

A fabricação de estruturas sólidas celulares através da impressão 3D e seu uso na arquitetura

Identificação:

Grande área do CNPq.: Ciências Sociais Aplicadas
Área do CNPq: Arquitetura e Urbanismo
Título do Projeto: A fabricação de estruturas sólidas celulares através da impressão 3D e seu uso na arquitetura
Professor Orientador: Bruno Massara Rocha
Estudante PIBIC/PIVIC: Sara Rodrigues Lauwers

Resumo: O presente projeto procura avaliar o potencial de se fabricar materiais celulares através de softwares e impressão 3D, isto é, explorando uma relação criada entre os sistemas ecológicos em conjunto com a computação paramétrica em um contexto digital. Para tal objetivo, buscou-se nas fontes bibliográficas uma forma de reunir informações acerca dos sólidos celulares. Por meio do material levantado foi possível caracterizá-los, além disso, mapear seus conceitos definidores, os meios de fabricá-los e encontrar quais vantagens sua utilização oferece.

Palavras chave: sólidos celulares, softwares, impressão 3D, sistemas ecológicos, computação paramétrica, contexto digital.

1 – Introdução:

Com os recursos naturais da Terra indo cada vez mais em direção a escassez, é necessário que as disciplinas encontrem novas formas de criação. É preciso inovar os meios de se produzir, para que assim, se alcance a diminuição dos desperdícios e se obtenha resultados com maior vida útil. Sendo assim, neste projeto estuda-se os sólidos celulares como elemento que possibilita uma adaptação as adversidades atuais que a arquitetura enfrenta.

Dentre os autores abordados no projeto, está Naboni (2017, tradução nossa), o autor comenta que os sólidos celulares são capazes de oferecer otimização na fabricação de peças fora do canteiro de obras, na utilização de materiais e outras possibilidades positivas para a arquitetura. Naboni (2017, tradução nossa), também estuda a evolução das estruturas edificadas, e afirma que através dos materiais celulares, é possível alcançar estruturas mais leves e tão resistentes quanto aquelas constituídas de materiais sólidos. Além das afirmações de Naboni, Gibson e Ashby, estudiosos de conceituações variadas acerca dos sólidos celulares, os tratam como potenciais para o desenvolvimento de uma engenharia complexa. Sendo assim, esses e outros autores compõem o levantamento de informações para embasar acerca dos sólidos celulares, que abrem portas para uma arquitetura adaptável e avançada.

2 – Objetivos

O principal direcionador dos objetivos desse projeto, leva em consideração as necessidades atuais apresentadas, ou seja, de que se deve buscar o desenvolvimento de uma arquitetura cada vez mais adequada aos contextos existentes e aqueles que estão por vir. Sendo assim, afirmações como as apresentadas por Naboni, Gibson e Ashby, são as bases para que tanto no desenvolvimento de projetos, quanto na fabricação digital e paramétrica, os sólidos celulares possam ser aplicados. O objetivo do projeto enquadra-se então, em reunir diversas fontes bibliográficas, e, a partir disso, desenvolver estudos sobre os sólidos celulares, buscando maneiras e possibilidades de criar novas soluções e técnicas construtivas mais eficientes dentro da arquitetura. Em conjunto disso, de que maneira essas novas soluções podem ser desenvolvidas em conjunto com a modelagem paramétrica.

3 – Metodologia

A pesquisa foi direcionada inicialmente a levantar o embasamento teórico que antecederesse os sólidos celulares. Buscávamos os contextos que direcionavam o início dos estudos sobre os sólidos celulares, os conceitos que o rodeavam e em seguida, seu aprofundamento. Procuramos ainda, as possibilidades de se unir softwares de modelagem paramétrica e a impressão 3D para conseguir desenvolvê-los. Estudamos o uso do *Grasshopper*, que trabalha em conjunto com o *Rhinoceros* e o *Slicer* (software de fatiamento para impressão 3D), quanto a possibilidade de se produzir sólidos celulares. A seguir, a metodologia utilizada será melhor descrita.

Inicialmente, procuramos contextualizar historicamente o assunto. Através das referências bibliográficas, determinamos como a escassez dos recursos naturais age diretamente sobre a necessidade de desenvolver métodos de criações alternativas, como o que os sólidos celulares fornecem. Em sequência, estudamos os conceitos da biomimética, suas definições, bem como, a maneira pela qual os cientistas a estudam como uma inspiração que vem da natureza. Tomando da ideia de que os sólidos celulares são um campo de estudos da biomimética, partimos para um estudo mais direcionado a eles. Foi pesquisada a importância da aplicação dos materiais celulares na arquitetura, ou seja, quais vantagens são trazidas para a área ao se explorar os processos naturais, fator que vem sendo tema de interesse de estudiosos ao longo dos anos. Além disso, pontuamos o diagrama de Voronoi como um raciocínio para se criar conformações diretamente conectadas ao que fazem os materiais celulares.

