

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



Natacha Figueiredo Miranda

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil
natacha.ik@gmail.com



Gilfranco Medeiros Alves

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil
gilfranco.alves@ufms.br

1

Resumo

O presente artigo tem como objetivo 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, no decorrer dos encontros, 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 dois 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 em Marte. Este artigo apresenta os resultados do workshop e discute seus métodos, suas estratégias e os conceitos dos projetos desenvolvidos.

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

Abstract

The following paper aims to report and analyze the design process and the results developed in the “Tensegrity: Parameterization and Prototyping” workshop, held at the Digital Futures 2022 event. The theoretic foundation is based on a Master’s research carried out at the Federal University of Mato Grosso do Sul with the algo+ritmo research group. During the

meetings, classes were developed based on prototyping methods, parametric modeling and bioinspiration, with the goal of bringing digital processes closer to project development, feeding back the models experienced in practice, analyzing assembly difficulties and discussing the advantages of Tensegrity concerning reducing impacts on nature. Two project challenges were launched, which raised the discussion of technology and its use, resulting in possible solutions to be applied either on the Pantanal of Mato Grosso do Sul or on Mars. The paper presents the results from the workshop and discusses its methods, strategies and the concepts of the developed projects..

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

Introdução

O presente artigo baseia-se na pesquisa de mestrado realizada no programa (omitido para revisão) da Universidade (omitido para revisão) e apresenta resultados de um *workshop* ocorrido em 2022, no evento internacional *Digital Futures*¹. A escolha da *Tensegrity* como objeto de estudo fundamenta-se na potencialidade que essa estrutura traz ao desenvolvimento de projetos com inteligências de sistemas orgânicos e que performam de forma mais eficiente com o meio natural, já que a arquitetura atual não deve ser vista como algo estagnado, e sim 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 algo mais inteligente e mais integrado com a natureza? Esse é um dos desafios da atualidade: buscar trabalhar com materiais menos impactantes e minimizar 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 realizarmos mudanças no comportamento, sendo que, como projetistas, necessitamos aumentar a eficiência dos recursos naturais, migrar de economia fóssil para economia solar e transformar a prática da economia linear, que esbanja recursos para economia de modelo de *loop* fechado, em que os recursos são 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 nossa²)

A noção de bioinspiração nos leva a uma produção focada na melhor performance, ou seja, observar as inteligências e os padrões da natureza, aplicando-os em projeto, assim como analisar de que modo as construções atuam na relação com

1 <https://digitalfutures.international/workshop/tensigrity-parametrizacao-eprototipagem/>

2 “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”.

os sistemas naturais; logo, necessitamos mudar a forma de conceber e construir uma proposta.

Acreditamos que a produção deve ser modificada, e, assim, destacamos processos como parametrização, prototipagem e fabricação digital e customização em série. Autores como Dunn (2012) e Iwamoto (2009) discutem processos de fabricação digital, nos quais, por meio de modelagem 3D e parametrização, podemos desenvolver projetos de melhor desempenho, já que os computadores, por meio da programação e dos diversos softwares 3D, permitem simulações e prototipagem em diferentes escalas, inclusive na escala real. Isso viabiliza que nós estudemos e melhoremos os projetos antes de eles serem construídos.

Encontramo-nos, atualmente, segundo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), no período da mitigação dos danos causados ao planeta pela humanidade. Então, resta-nos gerenciar os impactos e planejar como vamos reduzir a velocidade da entropia. No que se refere à tecnologia, as ODS trazem uma diretriz para o desenvolvimento de produtos que buscam, por meio da inovação tecnológica, um desenvolvimento mais sustentável. De acordo com o site oficial (Sustainable Development Goals), ainda estamos distantes desse ideal; porém, a academia e a ciência têm a responsabilidade de promover pesquisas e alavancar estudos nessa direção.

Logo, consideramos pertinente a estratégia de entender os conceitos de bioinspiração e mediação digital em processos colaborativos. No caso específico do workshop realizado, buscou-se estimular o compartilhamento destes saberes e a sua relevância entre os participantes.

