

A fabricação digital de estruturas sólidas celulares para projetos de arquitetura

Edital:	Edital PiiC 2020/2021
Grande Área do Conhecimento (CNPq):	Ciências Sociais Aplicadas
Área do Conhecimento (CNPq):	Arquitetura e urbanismo
Título do Projeto:	Ecologias de projeto
Título do Subprojeto:	A fabricação digital de estruturas sólidas celulares para projetos de arquitetura
Professor Orientador:	Professor Dr. Bruno Massara Rocha
Estudante:	Elena Morelli Dantas

Resumo

Este subprojeto de pesquisa avalia o potencial de fabricação digital, em especial a impressão 3d, para produzir materiais e estruturas celulares para projetos de arquitetura destinados a unidades de moradia multifuncional customizados. Os sólidos celulares (Gibson, Ashby, 1997), são estruturas de morfologia complexa com grande potencial de utilização em processos de prototipagem digital e impressão 3d, oferecendo soluções inovadoras em termos de economia, performance e potencial de adaptação. Este projeto dá continuidade aos estudos de técnicas construtivas para morfologias celulares paramétricas que, associadas à impressão 3d, objetivam ampliar o leque de opções de sistemas estruturais destinados a projetos de arquitetura customizados ou de modulação variável. Como resultado foi estudado os benefícios e dificuldades dentro da impressão 3D para a construção em grande escala, assim como, apontamentos de técnicas que podem maximizar os benefícios dessa técnica especialmente na realidade brasileira.

Palavras-chave: Impressão 3D. Sólidos Celulares. Fabricação Digital. Arquitetura. Habitação.

1 Introdução

A impressão 3D é um processo em que objetos físicos são criados por meio da deposição de materiais em camadas baseado em um modelo digital (Sakin, 2017) e esse processo requer software, hardware e materialidade funcionando juntos para seu resultado eficiente. Sakin (2017) enfatiza no uso dos sistemas BIM como o recurso de software mais adequado para o desenvolvimento dos projetos na atualidade, ao contrário de Ahmed et al. (2016) que ainda se refere apenas aos sistemas CAD.

Segundo Ahmed et al. (2016), a impressão 3D permite que construções inteiras possam ser feitas sem quase nenhuma intervenção humana. A maior vantagem desse sistema é a possibilidade de fabricar inúmeros tipos de estruturas geométricas complexas sem necessariamente fazer o uso de moldes, fôrmas ou andaimes. Nesse sentido, é uma alternativa promissora para atender à demanda por economia e redução de desperdício na tradicional construção civil brasileira. Seja com a ajuda do desenho auxiliado pelo computador (CAD) ou com a modelagem de informações construtivas (BIM), os projetos podem ser realizados de forma mais precisa com mínima ou nenhuma imprecisão manual. Para além dos sistemas CAD e BIM apontados pelos autores,

entendemos que há ainda toda uma gama de possibilidades oferecida pela modelagem paramétrica generativa como é o caso dos softwares Rhinoceros e Grasshopper.

Encontram-se potencialidades e fraquezas na atuação da tecnologia de impressão 3D no canteiro de obras, sendo necessário um aprofundamento científico para cada detalhe implicado neste sofisticado processo construtivo. Das oportunidades construtivas destacamos a possibilidade de diminuir os resíduos, reduzir o tempo de construção além do tempo de montagem e desmontagem no canteiro de obras. O impacto ambiental da indústria da construção civil é uma das principais preocupações a serem resolvidas, com isto a oportunidade de diminuir resíduos e implementar materiais menos prejudiciais é uma das expectativas depositadas nesta tecnologia.

Um das possibilidades oferecidas entra no mérito do déficit habitacional, o CENSO (2010) apontou déficit habitacional brasileiro de 6.940.691 unidades, que corresponde a 12,1% dos domicílios do país. No estado do Espírito Santo este déficit foi estimado em 106.447 unidades, o que corresponde a 9,6% dos domicílios do estado. O conceito de déficit habitacional está diretamente ligado às deficiências no estoque de moradia (domicílios rústicos e improvisados) e à necessidade de incremento na oferta de habitações (IJSN, 2015). A impressão 3D entra nessa equação por meio dos benefícios citados acima que poderiam ajudar a ampliar o acesso da população à um direito social básico: o direito à moradia, “a moradia associa-se inclusive a outros direitos sociais: ‘assegurar a todos existência digna, conforme os ditames da justiça social’ (BRASIL, 1988, Art.170)” (Miranda et al., 2019).