Progressivamente, foram desenvolvidas definições sobre a biomimética e os conceitos que podem ser relacionados a ela, como a resiliência, adaptação e otimização. Semelhantemente, no entanto, de forma mais complexa, foram levantadas também as definições pertencentes aos sólidos celulares. Quanto a isso, incluiu-se fatores sobre as maneiras pelas quais é possível sintetizá-los. Por conseguinte, quais são as propriedades físicas dos sólidos celulares, ou seja, qual é sua densidade, topologia, anisotropia, entre outros. Além disso, quais são os campos onde os sólidos celulares já se aplicam, e de que maneira suas vantagens estão sendo exploradas.

4 – Resultados

Primeiramente, em termos dos levantamentos teóricos envolvendo quais seriam as motivações que levam a utilização dos sólidos celulares e ao estudo da biomimética, foram obtidas as seguintes constatações: nas últimas décadas, a população mundial manteve um modo de vida que envolveu de forma desenfreada, um consumo inconsciente. O processo de extração de materiais, assim como, esse consumo inconsequente, acabaram por culminar em claras consequências negativas e de escala planetária. A escassez dos recursos consumidos até o momento, são estímulo para que os estudiosos desenvolvam novas alternativas.

O período do pós-fóssil foi tido por Naboni e Kunic (2017, tradução nossa), como a era que sucederá o uso de recursos não renováveis e a cultura do desperdício. Para se adaptar a esse período, será preciso que coletivamente, sejam repensadas as formas de projetar. Utilizando-se assim, do design inteligente para se rearranjar uma arquitetura que tecnologicamente envolva reciclagem, economia e o correto uso de energia, causando uma reviravolta ecológica.

Quanto a biomimética, ficou determinado dentro dos levantamentos, que ela é um campo de estudo que se utiliza da natureza como fonte de inspiração e caminho para encontrar exemplos plausíveis. Através da biomimética, vem sendo desenvolvido por cientistas os estudos de padrões matemáticos, tecnológicos, funcionais, construtivos e outras características que são essenciais da natureza. Já é possível constatar seus resultados que fazem uso de energia limpa, como as empregadas em novas formas de cultivar alimentos, gerar energia, produzir materiais, entre outros. (ECYCLE, 2013). No período pós-fóssil, como citado por Naboni e Kunic (2017, tradução nossa), o desejo é de que arquitetura e a natureza cessem sua competição e passem a coexistir. Portanto, concluímos que a biomimética apresenta potencial para que os arquitetos contemporâneos façam ser mais possível essa coexistência entre a natureza e a arquitetura.

Dentro da biomimética, como comentado dentro da metodologia, existe o campo dos sólidos celulares, que se aplica a reprodução de estruturas celulares em vários materiais. Os ossos, por exemplo, são sólidos celulares em formas geométricas de treliças, e são considerados os sistemas naturais mais leves e eficientes. Reproduções do sistema dos ossos, ou outros mecanismos naturais, aplicados a arquitetura, são por exemplo, maneiras de se aperfeiçoar projetos, que além de tornarem-se mais conscientes, serão também mais resistentes. (NABONI; KUNIK, 2017, tradução nossa).

Dentro do campo da arquitetura, constatamos que a tecnologia computacional já é utilizada em suas disciplinas de estudo. Além disso, para que os sólidos celulares sejam sintetizados e apresentem conformações aproximadas daquelas apresentadas pela natureza, tem sido utilizada a modelagem paramétrica unida a impressão 3D. A modelagem paramétrica surgiu dos sistemas computacionais, algoritmos matemáticos e da representação gráfica. Ocorre através da representação dinâmica de regras previamente estabelecidas, onde primeiramente são declarados os parâmetros de um objeto específico e não a sua forma. Quanto a modelagem paramétrica, afirma-se que ela abre espaço para que a arquitetura modele formas complexas como as da natureza, e que a materialização desta modelagem para a realidade, pode ser obtida através da impressão 3D. Nas impressões 3D, estudamos que podem ser usadas uma

grande variedade de materiais e máquinas com propriedades e características diferentes. Da mesma forma, e, com base nessa vasta gama de variedades disponíveis, é possível escolher o custo desejado para realizar a impressão, podendo ainda, ter-se como objetivo uma impressão de designs mais complexos ou simplificados. (BRAIDA et al., 2016).