O workshop teve como objetivo geral projetar estruturas do tipo *Tensegrity*, explorando seu potencial estrutural e de otimização. Inicialmente, procuramos estudar, de maneira breve, 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 e, estrategicamente, procuramos retroalimentar os processos digitais com protótipos físicos; por fim, mas não menos importante, foi proposto analisar as vantagens da utilização de estruturas do tipo *Tensegrity* relacionada às produções menos impactantes. Além da aplicação do método de prototipagem e o design paramétrico como formas de conceber e discutir projetos, o workshop

se preocupou com as discussões relevantes que a própria estrutura traz em seu conceito primordial, como a Bioinspiração. Estruturas do tipo *Tensegrity* têm várias relações com o corpo humano, como apontam Verschleisser (2008) e Victor, Seixas e Ripper (2018). Além disso, o momento traz à tona questionamentos de como podemos conceber projetos e arquitetura mais integrados à natureza, também considerando a própria humanidade como parte dela.

***Tensegrity* e biomimética: como podemos construir estruturas mais eficientes?**

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 nossa³).

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 nossa⁴).

Pensando nesse paradigma proposto por Pawlyn (2011), encontramos, em Hsuan-An (2002) e Pires e Pereira (2017), formas sistematizadas de observação dos sistemas naturais, pois, para eles, o bom design⁵ 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, em que quase nada é desperdiçado – este seria o ideal do design contemporâneo.

Para Littmann (2009), a concepção regenerativa é conseguida por meio da observação da integração dos sistemas envolvidos, da verificação de padrões

3 “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”.

4 “The principle for architecture that emerges from observing is: less materials, more design”.

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

(interdependência dos fenômenos), da noção de que não existe apenas uma solução e da busca pela implantação de sistemas ecológicos.

Pawlyn (2011) também afirma que as estruturas transformáveis, sendo a *Tensegrity* uma delas, detêm de uma característica adaptativa, e isso se relaciona com a biomimética, pois esta faz com que as edificações adquiram um comportamento físico semelhante ao dos organismos vivos, ou seja, modificam-se conforme a resposta do meio em que estão. “As estruturas implementáveis podem se mover, expandir ou contrair ao alterarem suas propriedades geométricas, materiais ou mecânicas” (Pawlyn, 2011, p. 35, tradução nossa⁶).

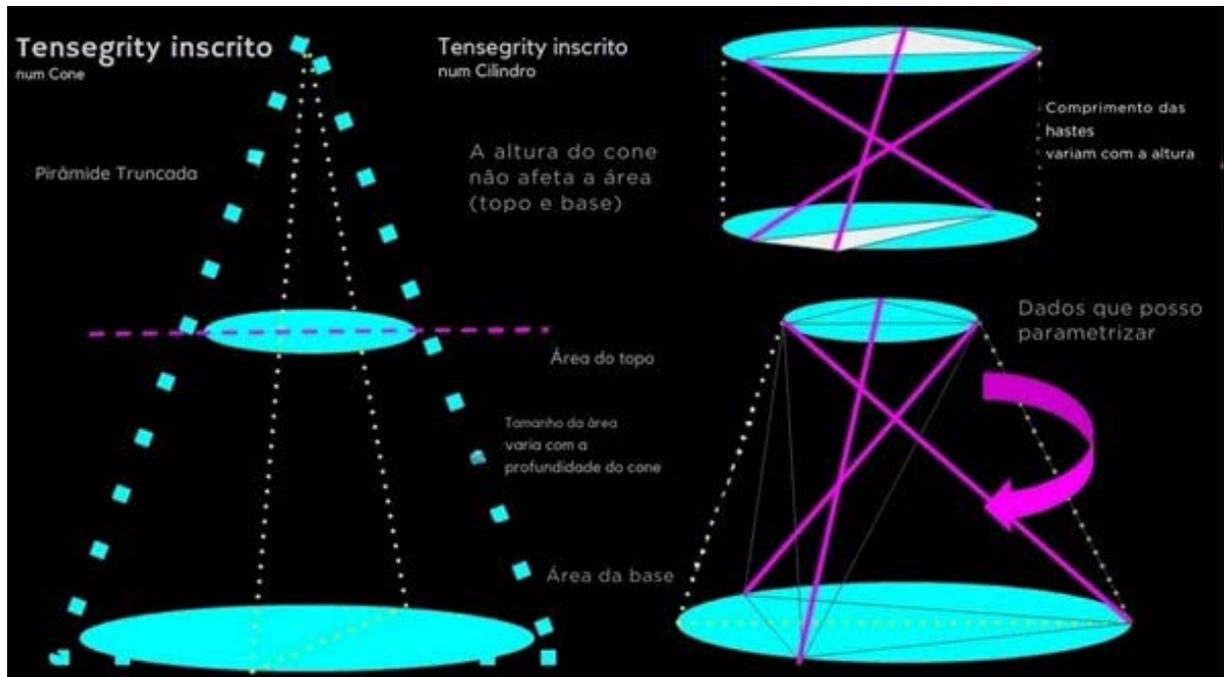
Verschleisser (2008) argumenta que Buckminster Fuller define *Tensegrity* como um oceano de tensão com ilhas de compressão e pondera, também, que Snelson sintetiza essa ideia com a definição de Compressão Flutuante. De acordo com Verschleisser (2008), as *Tensegrities*, baseadas em poliedros e em prismas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

