TENSEGRITY E BIOINSPIRAÇÃO: O CASO DO *WORKSHOP* REALIZADO NO DIGITAL FUTURES 2022

TENSEGRITY AND BIOINSPIRATION: THE CASE OF THE WORKSHOP HELD AT DIGITAL FUTURES 2022

MIRANDA, Natacha Figueiredo[1]
ALVES, Gilfranco[2]

Resumo

Este artigo pretende relatar e analisar o processo de projeto e os resultados desenvolvidos no workshop "*Tensegrity*: Parametrização e Prototipagem", realizado no *Digital Futures* 2022. A fundamentação teórica baseia-se em pesquisa de mestrado conduzida na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul com o grupo de pesquisa algo+ritmo. Foram desenvolvidas aulas baseadas em métodos de prototipagem, modelagem paramétrica e bioinspiração, a fim de aproximar os processos digitais para o desenvolvimento de projetos, retroalimentando os modelos experimentados na prática, analisando as dificuldades de montagem e discutindo as vantagens da *Tensegrity* em relação à redução de impactos na natureza. Foram lançados desafios que levantaram a discussão da tecnologia e o seu uso, resultando em soluções possíveis de serem aplicadas ou no Pantanal sul-mato-grossense ou no planeta Marte. Este artigo apresenta os resultados do *workshop* e discute métodos, estratégias e conceitos dos projetos desenvolvidos.

Palavras-chave: *Tensegrity*; biomimética; design paramétrico; protótipo; prototipagem.

Abstract

This paper aims to report and analyze the design process and the results developed in the TENSEGRITY: PARAMETERIZATION AND PROTOTYPING workshop, held at Digital Futures 2022. The theoretic foundation is based on the Master research carried out so far at the *(omitted for review)* graduate program of the University Federal do Mato Grosso do Sul with the algo+ritmo research group. The classes based on prototyping methods, parametric modeling and bioinspiration were developed during the meetings, with the aim of bringing digital processes closer to project development, feeding back the models experienced in practice, analyzing assembly difficulties and discussing the advantages of Tensegrity in relation to reducing impacts on nature. Project challenges were launched that raised the discussion of technology and its use, resulting in possible solutions to be applied, either in the Pantanal of Mato Grosso do Sul, or on Mars. The paper presents workshop results and discusses methods, strategies and concepts of the developed projects.

Keywords: Tensegrity, biomimicry, parametric design, prototype, prototyping.

[1] Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 0009-0007-6700-3643, natacha.ik@gmail.com

[2] Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 0000-0002-7288-5173, gilfranco.alves@ufms.br

1 Introdução

O presente artigo baseia-se na pesquisa de mestrado realizada no programa Eficiência Energética e Sutentabilidade na Universidade *Federal de Mato Grosso do Sul* e apresenta resultados de um *workshop* realizado em 2022, junto ao evento internacional *Digital Futures (https://digitalfutures.international/workshop/tensigrity-parametrizacao-e-prototipagem/)*. A escolha da *Tensegrity* como objeto de estudo, fundamenta-se na potencialidade que essa estrutura traz para desenvolver projetos com inteligências de sistemas orgânicos que performam de forma mais eficiente com o meio natural, já que a arquitetura atual não deve ser vista como um campo do conhecimento estagnado, e sim atualizado constantemente a partir de estratégias de mobilidade e reutilização. A natureza nos ensina, conforme Pawlyn (2011), por meio de seu refinamento de milhões de anos, como atuar de forma mais integrada com o meio do qual fazemos parte.

De que maneira podemos reverter processos, alterando modos de produção para sistemas mais inteligentes e mais integrados com a natureza? Esse é um dos desafios da atualidade: buscar trabalhar com materiais menos impactantes, minimizando desperdícios, à medida que a escassez de recursos naturais se intensifica no planeta.