2 Objetivos

Neste artigo, o foco principal é avaliar a potencialidade da fabricação digital, em especial a impressão 3D para produzir uma nova realidade de construção brasileira com materiais e estruturas complexas para projetos de arquitetura destinados a unidades de moradia multifuncional customizados. Uma dessas estruturas complexas são os sólidos celulares (Gibson; Ashby, 1997), estruturas de morfologia complexa com grande potencial de utilização em processos de prototipagem digital e potencial de adaptação. Dessa forma, este projeto dá continuidade aos estudos de técnicas construtivas para morfologias celulares paramétricos do laboratório Conexão Vix que, associadas à impressão 3d, objetivam ampliar o leque de opções de sistemas estruturais destinados a projetos de arquitetura customizados ou de modulação variável.

3 Embasamento Teórico

Segundo Rocha et al. (2020), a deposição das camadas de material (pó, polímeros, gel) pode ser realizada com diferentes técnicas. Independentemente da técnica, a prototipagem rápida favorece enormemente os estudos de projeto porque permitem uma verificação do comportamento físico dos projetos e das possibilidades de construção. O processo de impressão 3D por deposição de filamentos fundidos (*fused deposition modeling* - FDM) associado à modelagem paramétrica apresenta como principais potencialidades: a) a customização em massa das peças produzidas sem prejuízos no tempo de impressão ou na reconfiguração; b) o desperdício zero de material desde que realizados projetos sem necessidade de suportes de impressão; c) o acesso a uma ampla rede de informações técnicas gratuitas disponibilizadas por pesquisadores e desenvolvedores.

Segundo Naboni (2017), a construção civil causa direta ou indiretamente 80% das emissões de carbono na atmosfera do planeta. Arquitetos e engenheiros têm a responsabilidade de repensar as formas de projetar, construir e dar manutenção aos materiais utilizados. Além disso, a escassez de materiais como carvão, petróleo e gás, utilizados nas construções, torna essa discussão ainda mais urgente. Com a manufatura aditiva, os produtos impressos usam apenas a quantidade de material necessária para formá-los. Isso significa que potencialmente menos recursos são necessários e menos resíduos são gerados.

Além das questões ambientais, a impressão 3D também oferece benefícios tais como: aplicações diretas no local da obra ou transporte de componentes diretos da fábrica; custos de transporte reduzidos se os produtos da obra forem impressos no local (embora o custo de transporte da impressora possa ser caro devido ao tamanho das impressoras atualmente necessárias para a construção); potencial para criar novas geometrias e resultados estéticos mais provocadores; custos de mão de obra potencialmente mais baixos; custo reduzido para a produção de soluções personalizadas (com impressão 3D, custa o mesmo para criar um item que para produzir milhares.); redução dos riscos à saúde e aumento da segurança tendo em vista que a impressão 3D pode ser usada para produzir seqüências de montagem que dispensam o uso de equipamentos especiais (Sakin, 2017).

Sakin (2017) discute ainda outro benefício da impressão 3D como sendo a praticidade em se usar morfologias não lineares e curvilíneas. O autor afirma que:

“É uma verdade comumente compreendida que as formas retilíneas (formas retangulares) são formas estruturais mais fracas. Na outra extremidade do espectro, o ovo humilde, que é totalmente curvilíneo, é uma das estruturas mais eficientes da natureza. Um mínimo de material, trabalhado em uma forma onde não há bordas retas, fornecendo uma curva simples e consistente, torna-o o projeto estrutural mais forte possível. A impressão 3D oferece a possibilidade prática de usar essas curvas em estruturas comuns” (Sakin, 2017, p.706)

No entanto, os principais desafios para atingir este objetivo encontram-se, em primeiro lugar, no desenvolvimento uma programação específica para geração de estruturas celulares, o que Speaks (2002) define como inteligência de projeto. Em segundo lugar, é essencial a compreensão técnica das melhores configurações de impressão 3D para a fabricação correta sem perda de material, o que não é tão simples quanto se imagina. Finalmente, em terceiro lugar, a complexificação exponencial que a ampliação das escalas de construção gera para arquitetos e engenheiros (do protótipo para a construção 1:1). Esta é uma questão bastante discutida e problematizada por Leach (2017) que nos lembra que, quando dobramos as dimensões de um objeto físico, seu volume aumenta oito vezes, em fator exponencial. Isso tem implicações decisivas na tradução de um protótipo em escala reduzida para outro na escala real, principalmente no que se refere à resistência dos materiais constituintes, conexões e viabilidade do arranjo morfológico. (Rocha, et al., 2021).