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

Logo, a prototipagem física foi a opção escolhida antes da prototipagem digital, pois entendemos que a montagem, na prática, facilitaria 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, os quais serão apresentados a seguir.

⁶ “Deployable structures can move, expand or contract by changing their geometric, material or mechanical properties”.

Figura 1 - O desenho mostra como observar padrões e relações da *Tensegrity* com geometrias e volumes já conhecidos.



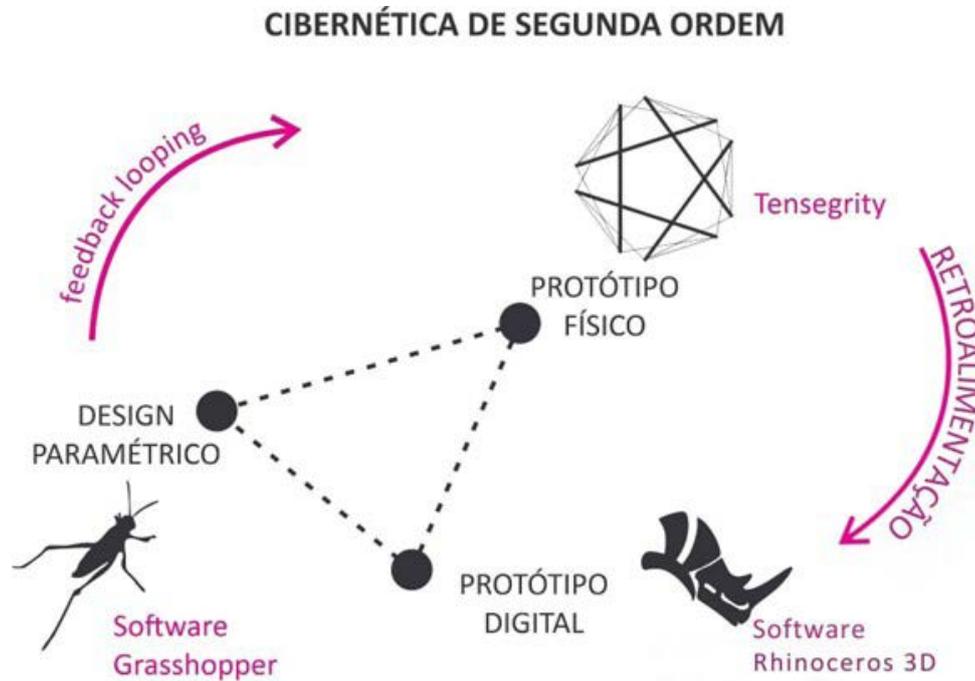
Fonte: Autores, 2022.

7

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 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. O diagrama da Figura 2 ilustra a dinâmica do método proposto pela Cibernética de Segunda Ordem, aplicado para o *workshop*, o qual foi realizado *online*.

Figura 2 - diagrama ilustrando o *feedback looping*, conforme proposto pela Cibernética de Segunda Ordem, nas etapas realizadas no *workshop*.



Fonte: Autores, 2022.

8

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 a prototipagem diminuem a distância entre o projeto, o produto e o designer.

O *workshop* propôs alguns objetivos iniciais aos participantes:

- Observar tipos de estrutura, fazendo analogias com elementos da natureza e objetos do cotidiano (Figura 3).
- Aguçar o olhar para perceber certos padrões da natureza.
- Explorar esse conhecimento imaginando possibilidades em nossas vidas.

