pode ser expandida adicionando mais peças e braços e impressora permitindo uma grande área de fabricação. O módulo base tem 6,60 metros de diâmetro por 3,0 metros de altura (Figura 03). Esse tipo de produção representa um avanço significativo em termos de construção, sendo uma das razões a baixa geração de resíduos e a contaminação construtiva na área de produção. A Crane Wasp pode imprimir com diferentes fluidos ou misturas como cimento, bio-cimento¹³ ou massa natural (3DWASP. 2018?)¹⁴

¹¹ Fragmento de mineral ou rocha menor do que areia fina e maior do que argila e que na escala de Wentworth, de amplo uso em geologia, corresponde a diâmetro $> 4 \mu\text{m}$ e $< 64 \mu\text{m}$ (1/256 a 1/16 mm). Somente em frações mais grossas, já próximo do tamanho de areia fina [...] Como depósito sedimentar corresponde a material muito fino e friável e que à medida que se combina com argila, nos sedimentos silítico-argilosos, torna-se mais coeso e plástico. (Winge, M. et al. 2001-2020)

¹² url: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/>

¹³ Os bio-cimentos são um tipo de biomaterial [...] há duas linhas principais sobre a utilização dos materiais cerâmicos: uma usando resíduos industriais, voltada para a construção civil; e outra dedicada às aplicações biomédicas. (Silva S. 2020)

¹⁴ url: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printer-house-crane-wasp/>

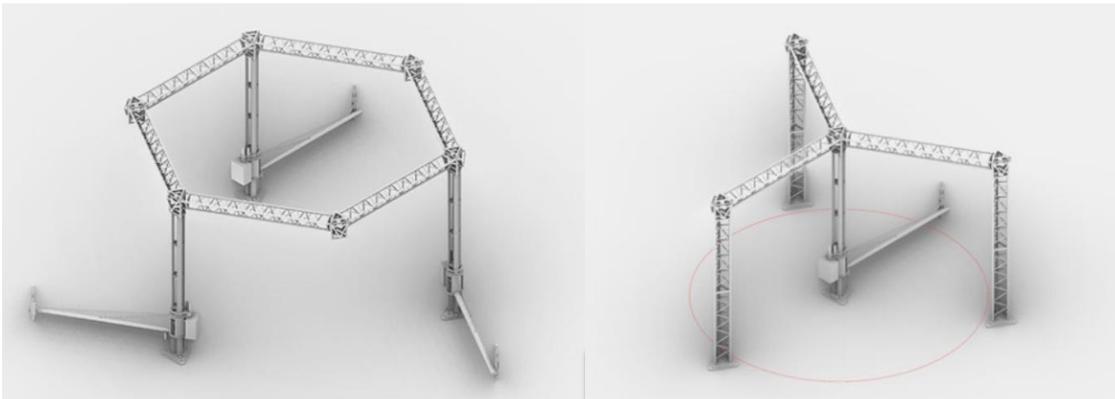


Figura 03. Exemplos de modulação da máquina Crane WASP. Fonte: WASP

O impacto ambiental deste módulo construído é quase nulo (Monterisi Tiziana, 2020)¹⁵, suas características mais favoráveis são: as poucas semanas necessárias para sua construção, os materiais têm uma resposta positiva a várias temperaturas, fazendo com que seu interior não precise do uso de aquecedores ou ar condicionado para regular temperaturas internas (Figura 04). A orientação solar da Gaia foi essencial para aproveitar a luz natural, com o qual posicionaram corretamente os vãos e, além disso, foi elaborada uma cobertura leve mas com materiais térmicos que atendiam os requisitos energéticos de moradia; a cobertura é feita de madeira com isolamento em cal mais palha, este tipo de isolamento é feito nos muros também. O muro tem cavidades verticais dentro, que são recheadas de arroz para isolamento (Dincer, I. et al. 2020) e internamente foi finalizada com uma camada de barro que posteriormente foi alisada com óleos de linhaça (Figura 06) (3DWASP. 2018?).¹⁶

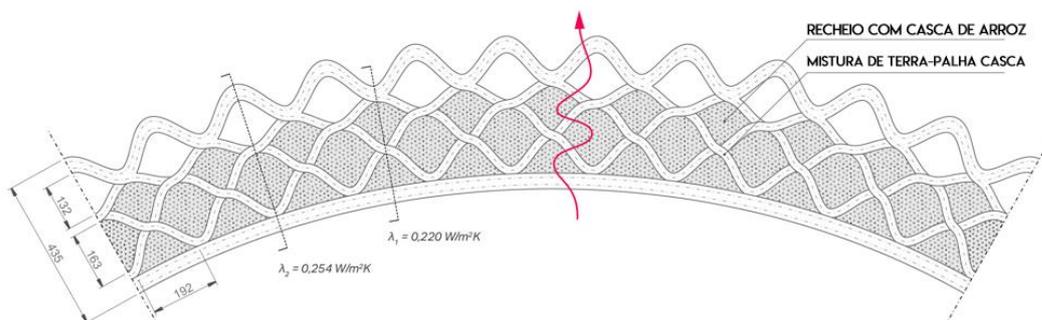


Figura 04. Corte Horizontal da parede. Fonte: WASP

A parte externa do muro apresenta um design específico para seu objetivo de ventilação natural e termoacústica (Figura 05), este design é apresentado por curvaturas com variação geométrica e solidez construtiva, a parede tem 40 cm de espessura e, de acordo com o grupo WASP seu custo estrutural é de € 900. Em suma estas variações nas formas e texturas são difíceis de produzir com as práticas tradicionais de construção. Demonstrando as enormes vantagens da impressão 3D, com uma resposta de design sustentável e qualidade arquitetônica (Figura 07).