Outra preocupação é a diminuição da demanda de trabalhadores na área da construção da tecnologia de impressão 3D já que os trabalhadores precisam ser aptos para a manipulação de máquinas e terem conhecimentos bastante específicos sobre o material usado. Além disso, o desafio do fornecimento de materiais adequados para a produção ainda é um campo a ser planejado e pesquisado para cada local de atuação. Por outro lado, devem ser indagadas as problemáticas relacionadas aos casos de construções em terrenos acidentados. O projeto das máquinas de impressão 3d para edificações deve considerar opções de tamanho variável para possibilitar que as máquinas sejam montadas em contextos diversos. Somado a isto é também importante considerar máquinas capazes de permanecer estáveis em diferentes ângulos de inclinação. E, por último, espera-

se que com máquinas capazes de viabilizar projetos de customização em massa seja possível superar a reprodução em massa e sem qualidade espacial e arquitetônica de grande parte dos projetos dedicados a atender problemas de moradia social.

4 Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto é denominada Design Science Research (VanAken, 2004), e consiste em um modelo de pesquisas efetivamente direcionadas ao projeto de artefatos que sustentem melhores soluções para os problemas existentes (Lacerda et al., 2013). Trata-se de um conhecimento de caráter não descritivo-explicativo, mas prescritivo, ou seja, é mais pragmática, normativa e sintética, baseada em experimentações práticas, neste caso a concepção, desenvolvimento e aprimoramento de estruturas arquitetônicas impressas em 3d utilizando sólidos celulares. A primeira etapa desta metodologia é denominada Conscientização, que define e formaliza o problema a ser solucionado. Em seguida há a etapa de Desenvolvimento, que corresponde ao processo de constituição do artefato em si e sua submissão a condições de exigência de sua performance. O Desenvolvimento implica diversos ciclos de avaliação e aprimoramento do artefato até obter resultado relevante de seu estado funcional, tendo em vista o problema inicial. Finalmente, a etapa de Conclusão consiste na formalização geral do processo e sua comunicação às comunidades acadêmicas e profissionais (Ibid.). A abordagem final é tanto qualitativa quanto quantitativa naquilo que tange à aplicabilidade do artefato desenvolvido frente aos problemas práticos. O desenvolvimento dos modelos arquitetônicos digitais será realizado por outra pesquisadora do grupo que, em paralelo estudará a concepção morfológica das peças a serem impressas.

5 Resultados e Discussão

Um dos pontos principais de discussão relacionada ao uso da impressão 3D em projetos de arquitetura diz respeito à mudança de escala, o modo como o comportamento físico da estrutura se altera em função de sua ampliação da escala do modelo à escala real. Segundo Ahmed et al (2016), existem grandes efeitos quando aumentamos a escala da impressão 3D. Em estudo realizado pelo autor, foi construído um pavilhão de concreto feito por impressão 3D. O autor relata que:

“No entanto, durante a impressão do pavilhão houve vários problemas que foram causados pelo aumento da escala do objeto impresso (...) Nem todos estes foram inicialmente previstos e levados em consideração ao fazer experimentos em pequenos protótipos” (Ahmed et al, 2016, p.118)

Entre os problemas mencionados no artigo está o aumento de tempo de impressão como descreve o autor:

“durante a impressão, o cimento e outros aditivos são misturados com água para produzir concreto que repousa em um recipiente antes de ser bombeado para a cabeça de impressão sob 1 a 3 bares (10 - 30 MPa) de pressão. Durante este processo, há fricção produzida no parafuso devido ao bombeamento prolongado de concreto. Isso resulta em um aumento de temperatura dentro da bomba, o que afeta o endurecimento químico do concreto. Com a longa duração da impressão do concreto, este reduz ainda mais a sua trabalhabilidade, o que pode resultar na corrosão do borracha isolada na bomba ou depósito camadas de filamentos abaixo do padrão com propriedades estruturais pobres” (Ahmed et al, 2016, p. 119)