Conforme Pawlyn (2011), para que permaneçamos por mais tempo usufruindo do planeta, é necessário realizar mudanças no comportamento, sendo que como projetistas, necessitamos aumentar a eficiência dos recursos naturais, migrar de uma economia fóssil para uma economia solar, e transformar a prática da economia linear que esbanja recursos para uma economia de modelo de *loop* fechado, no qual os recursos sejam reutilizados em sistemas de ciclo, reduzindo o desperdício a zero. "*Embora muito do design sustentável tenha sido baseado na mitigação de negativos, a biomimética aponta o caminho para um novo paradigma baseado na otimização positiva e na entrega de soluções regenerativas*". *(*Pawlyn, 2011, p. 6, tradução nossa[3]).

A noção de bioinspiração nos leva a uma produção focada na melhor performance, ou seja, observar as inteligências e padrões da natureza aplicando-as em projeto, assim como analisar de que modo as construções atuam na relação com os sistemas naturais; logo, necessitamos mudar a forma de se conceber e de se construir.

Autores como Dunn (2012) e Iwamoto (2009) discutem processos de fabricação digital nos quais, por meio de modelagem 3D e parametrização, podemos desenvolver projetos que desempenham melhor, já que os computadores através da programação e dos diversos *softwares 3D* nos permitem simulações e prototipagem em diferentes escalas,

[3] "*While much sustainable design has been based on mitigating negatives, biomimicry points the way to a new paradigm based on optimising positives and delivering regenerative solutions*".

inclusive na escala real. Isso nos permite estudar e melhorar os projetos antes de serem construídos.

Os objetivos do artigo são desenvolver processos de produção de estruturas do tipo Tensegrity e apresentar os resultados do referido evento. Já o *workshop* teve como objetivo geral projetar estruturas do tipo *Tensegrity,* explorando seu potencial estrutural e de otimização de recursos. Inicialmente, procuramos estudar brevemente a história e os principais conceitos envolvendo estruturas do tipo *Tensegrity*; na sequência, buscamos promover uma aproximação metodológica dos processos digitais de projeto, envolvendo especialmente o *design* paramétrico. Estrategicamente, procuramos retroalimentar os processos digitais com protótipos físicos; e por fim, mas não menos importante, foi proposto analisar as vantagens da utilização de estruturas do tipo *Tensegrity* relacionadas às produções menos impactantes. Estruturas do tipo Tensegrity têm várias relações com o corpo humano, Verschleisser (2008) e Victor, Seixas e Ripper (2018), já que o momento traz à tona questionamentos de como podemos conceber projetos e arquitetura mais integradas à natureza, mas também considerando a própria humanidade com fazendo parte da natureza.

> *"A natureza faz uso econômico dos materiais, alcançado pela engenhosidade evoluída da forma. Usando dobras, abóbodas, esqueletos, infláveis e outros meios, organismos naturais têm criado formas efetivas que demonstram eficiência surpreendente"* (Pawlyn, 2011, p. 9, tradução nossa[4]).

O autor nos convida a observar a natureza e dela extrair soluções ricas e abundantes que os organismos e sistemas vivos possuem, tais como ossos, estrutura de um caule, penas, etc. Segundo o autor, "[...] *o princípio para arquitetura que emerge da observação é: menos material, mais design"* (Pawlyn, 2011, p. 9, tradução nossa[5]).

Hsuan-An (2002) e Pires e Pereira (2017) consideram formas sistematizadas de observação dos sistemas naturais, pois para eles, o bom *design*[6] vem do processo de aguçar o olhar para extrair da natureza não somente a forma, mas os padrões e fenômenos envolvidos e assim desenvolver *designs* eficientes integrados com o meio, interagindo como um organismo natural e buscando o equilíbrio dos sistemas. Seria fundamental, hoje em dia, implantar um *design* que garanta uma produção positiva, com regeneração e reaproveitamento, onde quase nada é desperdício - isso seria o ideal do *design* contemporâneo.

---

[4] "*Nature makes extremely economical use of materials, often achieved through evolved ingenuity of form. Using folding, vaulting, ribs, inflation and other means, natural organisms have created effective forms that demonstrate astonishing efficiency*".

[5] "*The principle for architecture that emerges from observing is: less materials, more design*".