Para pautar os levantamentos quanto a impressão e modelagem 3D, desenvolvi um conteúdo em slides que apresentei a uma disciplina optativa. No momento, a disciplina era ministrada pelo professor Bruno Massara Rocha, para o curso de Arquitetura e Urbanismo da UFES. O professor me concedeu espaço em sua aula, dessa maneira, apresentei o estudo que envolveu o histórico, os tipos de impressão 3D, como: *stereolithography*, *fused deposition modeling*, *metal printing*, entre outros. Quais materiais podem ser utilizados, como o metal, nylon e ácido polilático. Por fim, quais softwares podem ser utilizados tanto para a modelagem, quanto para intermediar a comunicação com a impressora 3D, além disso, envolvendo descrições sobre quais tipos de modelagens os softwares oferecerem, direcionando com quais objetivos possuem maior afinidade. A figura 1 faz um apanhado dos diversos assuntos envolvidos. Como parte da apresentação, tratamos também de apresentar alguns dos projetos desenvolvidos pelo laboratório de pesquisas, Conexão Vix.

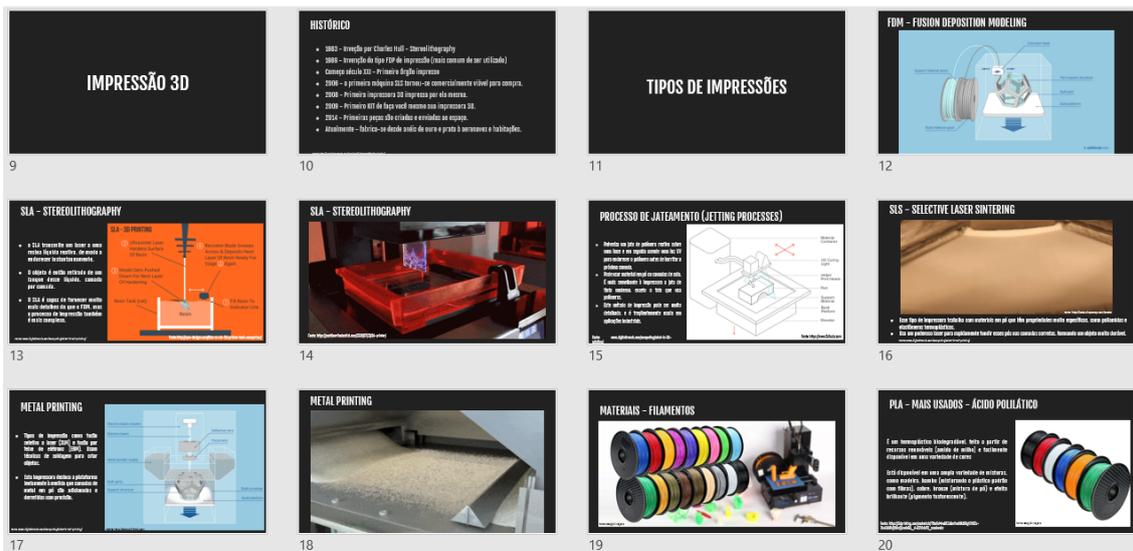


Figura 1. Captura parcial da apresentação ministrada para a classe (optativa para o curso de Arquitetura e Urbanismo da UFES). Fonte: Acervo pessoal (2019).

Voltando aos estudos bibliográficos desenvolvidos, utilizamos também o livro *O mundo codificado*, escrito pelo filósofo Flusser (2007). A partir disso, constatamos a afirmação de que desde que os computadores passaram a transcodificar números em cores, formas e tons, a beleza dos cálculos tornaram-se perceptíveis aos sentidos. Tanto o mundo virtual computacional, quanto o mundo “real”, são percebidos pelo acúmulo de pontos e cálculos, seja essa percepção feita por computadores, ou pelo sistema nervoso humano. Sendo assim, quando os humanos aprenderam a calcular com máquinas, acabaram por tornar-se aptos a construir universos paralelos ao qual foram inseridos. (FLUSSER, 2007). Em nossos estudos, Flusser (2007), também afirma que a estrutura do pensamento linear, antes

majoritariamente absorvida pela humanidade através da escrita, passou a ser substituída pelo pensamento em superfície, através de imagens das mídias digitais, impondo ao pensamento uma estrutura radicalmente nova. Sendo assim, afirmamos que com a modelagem e impressão 3D, a mudança no padrão de comportamentos sociais evolui, já que a percepção de superfície passa agora a ser materializada e palpável.

Como pontuado, foram feitos levantamentos quanto as definições da biomimética, bem como, os sólidos celulares, que serão apresentados posteriormente. Foi possível chegar ao fato de que a biomimética pode ser definida como um estudo que tem como metodologia a observação e replicação de mecanismos, processos, morfologias e comportamentos documentados em outros campos de estudos, como por exemplo, a biologia, biomecânica e biofísica. Arquitetonicamente, a metodologia também pode abordar aspectos filosóficos quando o objetivo é obter soluções para uma arquitetura menos destrutiva. (BRAIDA et al., 2016). A biomimética pode ser relacionada a conceitos da natureza, e, igualmente, a arquitetura se baseia nestes conceitos. Quanto aos conceitos que podemos relacionar a ela, começamos pela resiliência: a natureza constrói seus mecanismos para serem resilientes, de modo que, após sofrer uma interação elástica, estará apta a reconstituir sua resistência inicial. Otimização: quando a natureza se projeta sem desperdícios, planejando seus aspectos o mais otimizado possível. Adaptação: a natureza evolui e se adapta a condições que lhes são impostas. Para adequar-se as informações externas, a natureza aprende e otimiza-se para sobreviver da melhor maneira. Por fim, geramos como resultado a colocação de que os conceitos da biomimética podem ser aplicados a arquitetura através, por exemplo, da busca por materiais mais resistentes e otimizados, que se adaptam para reduzir desperdícios em uma arquitetura eficaz.