¹⁵ url: <https://www.3dwasp.com/en/zero-impact-houses-wasp-on-the-tv-show-striscia-la-notizia/>

¹⁶ url: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printer-house-crane-wasp/>

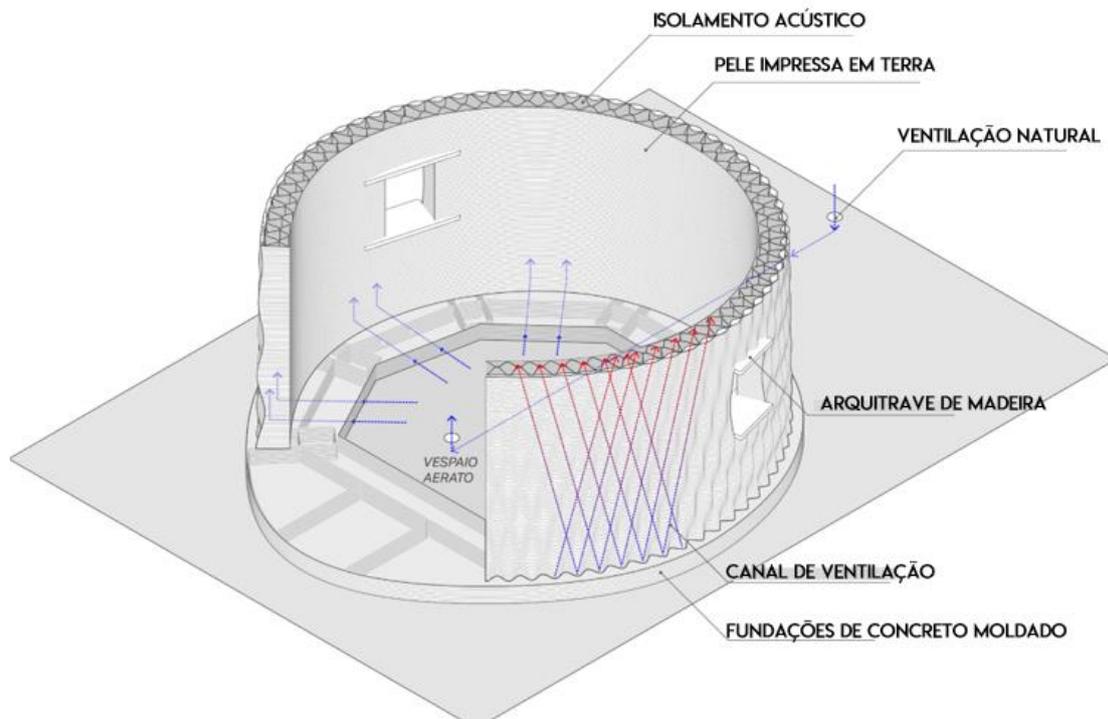


Figura 05. Detalhamento do muro do projeto Gaia. Fonte: WASP



Figura 06. Muro Gaia na sua etapa final (esquerda). Recheio interno do muro (direita). Fonte: WASP



Figura 07. Interior do Projeto Gaia (esquerda). Projeto Gaia no seu estado final (direita). Fonte: WASP

1.2 Enrico Dini (Itália) – *D-shape* (1996)

Projetos como a escultura impressa em 3D de Andrea Morgante ou a primeira ponte impressa em 3D (Figura 08), foram realizadas através da tecnologia D-Shape™ com uma técnica de leito de areia ativada seletivamente (Dini et al., 2008), inventada e patenteada pelo engenheiro Enrico Dini. A D-Shape é capaz de imprimir peças em grande escala, possuindo uma área de impressão de 6x6 metros e atinge uma altura de 3 metros. O processo de desenvolvimento dos materiais é diferente aos produzidos por outros grupos de pesquisa, usa-se o recurso específico de catalisar seletivamente materiais dentro de uma camada de substrato de areia pré-depositada através de “injeção ad-hoc” (J.B. Gardiner, 2011). As outras técnicas exploradas são focadas na extrusão do material de construção já pré-misturado com o catalisador ou aglutinante associado (Colla V. e Dini E., 2013). A D-shape usa a “Particle-bed 3D printing” ou impressão 3d em leito de partículas, oferecendo um grande dinamismo, sem necessidade de uma cofragem para sua produção (Lowke, Dini et al., 2018) faz com que aumentem as novas oportunidades para o design de geometrias complexas, além de otimizar as formas para o uso estritamente necessário da produção, obtendo uma redução do impacto ambiental.