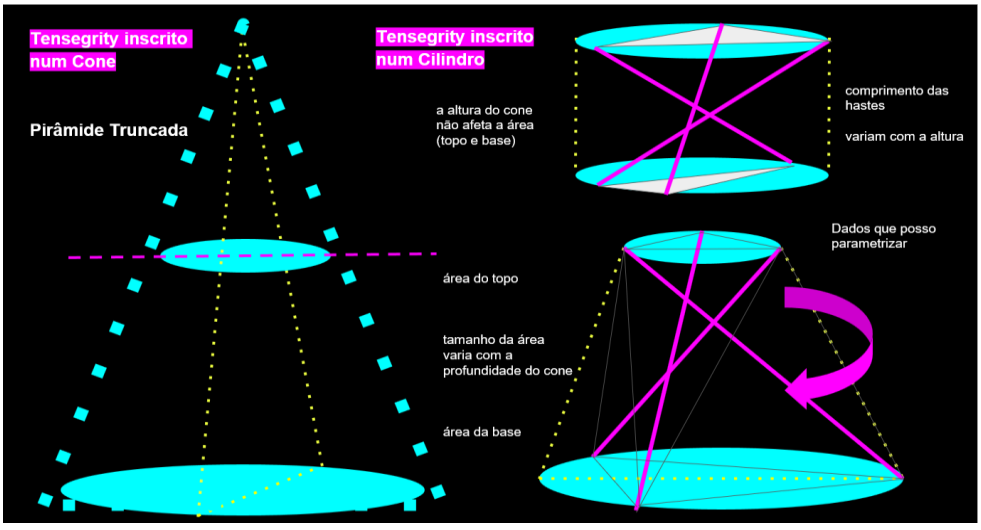
[6] Entendemos o conceito de *design* enquanto processo de projeto, a despeito de várias interpretações e traduções para o termo advindo da língua Inglesa.

Pawlyn (2011) também afirma que as estruturas transformáveis, sendo a *Tensegrity* uma delas, possuem uma característica adaptativa e isso se relaciona com a Biomimética, pois faz com que as edificações adquiram um comportamento físico semelhante ao dos organismos vivos, ou seja, se modificam conforme a resposta do meio em que estão. "*As estruturas implementáveis podem se mover, expandir ou contrair alterando suas propriedades geométricas, materiais ou mecânicas*" (Pawlyn, 2011, p. 35, tradução nossa[7]).

Já Verschleisser (2008), argumenta que Buckminster Fuller define *Tensegrity* como um oceano de tensão com ilhas de compressão, e argumenta também que Snelson sintetiza essa ideia com a definição de Compressão Flutuante. De acordo com o autor, as *Tensegrities*, baseadas em poliedros e em prismas ou pirâmides, formam um sistema fechado de forças, e por isso dispensam fundações, uma vez que as tensões atuam no sistema e isso causa um auto equilíbrio. Isso significa que as *Tensegrities* não dependem da gravidade para manter sua estabilidade; ele necessita de pré-esforço, segundo Zhang e Ohsaki (2015).

A partir destas características, tomamos a *Tensegrity* como objeto de exploração no *workshop* ministrado no *Digital Futures 2022*. Propusemos algumas relações visuais, para que os participantes verificassem geometrias e relações que pudessem ser exploradas na prototipagem física e nos desenvolvimentos dos *scripts*.

Figura 1 - Padrões e relações da *Tensegrity* com geometrias e volumes já conhecidos



Fonte: autores, 2022.

Logo, a prototipagem física foi a opção escolhida para ser desenvolvida antes da prototipagem digital, pois entendemos que a montagem na prática facilitaria o

[7] "*Deployable structures can move, expand or contract by changing their geometric, material or mechanical properties*".

entendimento do processo e a modelagem do *script.* A figura acima (figura 1) mostra algumas relações apontadas na *Tensegrity* prismática, inscritas num cilindro e num cone. Esse processo facilita o desenvolvimento do pensamento algorítmico a ser implementado, e introduz os princípios metodológicos que serão apresentados a seguir.