Gibson e Ashby (1999, tradução nossa), que desenvolvem estudos complexos sobre os sólidos celulares, os definem como um conjunto de células que possuem bordas ou faces sólidas, e por serem embaladas juntas preenchem um espaço determinado. Estão presentes na natureza e podem ser encontrados na madeira, cortiça, esponja e corais. Estes sólidos muitas vezes são denominados como “metamateriais”, por desempenharem alta relação de performance/peso. Controlando suas geometrias internas, podem apresentar diferentes propriedades físicas e mecânicas adaptadas ao que for necessário. (JOSE, 2015). O cientista experimeta Robert Hooke, introduziu no séc. XVII o termo célula pela primeira vez. Posteriormente, estudou formas poliédricas que compunham os fósseis, e tratou sobre a micrografia da cortiça, determinando-a como arranjo robusto de longas filas de poliedros hexagonais, tais filas seriam compostas por paredes finas, semelhantes as filas poliédricas hexagonais presentes na cera dos favos de mel. (GIBSON; ASHBY, 1999, tradução nossa).

Pelos estudos de Gibson e Ashby, ficou constatado que três estruturas podem ser definidas dentro dos sólidos celulares. A mais simples delas é a matriz bidimensional de polígonos, que quando acumulados, preenchem uma área plana, e eles são como as células hexagonais dos favos de mel (figura 2 – a). Quando as células são poliédricas e acumulam-se em três dimensões para preencher um espaço, são chamadas de células tridimensionais de espumas (figura 2 – b). São chamadas de células abertas, as espumas que são feitas de sólidos contidos apenas nas bordas das células, as quais se conectam através das

faces abertas. Já quando as faces são igualmente sólidas e separadas daquelas que as circundam, dá-se o nome de células fechadas (figura 3 – c). (GIBSON; ASHBY, 1999, tradução nossa).

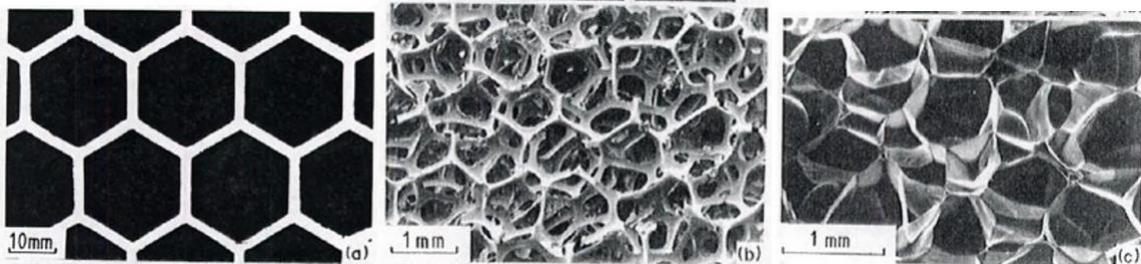


Figura 2. Da esquerda para a direita: (a) favo de mel bidimensional, (b) espumas com células abertas tridimensionais, (c) espumas de células fechadas tridimensionais. Fonte: Gibson e Ashby (1999, p. 3, tradução nossa).

Dentro do levantamento de suas propriedades, constatou-se que os sólidos celulares apresentam, por exemplo, a **anisotropia**, que é tida como a **tendência das células de possuírem paredes de espessuras desiguais, serem achatadas ou alongadas**. Já sua **densidade relativa**, trata-se da espessura das paredes das células e tamanho dos poros, enquanto a **topologia**, trata de seus formatos e distribuições. (GIBSON; ASHBY, 1999, tradução nossa).

Quanto a obtenção dos sólidos celulares, estes podem ser feitos, por exemplo, através do ato de pressionar tiras de papéis colados em um perfil semihexagonal. Essas tiras, ao serem separadas, dão surgimento ao formato de favos de mel. Outra maneira de obtê-los é pela extrusão, ou através de moldes com borrachas de silicone. **Sólidos celulares do tipo espuma**, podem ser fabricados através de polímeros que são espumados por meio da introdução de bolhas de gás em um monômero líquido ou polímero quente, permitindo crescimento das bolhas e depois sua solidificação através de resfriamento. Já espumas de menores tamanhos podem ser feitas por saturação, sob pressão ou temperatura ambiente. Por outros processos, eles podem ser obtidos por meio de materiais como o metal, vidro, cerâmica e cimento. (GIBSON; ASHBY, 1999, tradução nossa).