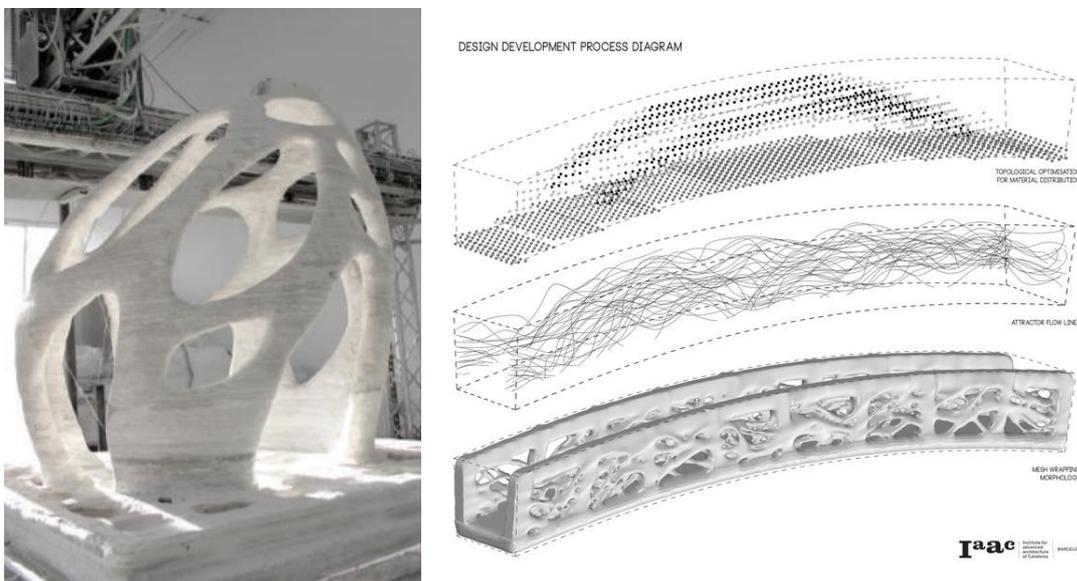


Figura 08. Radiolaria, a primeira escultura impressa em 3D de grande formato e geometricamente complexa, projetada por Andrea Morgante (esquerda) Fonte: Morgante A, 2011. Desenvolvimento do processo de design da ponte impressa com tecnologia D-Shape (direita). Fonte: Acciona

A fabricação aditiva de peças ou projetos é o principal campo de pesquisa para a tecnologia D-shape, junto com o processo específico 3d em leito de partículas (Particle-bed), este método imprime seletivamente um material líquido inorgânico em um leito de material que é composto por uma mistura de areia, o líquido cria uma reação química com o catalisador dentro da mistura de areia e eventualmente a areia transforma-se em um material similar ao arenito (Dini, 2009), a impressão das seguintes camadas pode continuar durante o processo de catalisação das já formadas. Assim o processo de impressão usado tem uma diferença crucial com técnicas como a Contour Crafting, já que usa uma mudança seletiva de estado dos materiais e não uma deposição dos materiais já misturados.

Theoretically, concrete can take any shape. The reason why current concrete construction is mostly limited to simple shapes with a constant cross-section is the high cost of free-form formwork. The degree of automation in concrete construction, concrete being a common material in building industry, is still low. Additive manufacturing could change this. (G. Schutter et al., 2018)¹⁷

¹⁷ Teoricamente, o concreto pode assumir qualquer forma. A razão pela qual a construção de concreto atual é principalmente limitada a formas simples com uma seção transversal constante é o alto custo da cofragem de forma livre. O grau de automação na construção de concreto, sendo o concreto um material comum na construção civil, ainda é baixo. A manufatura aditiva pode mudar isso. (G. Schutter et al., 2018)

Essa afirmação se aplica à mudança de perspectiva gerada pela D-Shape, utilizando sua plataforma construtiva como material de suporte para as camadas impressas subsequentes, deixando de lado os apoios adicionais para sustentar o material. A impressora consiste em uma moldura horizontal de alumínio elevada por quatro colunas (Figura 09). O quadro horizontal apresenta uma cabeça de impressão com 300 bicos em intervalos de 20 mm e uma lâmina para espalhar a areia (Figura 09). Para o projeto Radiolaria foram preenchidas as lacunas dentro da matriz dos bicos e para garantir que toda a seção transversal fosse atingida pelo fluido uniformemente, foi produzida em cada camada várias passagens com um deslocamento de 5 mm da cabeça de impressão (Lowke, Dini. et al., 2018), este processo (particle-bed) foi finalizado em uma semana, removendo a mistura e a casca da Radiolaria. O grupo de pesquisa tem elaborado mais de 1000 tests, tendo como finalidade a automatização da construção em concreto e a otimização geométrica sem aumento do custo de fabricação, tornando soluções não-padrão aceitáveis construtivamente (Lowke, Dini. et al., 2018).



Figura 09. Impressora 3D D-Shape (esquerda) e cabeças de impressão (direita) Fonte: Lowke, Dini. et al. (2018)

1.3 Apis Color Printed House (URSS) (2016)

Em dezembro de 2016, a empresa Apis Cor¹⁸ anunciou ter construído a primeira casa “no local” na cidade de Stupino, na região de Moscou (Sakin, 2017). Com a Apis Cor, por primeira vez na prática de construção russa, foi projetada a casa em impressão 3D usando tecnologia Contour Crafting (Figura 10) em uma área de impressão de 38m². Uma das complexidades que teve o projeto foram as temperaturas do ambiente, pois o uso da mistura de concreto usada exigia temperaturas acima de 5°C. O próprio equipamento segundo a companhia é capaz de operar em temperaturas abaixo de -35°C. Em consequência, cobriram o terreno com uma tenda que conseguisse fornecer a temperatura necessária para a elaboração do projeto (Sakin, 2017).