2 Metodologia

A Cibernética de Segunda Ordem trata do controle da informação e do equilíbrio dos sistemas observados, enquanto a Semiótica de Peirce propõe estratégias para observar e entender o significado das coisas. Essas duas ciências estão interligadas pelas tecnologias de informação e comunicação, segundo Alves (2014), e isso concebe a base da Cibersemiótica:

> A Cibersemiótica, enquanto teoria concebida e desenvolvida para promover a transdisciplinaridade, pode proporcionar outros olhares e reflexões atualizadas abrangentes, no sentido de produzir uma estrutura cibersemiótica tanto para análise, como para processos digitais de projeto (Alves, 2014, p. 162).

A mediação digital relaciona as instâncias físicas e digitais, e coloca essas realidades num diálogo mais estreito, com capacidade de explorar melhores soluções de projeto, e quando falamos isso, atualmente, falamos de projetos mais sustentáveis em vários aspectos. Esse *workshop*, por meio de princípios cibersemióticos, buscou a produção sequencial de protótipos físicos e protótipos digitais, permitindo a exploração de *feedback loops* de modo que cada protótipo pudesse corrigir os rumos do *design* produzido, de modo evolutivo.

Com a parametrização de dados em linguagem de programação (no caso o *software* a ser explorado foi o *Rhino 3D* e seu *plug-in Grasshopper),* buscamos desenvolver geometrias complexas e processos interativos. A possibilidade de simular dados físicos no ambiente digital intensifica a participação do arquiteto no projeto - que determina os *inputs* a serem testados -, colocando o saber fazer de forma muito ativa na produção. Deste modo, a aplicação da tecnologia digital estimula a prática física, ou ainda em outras palavras, a fabricação digital e prototipagem, diminuem a distância entre o projeto, o produto e o *designer.*

O workshop foi organizado segundo o seguinte cronograma:

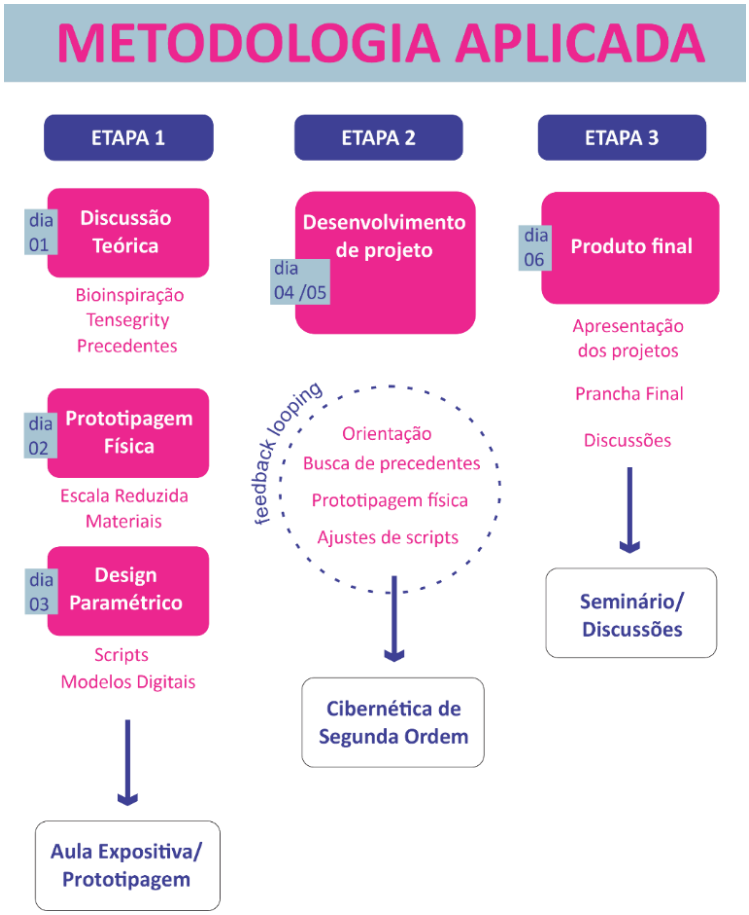
- dia 1 - aporte teórico, bibliografia, precedentes, etc
- dia 2 - treinamento rhino/grasshopper com estudo de scripts
- dia 3 - montagem de protótipos físicos em escala reduzida
- dia 4 - orientações e desenvolvimento de projetos
- dia 5 - orientações e desenvolvimento de projetos
- dia 6 - apresentação dos resultados