As propriedades dos sólidos celulares oferecem potencial para uma engenharia complexa, como por exemplo, no isolamento térmico, aplicados a copos descartáveis ou até mesmo foguetes de propulsão. **Podem também serem feitos como embalagens, por absorverem bem energia de impactos ou forças de aceleração**. Como estruturas de painéis sanduíche em fibra de vidro, alumínio ou espumas de polímeros rígidos, podem ser aplicados a aeronaves e veículos espaciais, por sua **enorme rigidez e resistência a flexão**. A **flutuabilidade** de barcos com sólidos celulares feitos de polietileno, policloreto de vinila ou silicones, são mais tolerantes a danos do que sacos ou câmaras, além disso, eles não mudam após imersão prolongada e não enferrujam ou corroem na água. Por fim, abrangem situações como **barreira hidrofóbica** em roupas esportivas, ou **revestimento de tetos e paredes de auditórios**, por absorverem bem o som. (GIBSON; ASHBY, 1999, tradução nossa). A figura 3, por exemplo, demonstra a aplicação de sólidos celulares de formatos hexagonais em asas de aeronaves, onde apresentam **alta resistência em longas dimensões enquanto possuem baixo peso**.

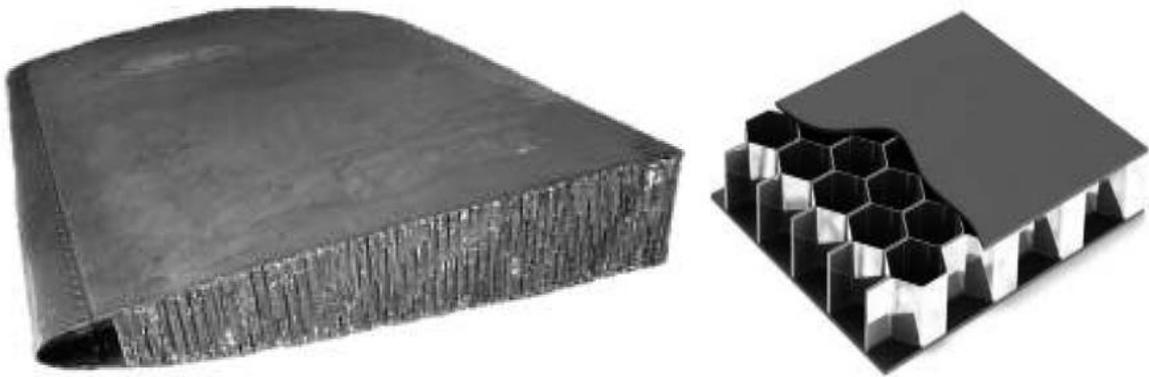


Figura 3. Seção de um favo de mel que cumpre um papel importante na construção da asa de uma aeronave. Fonte: Cherréz (2017, p. 12, tradução nossa).

Como forma de mapear as produções do laboratório Conexão Vix e torná-las acessíveis ao conhecimento de um maior número de estudantes, criamos o perfil do Conexão Vix para o Instagram. Produzi fotos das criações do laboratório e em conjunto com o professor Bruno Massara, contamos um pouco do que pesquisadores e professores participantes fazem. O perfil continua em desenvolvimento e pode ser acessado através do link: <https://www.instagram.com/vixconexao>. A figura 4 registra um pouco daquilo que já disponibilizamos através da página.