Figura 10. Casa Apis Color, vista frontal (esquerda) e processo Contour Crafting na casa Apis Color (direita) Fonte: Apis Color

¹⁸ url: <https://www.apis-cor.com/>

1.4 Yhnova Univ. Nantes (França) (2017)

A proposta de impressão 3D da Universidade de Nantes visa atender às demandas da habitação social na França, além de demonstrar ao setor da construção novas possibilidades em sua produção construtiva. Esta pesquisa demonstra em seus resultados teóricos e práticos que pode se repensar o design na construção, melhorar a execução no local, infundir tecnologia e inovação e, eventualmente, treinar os trabalhadores às novas demandas do setor construtivo.

The burgeoning technology of large scale additive manufacturing could be a tool for a new impulse in the construction industry (P. Poullain et al., 2018).¹⁹

O processo realizado no desenvolvimento deste projeto, demonstra que o necessário é utilizado e não há perda de material, portanto, a tecnologia reduz os custos operacionais (o que mais influencia o fato de ser uma habitação acessível em termos econômicos), o que contrária às tecnologias atuais de construção. Além disso, há uma maior oportunidade em aspectos do projeto arquitetônico e favorece os aspectos acústicos e térmicos.



Figura 11. Início do processo de construção da casa Yhnova. Fonte: P. Poullain et al. (2018)

Batiprint3D™²⁰ é o nome dado à tecnologia de construção desenvolvida pelos laboratórios de pesquisa da Universidade de Nantes (França), o LS2N (Laboratório de Ciências Numéricas) e o GeM (Instituto de Pesquisa em Engenharia Civil e Mecânica). Na execução da casa 3D, uma cofragem é usada nas paredes, feita de espuma de poliuretano por fora e no interior em concreto (Figura 11) (Nantes, Batiprint, 2017).

The layers of polyurethane foam are first deposited to create a formwork (FW) in which the concrete is poured with a slight time delay to ensure that the foam has acquired sufficient stiffness to support the pressure exerted by the fresh concrete with deformations of the FW lower than the maximum value accepted by the standards of construction (5<mm),(P. Poullain et al.,2018).²¹

No processo de desenvolvimento e pesquisa da casa 3D, foi dada prioridade ao estudo da parede e do concreto no interior (Figura 12). Uma impressora foi usada para imprimir camadas do chão para cima, sobre uma cimentação básica, cada parede é grossa, isolada e totalmente durável.

¹⁹ A tecnologia emergente de fabricação de aditivos em grande escala pode ser uma ferramenta para um novo impulso na indústria da construção (P. Poullain et al., 2018)

²⁰ url: batiprint3d.com/en

²¹ As camadas de espuma de poliuretano são primeiro depositadas para criar uma fôrma (FW) na qual o concreto é derramado com um ligeiro atraso para garantir que a espuma adquiriu rigidez suficiente para suportar a pressão exercida pelo concreto fresco com deformações (FW) inferiores ao valor máximo aceito pelas normas de construção (5 <mm)(P. Poullain et al., 2018).

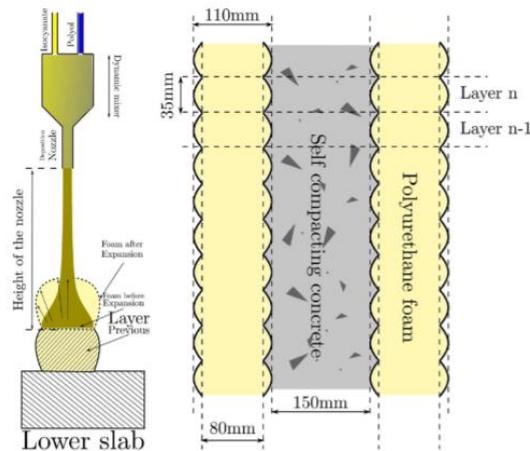


Figura 12. Corte vertical da parede. Fonte: P. Poullain et al. (2018)

O modelo 3D é produzido pelo software BIM (Building Information Model), projetado pelo grupo TICA architects and urbanistes²². O grupo de arquitetura TICA projetou a casa com o propósito de não remover nenhuma árvore existente no local, respeitar seu contexto social e ambiental com o parque ao lado do projeto. A casa tem um nível de 95m², foi projetada para uma família de cinco pessoas, com quatro quartos e um amplo espaço central. A curva melhora a circulação de ar da casa, reduzindo a umidade potencial e melhorando a resistência térmica (P. Poullain et al., 2018). O edifício também foi projetado para pessoas com deficiência, com acesso para cadeira de rodas e a capacidade de controlar tudo a partir de um smartphone. Foi aprovada para ser projetada como habitação social em setembro de 2017, com o nome Yhnova™ por seu formato em “Y” (Figura 14). Sua elaboração causou grande impacto, devido ao seu curto tempo de construção e à sua qualidade espacial (Figura 13), desde julho de 2018 mora a primeira família a morar numa casa construída por impressão 3D (Nantes Metropol Habitat, 2017).



Figura 13 . Interior da casa 3D Yhnova™. Fonte: Tica architectes & urbanistes

²² url: <http://www.ticarchitecture.fr/index.php/habitats/yhnova/>



Figura 14. Casa Yhnova na sua etapa final (esquerda). Planta da casa Yhnova (direita). Fonte: Tica architectes & urbanistes

1.5 Summer House DUS Arquitetos- Holanda (2016)

A cabine urbana “Summer House” é a primeira experiência de impressão 3D da equipe de arquitetos DUS, é um protótipo em escala 1:1 que demonstra particularmente o quão útil é o uso dessa técnica de construção para pequenas casas temporárias ou em áreas de desastre. Um dos potenciais desse projeto é o uso de material de bio-impressão, pois ele pode ser completamente triturado e gerar novos projetos. O bioplástico especial foi desenvolvido na Alemanha pela empresa Henkel (The Guardian, 2016).²³

Este pequeno projeto de 25m² é um estudo para uma casa maior (Figura 16), em desenvolvimento na área industrial da cidade de Amsterdã. O grupo DUS mantém a filosofia da democratização dos processos de produção (WELT, 2014)²⁴, de modo que A Cabine Urbana é uma resposta à arquitetura no espaço urbano e a repensar o indivíduo dentro da cidade. A proposta conceitual propõe-se pausar a rotina diária, valorizar o canal da cidade e exaltar o visual que o local proporciona (Figura 15).