Ou seja, existem problemas relacionados ao aumento do tempo de impressão que impactam nas características do material na hora da deposição. Dentre eles, o autor cita a interação entre o movimento translacional e rotacional, capacidade de empilhamento dos elementos impressos e o tamanho da "cama" de impressão. Este problema decorre tanto em função do aumento da escala quanto pelo uso de um material não muito utilizado na impressão 3D, o concreto, necessitando maiores estudos em relação ao seu comportamento em grande escala por meio da impressão 3D. Já na impressão 3D em escala menor são utilizadas técnicas e materiais específicos como a Modelagem por Fusão e Depósito (FDM) que consiste em técnica baseada na extrusão de termoplásticos, sendo os materiais mais utilizados: Nylon, Políácido Láctico (PLA), Polietileno Tereftalato (PET), mas que não possuem as características necessárias para construção civil.

Ainda sobre os problemas decorrentes da mudança de escala, Aguilar et al. (2018) explica que:

“implementar simulação e fluxos de trabalho de construção robótica permite que os componentes de construção sejam arquitetados no nível do material até a extensão de projetar seu desempenho e propriedades por variedades de densidade” (Aguilar et al., 2018, p. 98)

O autor pontua a necessidade de investigação da materialidade específica para projetos de impressão 3D na arquitetura. Suas observações dialogam diretamente com as afirmações de Leach (2017) ao lembrar que:

“um fator crucial que permitiu que o arranha-céu de Nova York fosse construído no primeiro lugar foi a introdução do aço como material de construção. (...) Assim, se o Empire State Building fosse dimensionado proporcionalmente 10 vezes – como King Kong – ele não se levantaria, a menos que seu desempenho estrutural pudesse ser melhorado. Ou sua estrutura teria que ser fabricada a partir de material com propriedades estruturais consideravelmente maiores, ou sua lógica estrutural teria que ser reconstituída.” (Leach, 2017, p. 79)

Segundo tal lógica, reitera-se que a impressão 3D necessita ser pensada a partir de uma lógica estrutural e uma materialidade própria, ou seja, para construir uma nova arquitetura é preciso analisar um novo material ou uma nova engenharia (processo geração morfológica), como é o caso do C-FAB®, um método de impressão exclusivo que permite que o material se solidifique em um espaço aberto, criando uma matriz de polímero em praticamente qualquer formato (Branch Technology, 2021). O autor ainda alerta que os arquitetos estão muito preocupados com as propriedades extensivas (tamanho, forma, etc) e menos com as propriedades intensivas (temperatura, pressão, gravidade, tensão e compressão). ;Ao mesmo tempo, nas escolas de arquitetura, faltam programas/software que ajudem a aproximar as duas propriedades no entendimento do projeto e da construção. A matriz de polímero de forma livre da Branch (2021), “emprega biomimética geométrica para atingir a alta relação resistência-peso do produto; (...) materiais, densidade, cor e tecnologia incorporada podem ser personalizados”. A estética final do produto “é uma reminiscência de estruturas celulares em organismos vivos”. O que, relembra o conceito de sólidos celulares, e como existe um futuro muito promissor descendente dessa estruturas que podem ser a “nova arquitetura” que buscamos. Naboni (2017), descreve os benefícios dos sólidos celulares:

“Devido às suas propriedades mecânicas inerentes, como alta relação resistência / peso, rigidez estrutural, absorção de energia e outras propriedades térmicas, acústicas e elétricas, os sólidos celulares tornaram-se altamente significativos e atraentes para muitos projetistas e estudiosos

(Gibson, 2005). Exemplos de tais estruturas são amplamente difundidos na natureza (Fig. 2) e podem ser encontrados em várias configurações estruturais. O diferente nível de conectividade das estruturas celulares (topologia) é o principal parâmetro que influencia o comportamento do material / estrutura, juntamente com a sua densidade relativista (ρ). Quando as paredes das células ficam mais espessas e o espaço dos poros diminui, a densidade relativa aumenta. Por definição, os materiais celulares têm uma densidade relativa inferior a 0,3 (Gibson e Ashby, 1997)”