O *workshop* propôs, então, alguns objetivos iniciais aos sete participantes, a saber: observar tipos de estrutura fazendo analogias com elementos da natureza e objetos do cotidiano; aguçar o olhar para perceber certos padrões da natureza; explorar esse conhecimento imaginando possibilidades na nossa vida; vislumbrar geometrias e o comportamento de estruturas que possuem inteligências mais elaboradas, tais como, mobilidade, modularidade, reutilização, otimização de materiais; experimentar materialidades diferentes; e, por fim, entender que a exploração e a experimentação são bases fundamentais que retroalimentam a dinâmica da pesquisa.

Deste modo iniciamos o treinamento, exibindo estruturas, indicando e discutindo os padrões, a geometria, o movimento, dentre outros fundamentos teóricos. Começamos os processos de aproximação em relação às estruturas do tipo *Tensegrity* pela exploração dos protótipos físicos. É importante destacar que a mudança no modo de se pensar Arquitetura e produzir projetos é o primeiro passo a ser observado a partir do método proposto.

O diagrama a seguir, Figura 4, sintetiza o fluxo do processo metodológico aplicado:

Figura 4 - Diagrama da metodologia aplicada



Fonte: autores, 2023.

3 Desenvolvimento

3.1 Prototipagem Física

A partir das premissas e fundamentos estabelecidos no primeiro encontro, no segundo dia, para os exercícios de prototipagem foram utilizados palitos de madeira (do tipo de algodão doce ou de espetinho), elástico, borrachinha de dinheiro, canetinha, tesoura, régua e lápis, portanto, materiais básicos e acessíveis.

Começamos com a prototipagem de uma *Tensegrity* de 3 hastes, do tipo prismático (Figura 5), também classificado por *Tensegrity* de Ordem 2, onde cada haste, não coplanar, se encontra torcida em relação a base, que é um triângulo.

O pensamento de montagem do protótipo físico desse tipo de *Tensegrity* foi análogo ao das estruturas recíprocas, porém há uma costura entre cabos e hastes. Alguns participantes apresentaram dificuldades na montagem, uma vez que estas estruturas precisam estar tensionadas para se estabilizarem, então usamos elástico para facilitar o ajuste final (pois ele apresenta mais elasticidade que um barbante).

Figura 5 - Os 3 tipos de *Tensegrity* que foram desenvolvidos pelos participantes



Fonte: autores, 2023.

A imagem acima (Figura 5) ilustra os três tipos de modelos produzidos por um dos participantes. Após essa etapa, começaram as simulações e modelagens digitais.