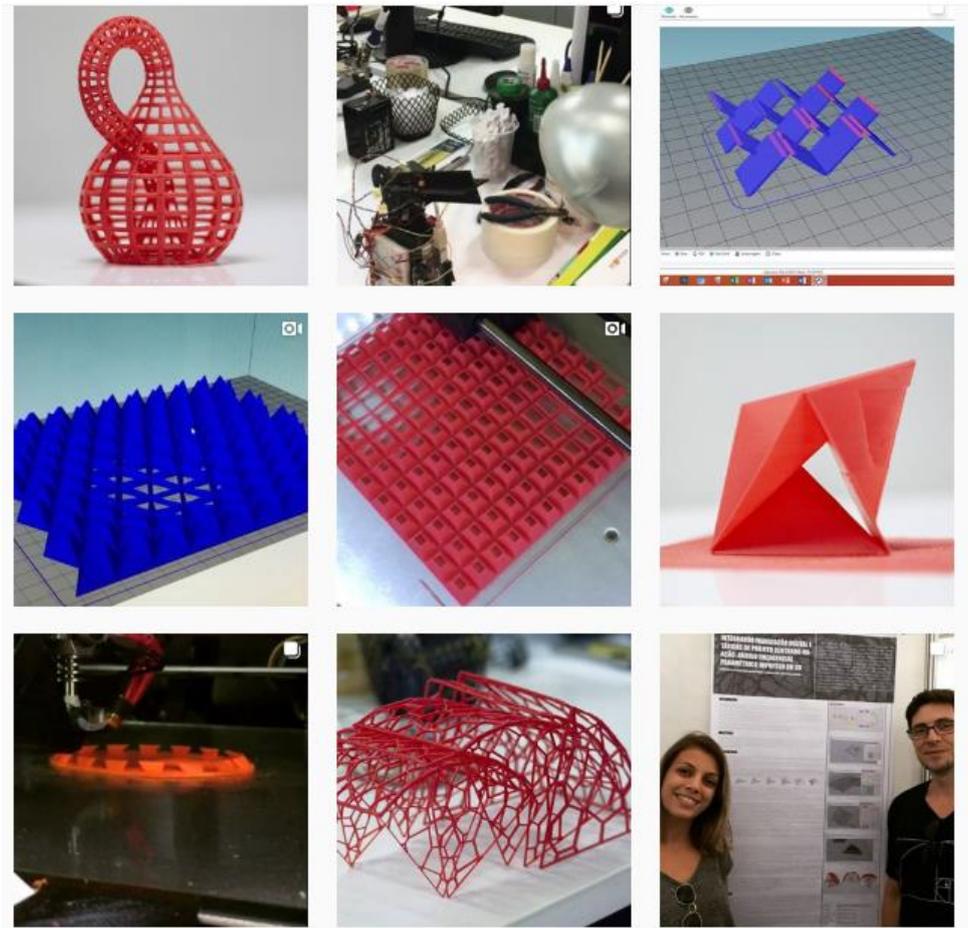


Figura 4. Captura parcial do perfil Conexão Vix no Instagram. Fonte: Lauwers e Rocha (2019).

Durante a pesquisa, criamos um banco de imagens associadas a criações com os sólidos celulares. As imagens, em conjunto com suas descrições e todo o material bibliográfico levantado, foram utilizados para compor uma apostila de estudos. Essa apostila, idealizada pelo professor Bruno Massara, contém dados que ele coletou e algumas contribuições de alunos pesquisadores. Com essa apostila, que ainda está em desenvolvimento, foi possível enriquecer aulas ministradas para turmas do mestrado, além disso, ela pode ser acessada por qualquer pessoa através do link presente na página oficial do grupo de estudos experimentais do Conexão VIX: https://issuu.com/brunomassararocha/docs/biomimetica_e_arquitetura. Dessa forma, ela serviu para documentarmos os dados adquiridos, e, ser um meio de consultarmos informações. A figura 5 demonstra uma captura parcial do material.



Figura 5. Captura parcial de duas páginas da apostila intitulada como O conceito da biomimetica aplicada à arquitetura. Fonte: Rocha (2019).

Entre os meses de junho e agosto aconteceu no laboratório Conexão VIX, o Workshop Ecologias de projeto 2019, desenvolvido pelo professor Bruno Massara. O projeto, resumidamente, envolveu pensar criações com base em ideias reunidas pelos participantes sobre intervenções interessantes/necessárias para o Centro histórico de Vitória. Essas criações funcionariam como possíveis construções atreladas a três edifícios históricos que circundam a praça Costa Pereira. O modelo que fosse desenvolvido pelos participantes, seria montado por eles através de papel paraná, além de ser cortado parcialmente a laser, e em escala reduzida seria impresso em 3D. Contribuí primeiramente para a modelagem em Sketchup da praça Costa Pereira, que posteriormente foi impressa através de uma impressora 3D e pode ser vista na figura 6.