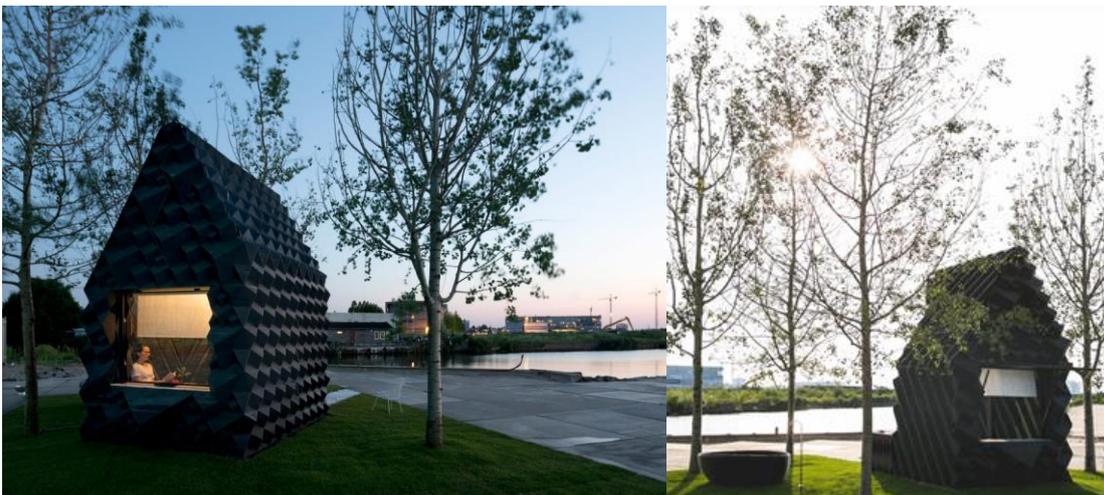


Figura 15. Exterior do projeto Summer House. Fonte: Dezeen

²³ <https://www.theguardian.com/artanddesign/architecture-design-blog/2014/mar/28/work-begins-on-the-worlds-first-3d-printed-house>

²⁴ <https://www.welt.de/vermishtes/article128556883/Diese-Haeuser-sind-eine-industrielle-Revolution.html>

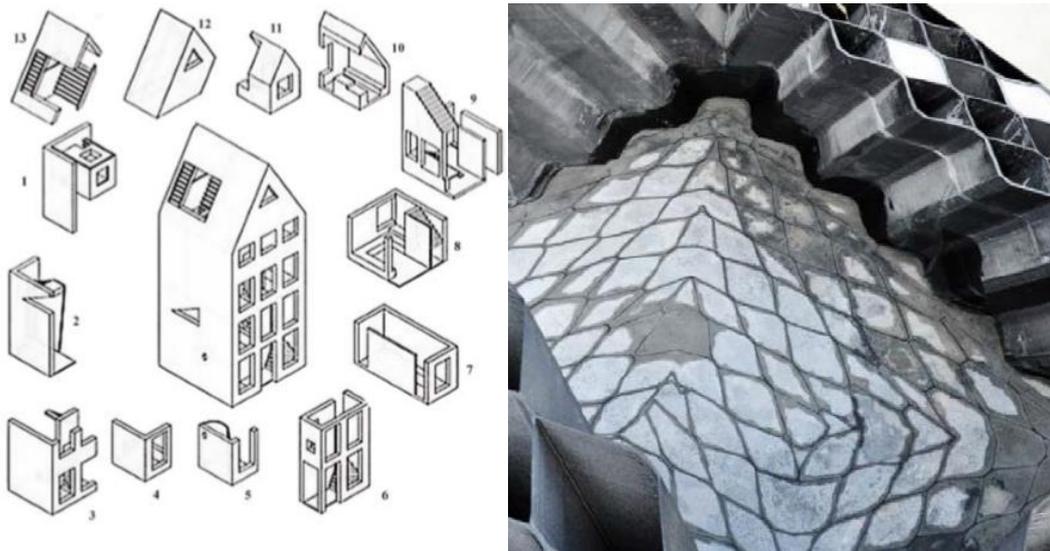


Figura 16. Ideia macro de impressão 3D da equipe DUS, consiste em 13 habitações diferentes (esquerda). Base de concreto da Cabine. Fonte: DUS

O projeto possui uma base básica de concreto como cimentação (Figura 16), a edificação tem dois vãos, um como janela e outro como ingresso para o interior da proposta. Na parte frontal (varanda) é criada uma atmosfera externa a partir de um escalonamento, a circulação que guia o usuário até o ingresso apresenta uma placa impressa com formas ocas, semelhantes às do volume, preenchidas com pedras brancas. A fachada usa formas triangulares (Figura 17) tanto em elevação quanto em planta, gerando uma solução inteligente para isolamento e pouco consumo de material; a superfície preta se deve ao filamento usado na impressão 3D, o produto tem o óleo de linhaça como componente principal, mas sua composição ainda está sendo estudada em conjunto com a empresa de fabricação Henkel (The Guardian, 2014)²⁵. No espaço interior, há espaço suficiente para uma cama, no entanto, os assentos são usados para os usuários que a usam durante o dia.