Ademais, a companhia Branch (2021) “permite que empresas de design e desenvolvedores construam estruturas internas e externas com economia de custo significativa em comparação com materiais e métodos de construção tradicionais”. A empresa ainda afirma que seu produto C-FAB oferece a possibilidade da democratização do design e impulsiona a construção para uma nova era. O que dialoga com o que já foi afirmado na introdução, que um dos benefícios da impressão 3D era ampliar o acesso da população ao direito à moradia. Um exemplo dessa potencialidade no Brasil, está na primeira casa impressa em 3D no Brasil, construída pela startup InovaHouse3D em parceria com a empresa do Rio Grande do Norte 3DhomeConstruction:

“Com 66 m², a casa feita em impressão 3D está localizada em Macaíba, cidade da região metropolitana de Natal (RN). Ao todo, a preparação do canteiro de obras levou uma semana, sendo que dois dias foram dedicados exclusivamente para a impressão” (Ceccon, 2020).

Um ponto interessante do projeto é que a intenção das startups foi imprimir um modelo semelhante ao realizado dentro do projeto habitacional Minha Casa, Minha Vida, fato que pode ser útil na luta contra o déficit habitacional, por ser um modelo de casa popular, mas também pela possibilidade de personalização das casas de acordo com as necessidades de cada família.

Juliana Martinelli, empresária à frente do InovaHouse3D, relata que:

"a redução média de custos gira em torno de 20% a 50%. Mas, se pensarmos em construções de casas em escala, é possível diluir o custo do equipamento e reduzir ainda mais estes valores. Internacionalmente, alguns projetos trabalham com orçamentos até 80% menores” (Ceccon, 2020).

Neste projeto, relata-se que durante a fase de levantamento de paredes, cada metro quadrado custou cerca de R\$ 36, valor 20% menor do que o orçado para ser realizado da forma convencional. Outra vantagem mencionada pelos autores é a construção com materiais mais leves e possibilidade de ser trabalhar com modelos híbridos de construção. Neste contexto, a impressão 3D trabalha em conjunto com outras tecnologias como os módulos pré-fabricados e materiais leves como o drywall e o steel frame (Ceccon, 2020).

Entretanto, a pesquisa e construção no Brasil acerca da impressão 3D ainda é escassa em relação à outros países, em estudos realizados pela pesquisadora Luisa Franklin (2020) a procura pela produção de abrigos experimentais impressos em 3D em escala real por arquitetos, empresas e centros de pesquisa é aproximadamente 70% maior na Europa do que no resto do mundo. Podemos mencionar o grupo 3dWasp (WASP. 2018) (Itália), pioneira no desenvolvimento de um modelo de impressora específica para construção civil, cujos estudos também levam em conta a materialidade, a morfologia e a produção consolidada de abrigos na escala 1:1. Há ainda o trabalho de Enrico Dini (Italia), que coordenou o processo de construção da máquina D-shape responsável por fabricar a primeira ponte impressa em 3D (Lowke, Dini. et al. , 2018). Na França, a demanda por moradia de interesse social fez com que grupos de pesquisa da Universidade de Nantes planejassem a construção da casa Ynhova em parceria com o grupo de arquitetos Tica, do mesmo país. Na Holanda dois projetos, um de pesquisa e outro

comercial, estão dedicados a pensar a tríade forma, material e meio de produção de edifícios impressos em 3D. Cabe ainda mencionar a empresa chinesa Yingchuang Winsun e a companhia Apis Color. Esta última destaca, dentre as limitações do processo de impressão 3D na construção civil, problemas decorrentes do seu uso em locais com baixas temperaturas.

6 Conclusões

Ainda há problemas e desafios a serem superados para a impressão 3D ser adotada enquanto método de construção padrão. Os principais fatores são:

- . o custo de impressoras 3D ainda é muito alto (apesar do custo de impressão de elementos de construção de casas ser muito menor do que os métodos de construção tradicionais). Para atender a este problema é fundamental o investimento no desenvolvimento de tecnologia nacional capaz de reduzir o custo e adaptar as soluções técnicas ao contexto brasileiro;

- . há número limitado de materiais disponíveis. Os materiais utilizados para impressão 3D em grandes formatos são normalmente híbridos e construídos sob medida, em função de cada contexto e demanda. Com isso são necessários inúmeros testes, adaptações e adequações para que atendam ao objetivo da impressão.