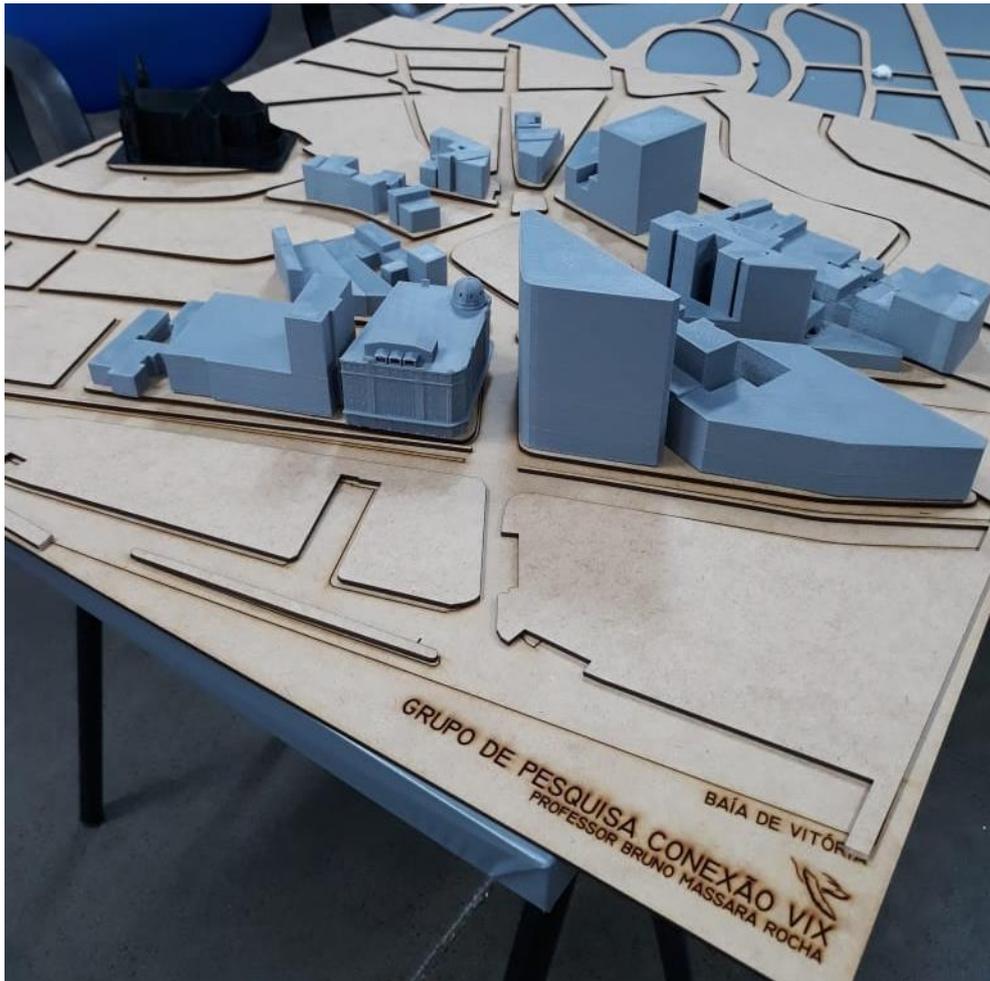


Figura 6. Base da praça Costa Pereira do Centro histórico de Vitória, modelada através do Sketchup e impressa em 3D. A base foi feita cortada a Laser. Fonte: Acervo pessoal (2019).

Em outro momento durante o Workshop, em conjunto com a aluna Mariana Marchesi, contribuí para o desenvolvimento da ideia inicial de sua criação (figura 7). Além disso, participei da modelagem feita em Sketchup desse protótipo. O resultado final em sequência da modelagem, foi o modelo que seria anexo ao Centro Cultural Sesc Glória, desenvolvido pelas alunas Gabriela Bolssoni, Yulli Mapelli, Mariana Marchesi e é apresentado na figura 8.

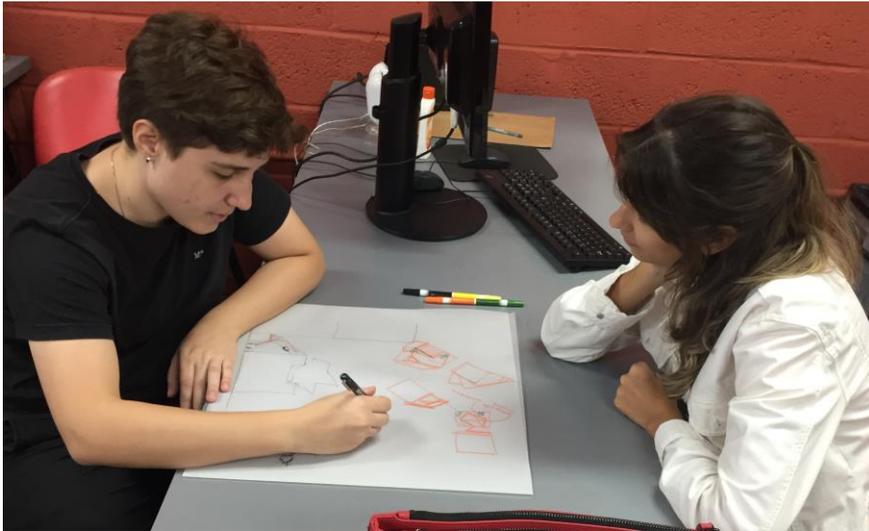


Figura 7. Momento em que participei do desenvolvimento das ideias no Workshop em conjunto com a aluna Mariana Marchesi (à direita). Fonte: Acervo pessoal do professor Bruno Massara (2019).



Figura 8. Resultado final em sequência da modelagem, montado em paraná e parcialmente cortado a laser pelas alunas Gabriela Bolssoni, Yulli Mapelli, Mariana Marchesi. Fonte: Acervo pessoal do professor Bruno Massara (2019).