Figura 17. Fachada da Summer House. Fonte: Dezeen

1.6 Projeto Milestone-Holanda (em andamento)

²⁵ <https://www.theguardian.com/artanddesign/architecture-design-blog/2014/mar/28/work-begins-on-the-worlds-first-3d-printed-house>

O projeto Milestone estará localizado no distrito de Meerhoven, em Eindhoven, é um plano de construção civil que está em andamento, no 2018 planejavam a finalização da primeira casa para o ano 2019 (Figura 18). A proposta consiste em uma pequena vila de cinco casas, permitindo que o projeto seja totalmente personalizado para o cliente de maneira rápida e fácil (3dprintedhouse, 2018). É o primeiro plano imobiliário para moradias em 3D, projetado pelo grupo de arquitetos Houben & Van Mierlo²⁶ e pela Universidade de Tecnologia de Eindhoven²⁷.

“The futuristic design from Houben / Van Mierlo architects has succeeded in being timeless. The design results from the typical possibilities of the new technique. The 3D printing technique gives freedom of form, whereas traditional concrete is very rigid in shape. This freedom of form has been used here to make a design with which the houses naturally blend into their wooded surroundings, like boulders. As if the five buildings were abandoned and have always been in this wooded oasis.” (3dprintedhouse, 2018)²⁸



Figura 18. Render-Projeto Milestone. Fonte: Houben/Van Mierlo architects

A produção deste projeto é in situ, usando tecnologia de extrusão (Figura 19), os primeiros elementos de construção estão sendo impressos na universidade de Eindhoven, mas estima-se que a última casa possa ser fabricada no local, o que reduz os custos de produção (3dprintedhouse, 2018). Usar concreto com menos cimento será o material usado para impressão, reduzindo os impactos ambientais do projeto. Os arquitetos planejaram a diversidade do design, não apenas para oferecer respostas funcionais diferentes, mas também para desenvolver elementos da paisagem que remontam às "estruturas de Stonehenge" (Dezeen, 2018)²⁹. A liberdade tipológica das casas quebra os parâmetros tradicionais de projeto graças à impressão 3D, além de propor novas respostas às técnicas de pré-fabricação.



²⁶ <https://www.houbenvanmierlo.nl/werk/milestone/>

²⁷ <https://www.tue.nl/en/news/news-overview/eindhoven-gets-the-first-3d-concrete-printing-housing-project/>

²⁸ O design futurista dos arquitetos Houben / Van Mierlo conseguiu ser atemporal. O design resulta das possibilidades típicas da nova técnica. A técnica de impressão 3D dá liberdade de forma, enquanto o concreto tradicional tem formas muito rígidas. Essa liberdade de forma foi usada aqui para fazer um projeto com o qual as casas se integram naturalmente ao ambiente arborizado, como se fossem pedras. Como se os cinco prédios estivessem abandonados e sempre tivessem estado neste oásis arborizado. (3dprintedhouse, 2018)

²⁹ <https://www.dezeen.com/2018/09/11/video-mini-living-3d-printing-houses-eindhoven-movie/>

Figura 19. Produção das primeiras peças na Universidade Tecnológica de Eindhoven. Fonte: 3dprintedhouse

1.7 Yingchuang Winsun (China)

A Yingchuang Building Technique (Shanghai) Co.,Ltd (WinSun) é uma empresa chinesa que trabalha com materiais semelhantes ao concreto. Esta tecnologia de construção imprimiu os elementos com processo de extrusão, pré-fabricados e montados em um local. Os componentes são impressos com impressoras de 6 metros de altura, 10 metros de largura e 40 metros de comprimento (HAGER, I et al, 2016). Entre 2013 e 2014 WinSun construiu dez casa impressas y um edifício de cinco andares (Figura 20).



Figura 20. Modelo de casa impresso pela companhia WinSun (esquerda). Edifício de cinco andares (direita). Fonte: (HAGER, I et al, 2016)

A mistura para o material similar ao concreto contém fibra de vidro, aço, cimento e materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e resíduos de mineração (Future of Construction, 2016). Segundo o processo mostrado pela companhia WinSun, todo o projeto envolve elementos de impressão na fábrica, utilizando a impressora. Em seguida, é realizado o transporte das peças pre-fabricadas para o lugar de construção. Os elementos de aço servem apenas como conetores dos elementos impressos (Figura 21). Não foram encontrados dados sobre a qualidade e a conexão das peças.