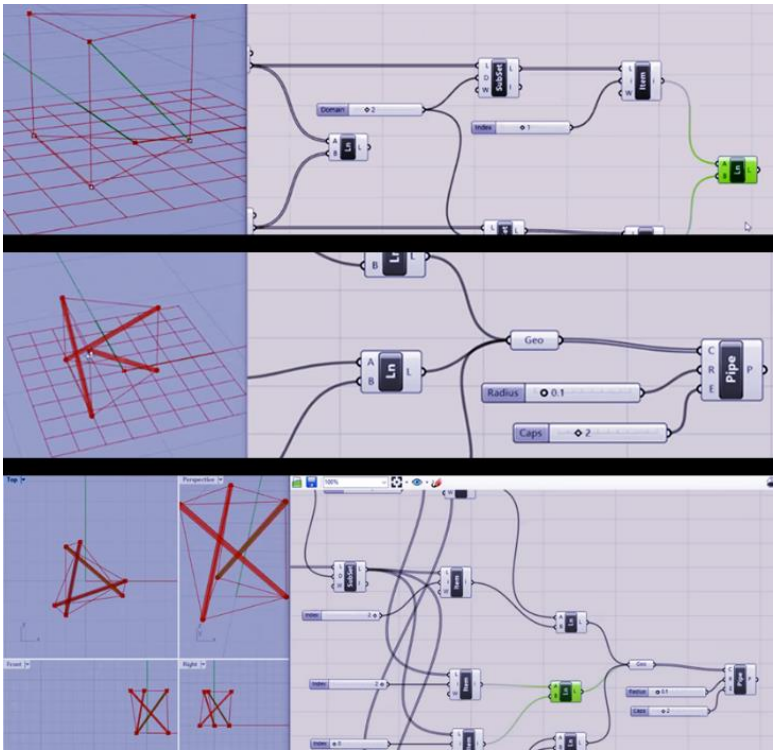
3.2 Prototipagem Digital

No terceiro dia iniciamos o treinamento do *Rhino 3D* com estudos de *scripts* em *Grasshopper*. Foram ensinados e produzidos conjuntamente os *scripts* dos protótipos

físicos, sendo evidenciada a todo momento essa transposição da lógica de montagem para a construção do *script*. Incentivamos os alunos a explorarem novas soluções, e apresentamos *scripts* básicos como ponto de partida ou referencial. Posteriormente fomos evoluindo o desenvolvimento da linguagem, sempre observando o protótipo físico e suas relações para serem aplicadas na modelagem paramétrica, definindo mais *inputs* ou parâmetros de ajustes, tornando, desse modo, o *script* mais inteligente e responsivo.

Antes de desenvolver cada *script* foi explicada a lógica do pensamento que tinha como partido os antiprismas regulares. A partir do volume construído só por linhas, observamos que as hastes de uma *Tensegrity* de ordem 2 são as diagonais de cada face de um antiprisma (as faces são sempre retangulares). Abaixo (Figura 6) as imagens ilustram em sequência o desenvolvimento do *script* até a formação da *Tensegrity,* finalizando com a rotação do topo (triângulo), pois é esse giro que dá tensão para a estrutura *Tensegrity* do tipo prismática.

Figura 6 - Desenvolvimento do *script* no *Grasshopper* por meio das relações com as figuras prismáticas



Fonte: autores, 2023.

A partir da conclusão dos *scripts*, a retroalimentação entre teoria e prática, e também entre os protótipos físicos e digitais, percebeu-se que foi proporcionado aos participantes a compreensão de possibilidades de aplicação das estruturas do tipo *Tensegrity*. Na sequência, foi lançado um desafio projetivo, cujos resultados serão apresentados a seguir:

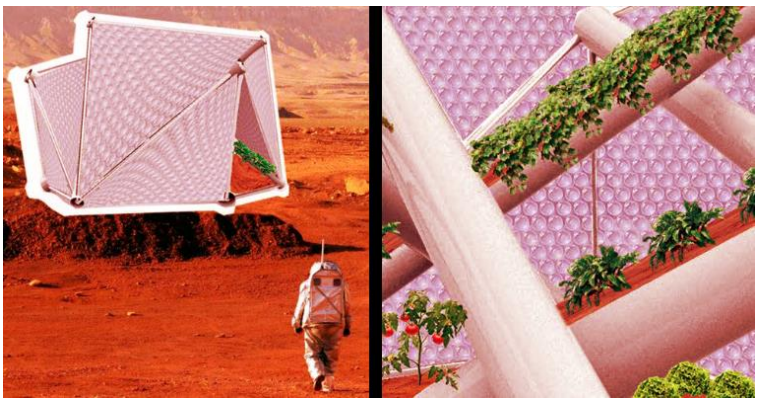
4 Resultados do *workshop*

Os participantes foram divididos em dois grupos e foram lançados dois desafios projetivos. O primeiro deles seria desenvolvido no Pantanal Sul Mato Grossense, levando em consideração a fragilidade do bioma e possíveis necessidades de pesquisadores, observadores da fauna e da flora, além da possibilidade de uso por parte das comunidades ribeirinhas, em geral. Ao segundo grupo, caberia o desenvolvimento de uma espacialidade a ser construída em Marte, em função das explorações que vêm ocorrendo, e levando em consideração a facilidade de transporte e de montagem desse tipo de estrutura.