5 – Discussão e Conclusões:

Desde o princípio do projeto tivemos como objetivo reunir informações sobre os sólidos celulares. A bibliografia coletada foi essencial e representou grande parte dos anseios que buscávamos sobre o tema. Através dela, foi possível mapear conceitos que antecedem os sólidos celulares, aqueles que os

circundam, suas definições, e, até mesmo, formas de obtenção. Sendo assim, confirmamos as vantagens e necessidades de fomentar e estudar a aplicação dos sólidos celulares para a arquitetura.

Com o projeto, encontramos e estudamos o diagrama de Voronoi, uma forma de inserção dos sólidos celulares na arquitetura através da modelagem virtual. Introduzido por David Rutten em softwares, esse diagrama funciona como uma distribuição formal gerada a partir de um número variável de pontos centrais, e, que torna possível a modelagem dos materiais celulares. Aplicado diretamente a arquitetura, o Voronoi possui potencial de representação dos sólidos celulares, já que são usados para uma distribuição de estrutura orgânica, sem padronização de elementos e através de softwares de modelagem paramétrica como o Grasshopper.

Unindo-se a modelagem paramétrica com a atual FDM (processo de aquecimento de termopolímeros), é possível obter a impressão 3D dos sólidos celulares, pelo fato de ser um processo de alta complexidade e controle, que permite relativa liberdade geométrica com materiais de baixo custo. Confirmamos essa possibilidade e desenvolvemos protótipos com o uso do Voronoi em Grasshopper, mas acredito que seja interessante, promover futuramente, um aprofundamento da representação em modelagem desses sólidos celulares, de forma que se aproximem mais da realidade arquitetônica e sejam impressos para testes.

Sendo os sólidos celulares composições que extraem incríveis condições da natureza, sua área de inspiração é vasta. Esse fato torna sua exploração um campo de grandes possibilidades e que apresenta muito ainda a ser explorado. Dessa forma, foram escassas as bibliografias que se conectavam diretamente a arquitetura, no entanto, o fato é positivo, já que abre caminho para que novas descobertas sejam encaminhadas nessa área.

Fazem-se então, comprovadamente importantes os conceitos da biomimética e os sólidos celulares, bem como, o avanço tecnológico que possibilita através de softwares de modelagem paramétrica adquiri-los, modificá-los e evoluí-los. A conclusão que se faz, dessa forma, diz respeito a importância que traz a abordagem de seus potenciais, para que a arquitetura se torne eficaz, tecnológica, inteligente e que coexista com a natureza procurando prejudicá-la o mínimo possível.

O aprendizado adquirido através da pesquisa foi muito relevante para a vida acadêmica. Seja do ponto de vista de aprender a desempenhar e organizar pesquisas, conhecer novos conceitos, softwares e hardwares de impressão 3D e a laser, foi muito importante ter participado daquilo que o laboratório Conexão VIX desenvolve.

6 – Referências Bibliográficas:

BIOMIMÉTICA: a ciência que se inspira na natureza. 2013. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/35/1504-biomimetica-a-ciencia-que-se-inspira-na-natureza.html>>. Acesso em: 12 sep. 2018.

BRAIDA, Frederico et al (org.). **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo, São Paulo: ProBooks, 2016. 346 p. v. 1. ISBN 978-85-61453-53-4.

CHÉRREZ, Odilón Rodrigo Flores de Valgas. **Diseño Paramétrico Generativo de Sólidos Celulares Funcionalmente Graduados**. 2017. 87 f. Graduation Work (Graduation work to obtaining the title of mechanical engineer) - Escuela Politécnica Nacional, Quito, Pichincha, 2017.

FLUSSER, Vilém. **O Mundo Codificado**: Por uma filosofia do design e da comunicação. Translation: Raquel Abi-Sámara. São Paulo, São Paulo: Cosac Naify, 2007. 224 p. ISBN 978-85-7503-593-1.

GIBSON, Lorna J.; ASHBY, Michael F. **Cellular Solids**: Structure and Properties. 2º. ed. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1999. 532 p. v. único. ISBN 978-0521499118.

JOSE, Sachin. **Additive Manufacturing and Stress Analysis of Naturally and Artificially Obtained Cellular Structures**. Thesis (Master of science in mechanical engineering) - University of Texas at Arlington. Arlington, Texas, 2015.

LAUWERS, Sara Rodrigues; ROCHA, Bruno Massara. **Conexão VIX**. Vitória, Espírito Santo, 2019. Disponível em: <https://www.instagram.com/vixconexao/>. Acesso em: 24 jul. 2019.

NABONI, Roberto; KUNIC, Anja. **Design and Additive Manufacturing of Lattice-based Cellular Solids at Building Scale**. Em: SIGRADI, CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 2017, Concepción, Chile. Conference paper. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/321234750>. Acesso em: 10 sep. 2018.

ROCHA, Bruno Massara. **O conceito de biomimética aplicado à arquitetura**. Vitória, Espírito Santo, 2019. Disponível em: https://issuu.com/brunomassararocha/docs/biomimetica_e_arquitetura. Acesso em: 15 jul. 2019.