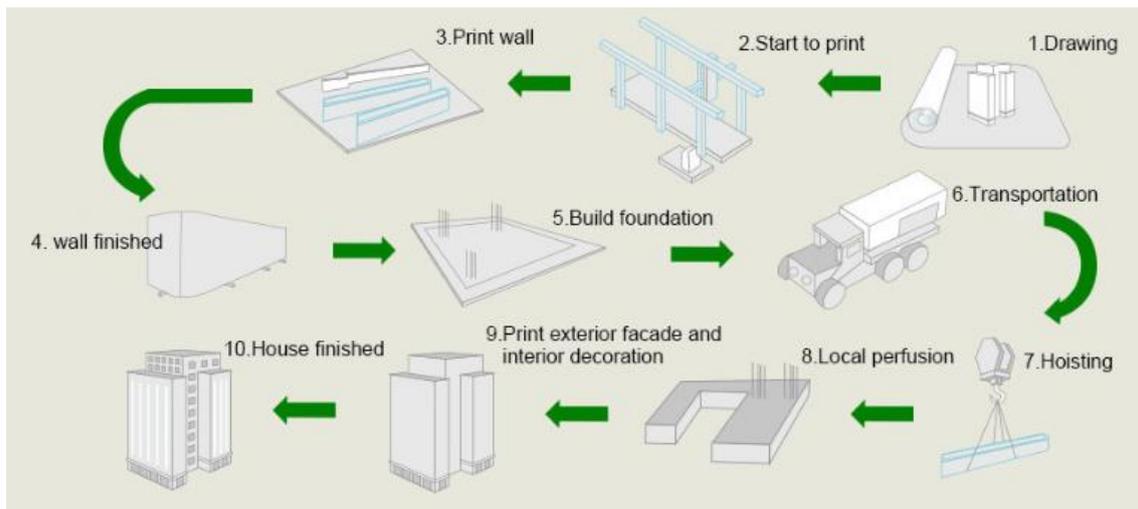


Figura 21. Processo de construção mostrado pela companhia WinSun. Fonte: WinSun

4- Resultados

Com base nas publicações aplicadas de construção impressa e o material pesquisado, surge uma análise SWOT ou FOFA, com fins de avaliar a efetividade desta técnica construtiva em pequenos abrigos e ou construções.

	FORÇAS	FRAQUEZAS
FATORES INTERNOS	<ul style="list-style-type: none"> • Projetos realizados apenas na área designada, onde a máquina trabalha. • Os resíduos no local praticamente não existem. • O serviço de logística de construção pode ser mais fácil, porem depende do estado da avaliação do impacto das novas tecnologias na produção da construção. • Curta duração do tempo de construção. O tempo preciso do trabalho da máquina. • Em casos onde a máquina não precise de cofragem, todos os componentes podem ser impressos e instalados no local. • Menos equipamentos especiais são necessários no local. • Permite que os usuários tenham interferência no processo de construção, adaptadas a suas demandas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer um planejamento cuidadoso dos materiais a serem usados, com uma avaliação constante do produzido. • Por se tratar de uma nova tecnologia de construção, os equipamentos podem demandar um alto custo. • Toda a construção pode ser por médio de impressão, exemplo: estrutura de vedação, em alguns casos cobertura. • Não todas as companhias usam a tecnologia de impressão de maneira avançada. Usam a tecnologia da mesma forma que tecnologias já existentes, sem apresentarem uma qualidade do projeto. • Em casos onde é usada cofragem e é jogada fora. • Ainda não há uma produção de pesquisa considerável, de materiais sustentáveis para moradia
	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
FATORES EXTERNOS	<ul style="list-style-type: none"> • Em grandes escalas de construção pode significar baixo custo em construção impressa. • A capacidade de imprimir edifícios no terreno após o desastres ambientais. Em áreas que foram cobertas pela guerra ou em países com precariedade habitacional para refugiados. • O uso de materiais reciclados para impressão e a redução de resíduos durante o processo de construção. • A tecnologia de impressão pode ser usada para montar um canteiro de obras mais pratico e com maior qualidade. • Atende áreas atingidas com um tempo menor. • Requer funcionários capacitados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da demanda de funcionários (redução de empregos). • A não previsão meteorológica pode gerar danos nas estruturas e/ou maquinas. • Dependendo do material de construção definido para o projeto, pode haver dificuldades com o fornecimento de materiais de construção. Há falta no mercado de uma ampla gama de materiais para o projeto de impressão, principalmente virado para construção civil.

Tabela 2. FOFA para análise da técnica construtiva em impressão 3D. Fonte: Autor

Da matriz atual um fator repetitivo nas fraquezas e ameaças são os materiais pouco reconhecidos, oferecidos por produtores de matérias primas, para produtos na indústria da construção. Destaca-se que os custos de produção podem aumentar sem ter em consideração nos produtores de matéria-prima. Só um dos casos de estudo (Casa Gaia), reconhece um produtor local (RiceHouse) como parte fundamental da composição do material de construção. Ao mesmo tempo há uma grande vantagem na capacidade de imprimir edifícios no terreno após desastres pela sua versatilidade, a organização de construção desta tecnologia e no uso de materiais já usados.

5- Discussão e conclusões

A análise FOFA da tecnologia de impressão 3D mostra o impacto da construção no local, indica a vantagem dos pontos fortes e oportunidades no desenvolvimento e disseminação da tecnologia de impressão 3D em casos de desastres ou precariedade. Os pontos a favor como, a redução do espaço usado para construir, o encurtamento de tempo de produção e os materiais usados ajudarão no investimento e eventual melhoramento da tecnologia. É notório que o papel mais importante, neste momento, é entender a lógica de construção e fabricação por camadas (inclinações, os diversos materiais e formas), a especialização das estruturas de design, as tecnologias e a fabricação de novos materiais para impressão incluindo as demandas ambientais e arquitetônicas. É necessário levar em conta esses princípios para gerar verdadeira arquitetura de qualidade e com identidade. Ainda há muitos problemas a serem investigados e resolvidos antes que a tecnologia encontre aplicação considerável na indústria de construção.