- . as impressoras 3D podem ser grandes, tornando trabalhoso e custoso colocá-las na obra; no entanto, em se tratando do contexto da construção civil, é possível compatibilizar essa questão com a redução dos custos em outros itens, equilibrando-se a balança de gastos da obra; Sobre esta questão, Ahmed et al (2016) aponta que uma solução, é imprimir em outro espaço e montar as partes no terreno, assim, não seria necessário levar a impressora até o terreno.

- . pode haver impacto prejudicial no uso da automação e robotização na construção no mercado de trabalho, considerando o tipo de habilidade e qualificação de mão de obra necessária para manusear, configurar e ajustar equipamentos de alta tecnologia aplicada;

- . são necessários inúmeros estudos e cálculos complementares para atender a complexificação exponencial que a ampliação das escalas de construção gera para arquitetos e engenheiros. Assim, ainda há muita pesquisa a ser feita nesta área, como aponta a pesquisa de Ahmed et Al (2016) na qual é feita uma extensa descrição dos problemas que podem ocorrer na mudança de escala em um projeto de um pavilhão de concreto.

Considerando esses impactos dentro da construção com impressão 3D, esta pode ser muito vantajosa pelo grande leque de possibilidades de estruturas possíveis podendo aumentar a resistência, enquanto diminui seu peso e preço. Sobre o peso, é um dos principais fatores que acredita-se que a manufatura aditiva é o futuro da arquitetura e urbanismo, por causa da mudança de escala em que não é possível aumentar o tamanho da estrutura sem pensar em um novo sistema para sustentar seu peso, que passa a ser 8 vezes maior. Por último, a proposta, neste artigo, é que os sólidos celulares sejam esse novo sistema por ser um processo biomimético, uma forma de design inteligente no qual as estruturas utilizam a natureza como exemplo, afinal, esta é um sistema de construção formada por anos de evolução e não pratica o desperdício de materiais.

Referências Bibliográficas

AGUILAR, Pavel; BORUNDA, Luis, PARDA, Cristina. **Additive Manufacturing of Variable-Density Ceramics, Photocatalytic and Filtering Slats**. Em: D1.T2.S1. HEALTH AND MATERIALS IN ARCHITECTURE AND CITIES - Volume 1 –eCAAD, 2020.

AHMED, Zeeshan; BOS, Freek; WOLFS, Rob; SALET, Theo. **DESIGN CONSIDERATIONS DUE TO SCALE EFFECTS IN 3D CONCRETE PRINTING**. Em: The Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD), Proceedings of the 8th ASCAAD Conference, 2016.

BRANCH. Branch Tecnlogy, 2021. Disponível em: < <https://www.branchtechnology> > Acesso em: 15 de ago. de 2021

CECCON, Mariana. **Startup pioneira em impressão 3D de casas no Brasil reduz custos de construção em até 50%**. Gazeta do Povo, 2020. Disponível em: < gazetadopovo.com.br >. Acesso em: 27/08/2021

D. Drotman, S. Jadhav, M. Karimi, P. de Zonia and M. T. Tolley, "3D printed soft actuators for a legged robot capable of navigating unstructured terrain," 2017 *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2017, pp. 5532-5538, doi: 10.1109/ICRA.2017.7989652

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.

GIBSON, L. ASHBY, M. **Cellular Solids–Structure and properties**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997

LEACH N. **Size Matters–why body architecture is the future of 3d printing**. *Architectural Design*, 87:6, 2017, pp76-83

MIRANDA, Clara; ALMEIDA, Lutero; MARTINS, Lucas. **AS OCUPAÇÕES NO CENTRO DE VITÓRIA, ES: MORADIA OU RUÍNA?**. *Arquitetura e Urbanismo: Planejando e Edificando Espaços* 2, p. 169-188, 2019.

NABONI, R.; KUNIC, A. **Design and Additive Manufacturing of Lattice-based Cellular Solids at Building Scale**. São Paulo: Blucher, 2017. p. 369-375.

SAKIN, Mehmet; KIROGLU, Yusuf Caner. *Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM*. Em :9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, 2017.

TRAMONTANO, Marcelo. *Quando pesquisa e ensino se conectam: design paramétrico, fabricação digital e projeto de arquitetura*, p. 544-550 . In: . São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2318-6968, ISBN: 978-85-8039-136-7 DOI 10.5151/despro-sigradi2015-100144.

WASP. 3D Wasp, 2018. Disponível em: < 3dwasp.com > Acesso em: 20 de jul. de 2021