O grupo que desenvolveu o projeto para Marte propôs uma estufa (Figura 8), na qual a ideia principal consistia em produzir uma espacialidade/dispositivo que possibilitasse o cultivo de alimentos orgânicos para colonizadores do planeta.

O projeto optou pelo desenvolvimento de uma estrutura *Tensegrity* de 6 hastes, com base no Icosaedro, no qual as próprias hastes serviriam de suporte para a plantação. Essas espacialidades seriam implantadas em vários módulos. O grupo encontrou uma solução mais amigável, não desprezando a vida na Terra, mas utilizando Marte como um possível suporte de produção de alimentos, imaginando que o excedente pudesse também ser destinado aos habitantes da Terra.

Figura 8 - Estufa Marciana, projeto proposto pela equipe



Fonte: autores, 2023.

Já o grupo que fez o projeto para o Pantanal propôs uma base avançada para observação da vida natural. A equipe pesquisou sobre as características desse grande e frágil bioma e percebeu que o Pantanal abriga diversas comunidades biológicas, criando uma estrutura em cúpula, que pode ser articulada e adaptada para múltiplas finalidades, desde um centro de pesquisa até um lugar contemplativo.

O grupo desenvolveu um protótipo de uma cúpula, construída com a costura das estruturas recíprocas – tecelagens - transferidas para a *Tensegrity,* desenvolvendo o

próprio *script*, fazendo a transposição, assim, do físico para o digital. Snelson (2012), em seu livro *Tensegrity, Weaving and The Binary World*, argumenta que as tecelagens têm conexões familiares com as estruturas de tensegridade. Essa equipe buscou ampliar as experimentações ensinadas e compartilhadas no *workshop*, expandindo a solução de projeto para uma necessidade real, não só em termos de estrutura, mas também de forma e funcionalidade (Figura 10).

Figura 10 - Arquitetura e Coexistência, fotomontagem da equipe que propôs o projeto para o Pantanal



Fonte: autores, 2023.

5 Discussão e Considerações Finais

Se por um lado temos Pawlyn (2011), Hsuan-An (2002), Dunn (2012), Hensel, Menges e Weinstock (2010), e Iwamoto (2009), dentre outros autores que vêm contribuindo com a ciência investigando processos tecnológicos e métodos mais eficientes de soluções de projeto, sem tirar o foco na busca de melhorias para nossa permanência no planeta Terra, vemos, por vezes, a tecnologia se encaminhar para um destino repetitivo e predatório, o que nos levou à condição atual de escassez de recursos, ameaças de catástrofes ambientais recorrentes, pandemias, desigualdades sociais, etc.

No intuito de discutir a responsabilidade da arquitetura e as tecnologias digitais e seus processos de fabricação, lançamos dois desafios de projeto no *workshop* realizado no *Digital Futures 2023*: um a ser proposto no Pantanal Sul Mato Grossense e outro em Marte. A proposta se justifica, no primeiro caso, em função de um bioma extremamente frágil e que possui um regime de cheias e vazantes no qual estruturas efêmeras poderiam auxiliar comunidades ribeirinhas de pescadores e pesquisadores; e no segundo caso, em função das estruturas funcionarem independentemente da ação da gravidade e pela facilidade de transporte em espaçonaves pelo pouco espaço que ocupam.

Muito além de só aprender ferramentas computacionais, tratamos aqui, a partir da pesquisa de mestrado em desenvolvimento, de uma abordagem de concepção de projeto mediada pela fabricação digital, na qual os pensamentos foram retroalimentados pela

experimentação e decisões foram tomadas de forma colaborativa. A Cibersemiótica forneceu as bases metodológicas a partir das quais algumas estratégias, como *feedback looping*, permitiram a retroalimentação entre os modelos físicos e digitais, assim como entre teoria e prática.