6- Referências Bibliográficas

1. DINI, E., CHIARUGI, M. & NANNINI, R. 2008. **Method and device for building automatically conglomerate structures**. Italy patent application.
2. GARDINER, J. B, 2011. **Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing** – Project Led Architectural Research. Ph.D. Thesis, RMIT University.
3. WOHLERS, T. 2007. Viewpoint: Confused by terminology? Time compression technologies [Em linha]. Disponível: www.wohlersassociates.com/MarApr07TCT.htm. [Ultimo acesso 26 de Agosto 2020]
4. GIBB, A. G. F. 1999. **Off-site fabrication: Prefabrication, preassembly and modularisation**. Caithness, Whittles Publishing. Disponível em: <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=WHITTLES&DocID=304112>
Acesso em: 4 de set. 2020
5. HOPKINSON, N. & DICKENS, P. 2001. **Rapid prototyping for direct manufacture**. Rapid Prototyping Journal, 7, 197-202.
6. G. CESARETTI, E. DINI, X. De KESTELIER, V. COLLA, L. PAMBAGUIAN, 2014. **Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology**, Acta Astronautica, Volume 93, Pg. 430-450, ScienceDirect [Em linha].
7. N. LABONNOTE, A. RONNQUIST, B. MANUM, P. RUTHER, 2016. **Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities**, Automation in Construction, Volume 72, Part 3, Pg. 347-366, ScienceDirect [Em linha]. Acesso em: 4 de set. 2020
8. G. MITTERAMSKOGLER, R. GMEINER, R. FELZMANN, S. GRUBER, C. HOFSTETTER, J. STAMPFL, J. EBERT, W. WACHTER, J. LAUBERSHEIMER, 2014. **Light curing strategies for**

- lithography-based additive manufacturing of customized ceramics**, Additive Manufacturing, Volumes 1–4, Pg. 110-118, ScienceDirect [Em linha]. Acesso em: 20 de Ago. de 2020
9. V. COLLA, E. DINI, 2013. **Large Scale 3D Printing: from Deep Sea to the Moon. Low-Cost 3D Printing for science**, education sustainable development. Pg. 127-132,
 10. D. LOWKE, E. DINI, A. PERROT, D. WEGER, C. GEHLEN, B. DILLENBURGER, 2018. **Particle-bed 3D printing in concrete construction – Possibilities and challenges**, **Cement and Concrete Research**, Volume 112, Pg. 50-65, ScienceDirect [Em linha].
 11. E. DINI, 2009. **Improved Method for Automatically Producing a Conglomerate Structure and Apparatus**. Italy patent application.
 12. G. De SCHUTTER, K. LESAGE, V. MECHTCHERINE, V. N. NERELLA, G. HABERT, I. AGUSTI-JUAN, 2018. **Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials**, **Cement and Concrete Research**, Volume 112, Pg. 25-36, ScienceDirect [Em linha].
 13. M. SAKIN, Y. C. KIROGLU, 2017. **3D Printing of Building: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM**. Volume 134, Pg. 702-711, ScienceDirect [Em linha].
 14. D. LOPEZ, D. VEENENDAAL, M. AKBARZADEH, P. BLOCK. **Prototype of an ultra-thin, concrete vaulted floor system**, in: R.M.L.R.F. Brasil, R.M.O. Pauletti (Eds.), Proceedings of the IASS-SLTE Symposium: “Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints” 15 to 19 September 2014, Brasilia, Brasil.
 15. P. POUILLAIN, E. PAQUET, S. GARNIER, B. FURET, 2018. **On site deployment of 3D printing for the building construction - The case of Yhnova**. MATBUD’2018 – 8th Scientific-Technical Conference on Material Problems in Civil Engineering. Volume 163. EDPScience [Em linha].
 16. NANTES, BATIPRINT, Set 2017. **Une Maison Construite en quelques jours par impression 3D grâce au procédé Batiprint3D**.
 17. MENGES, a. & HENSEL, M, 2008. **Versatility and Vicissitude. Architectural and Design**. London, UK: John Wiley & Sons.
 18. WINGE, M. *et. al.* 2001 - 2020. **Glossário Geológico Ilustrado**. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/> Acesso em: 26 de set. de 2020
 19. FIGUEREDO A. e KUSTER L. 2019. **Materiais Cimentícios Suplementares: alto desempenho tecnológico**. Disponível em: <https://reciclos.ufop.br/news/materiais-cimenticios-suplementares-alto-desempenho-tecnologico>. Acesso em: 26 de Set. de 2020
 20. SILVA S. 2020. **Biocimento pode ajudar no tratamento de doenças ósseas**. ANDIFES. Disponível em: <http://www.andifes.org.br/ufc-biocimento-pode-ajudar-no-tratamento-de-doencas-osseas/> Acesso em: 30 de Set. de 2020
 21. Nantes Metropol Habitat, 2017. Em linha: <https://www.nmh.fr/Actus/YHNOVA-une-maison-construite-en-quelques-jours>. Acesso em: 30 de Set. de 2020
 22. HAGER, I. GOLOKA A. PUTANOWICZ R. 2016. **3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction?** International Conference on Ecology and new Building materials and products, ICEBMP 2016. ScienceDirect [Em linha].
 23. FUTURE OF CONSTRUCTION, 06 de Dez. De 2016. WinSun. Disponível em: <https://futureofconstruction.org/case/winsun/> Acesso em: 05 de set. de 2020