Deste modo, a prototipagem, tanto física quanto digital, demonstrou ser uma estratégia bastante efetiva no sentido da organização e planejamento das ações e proposições de projeto. As decisões foram discutidas entre as equipes, além das orientações dos professores/tutores, desenvolvendo um pensamento crítico sobre a arquitetura atualizada pela tecnologia e a realidade global atual. A busca por projetos que se aproximassem da noção de natureza (a qual compreende também os seres humanos) a partir de estratégias e metáforas que consideram a bioinspiração, conduziram os processos de concepção para possibilidades bastante viáveis e pertinentes, em relação ao desafio proposto.

Portanto, o trabalho final entregue pelas equipes mostrou uma curva rápida de aprendizado, com soluções satisfatórias para o tempo e para o desafio proposto pelo *workshop.*

Quanto às limitações enfrentadas, podemos destacar o fato de o *workshop* ser *on line*, uma vez que o processo de prototipagem é uma etapa manual e de experimentação cognitiva, logo aprender e ensinar foi um desafio que demandou mais tempo do que o esperado. Porém, conseguimos ajustar o conteúdo durante a semana do evento, cumprindo o cronograma proposto. Além disso, outra limitação encontrada foi o fato de que poderiam ocorrer mais *workshops* e consequentemente haver mais amostragens dos experimentos para serem analisadas. Por fim outra questão importante que torna maior o desafio, é a dificuldade de montagem que esse tipo de estrutura traz. Entende-se que é preciso mão de obra treinada e especializada para que isso ocorra na prática da construção, e essa verificação é possível pois a prototipagem traz a possibilidade de testar e experimentar em modelos sucessivos e em várias escalas. Acredita-se que essa retroalimentação de processos, justamente, oferece a maior contribuição desse método para a concepção de projeto nos dias atuais.

6 Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do MS (FUNDECT), a CAPES, a Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG), o Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade (PPGEES), e a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Referências

ALVES, G. M. **Cibersemiótica e processos de projeto**: metodologia em revisão. 2014. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2014.

DUNN, N. **Digital Fabrication in Architecture**. London: Laurence King Publishing, 2012.

Fuller, R. B. (1975). *Synergetics* - 700.04.

HENSEL, M.; MENGES, A.; WEINSTOCK, M. **Emergent technologies and design**. New York: Routledge, 2010.

HSUAN-AN, T. **Sementes do cerrado e design contemporâneo**. Goiânia: Editora UCG, 2002.

IWAMOTO, L. **Digital fabrications**: architectural and material techniques. New York: Princeton Architectural Press, 2009.

LITTMAN, J. A. **Regenerative Architecture**: a pathway beyond sustainability. 2009. 68p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e História da Arte) - Universidade de Massachusetts, Amherst, 2009.

PAWLYN, M. **Biomimicry in Architecture**. London: RIBA Publishing, 2011.

PIRES, J. F.; PEREIRA, A. T. C. **Modelagem Paramétrica da Geometria Complexa de Estruturas Regenerativas na Arquitetura**. *In*: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 21., 2017, Concepción. Anais [...]. Concepción: SIGraDi, 2017.

SNELSON, K. **Tensegrity, weaving and the binary world**: Newton's third law and the duality of forces. [s.l.]: 2012. *E-book*.

VERSCHLEISSER, R. **Aplicação de Estruturas de Bambu no Design de objetos**: como construir objetos leves, resistentes, ecológicos e de baixo custo. 2008. Tese (Doutorado em Artes e Design) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC), Rio de Janeiro, 2008.

VICTOR, G.; SEIXAS, M.; RIPPER, J. L. M. Estruturas autoportantes biotensegrity aplicando materiais Naturais. *In*: ARRUDA, A. J. V. (Org.). **Métodos e processos em Biônica e Biomimética**: a revolução tecnológica pela natureza. São Paulo: Blucher, 2018. p. 152-71.

ZHANG, J. Y.; OHSAKI, M. **Tensegrity structures**: form, stability, and symmetry. Tokyo: Springer Japan, 2015.