- Vislumbrar geometrias e o comportamento de estruturas que detêm de inteligências mais elaboradas, como mobilidade, modularidade, reutilização e otimização de materiais;
- Experimentar materialidades diferentes.
- Entender que a exploração e a experimentação são bases fundamentais que retroalimentam a dinâmica da pesquisa.

Figura 3 - analogia de estruturas naturais (colmeia) com as estruturas de tensegridade.



Fonte: Autores, 2022.

Para efetivar as dinâmicas de estudo e a aplicação do processo de projeto híbrido, ou seja, tanto na instância física quanto digital, o cronograma estabelecido foi:

- Primeiro dia – aporte teórico, bibliografia, revisão de precedentes etc.

- Segundo dia – montagem de protótipos físicos em escala reduzida.
- Terceiro dia – treinamento *rhino/grasshopper* com estudo de *scripts*.
- Quarto dia – orientações e desenvolvimento de projetos.
- Quinto dia – orientações e desenvolvimento de projetos.
- Sexto dia – apresentação dos resultados e discussões.

Deste modo iniciamos o *workshop*, exibindo estruturas, indicando e discutindo os padrões, a geometria, o movimento, entre 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 pensar Arquitetura e de produzir projetos é o primeiro passo a ser observado a partir da metodologia proposta, então separamos o *workshop* em 3 momentos marcados pelo método aplicado.

Primeira etapa: aula expositiva e prototipagem

Essa etapa descrita foi distribuída ao longo dos três primeiros dias, e o método foi mesclado, ora com aula expositiva, ora com prototipagens (abordagem “mão na massa”), ora o estudo investigativo que o design paramétrico provoca quando se trata de linguagem de programação. Nesta etapa, discutimos e apresentamos, por meio de imagens, diagramas e vídeos, os conceitos fundamentais que abordam a temática; depois, adentramos na fundamentação das estruturas do tipo *Tensegrity*, explicando como funcionam fisicamente as estruturas e os sistemas fechados que escolhemos trabalhar, como também revisando alguns precedentes históricos e as aplicações na engenharia, robótica e biologia. Num segundo momento, começamos a prototipagem com os participantes e, depois, num terceiro, foi dada a explicação sobre produção de *scripts* no *grasshopper* para nível iniciante, já que não foi exigido esse pré-requisito no *workshop*. Deste modo, para acelerar o aprendizado, depois de explicarmos as noções básicas da lógica usada no *software*, compartilhamos alguns *scripts* básicos e deixamos que os participantes os implementassem mais.

Segunda etapa: Cibernética de Segunda Ordem

No quarto dia, laçamos duas propostas de projeto para serem desenvolvidas por dois grupos. O processo de produção com orientação ocorreu durante dois dias,

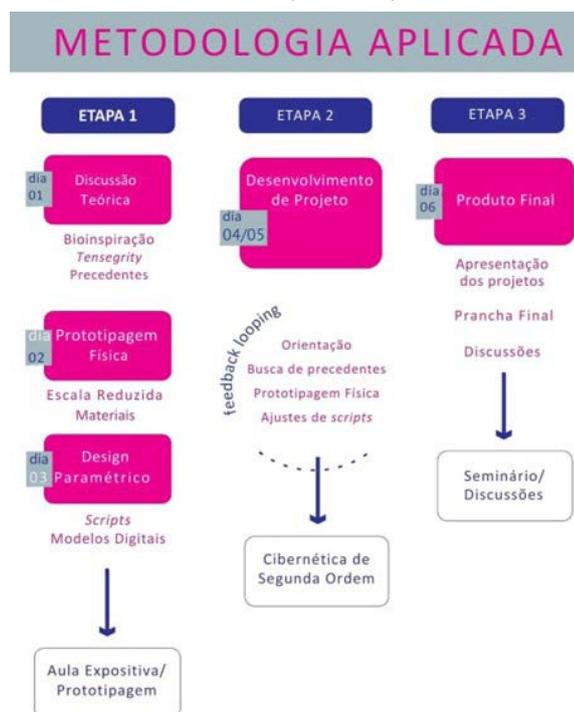
e foi nesta etapa que de fato se consolidou a aplicação do método proposto pela Cibernética de Segunda Ordem, em que pudemos acompanhar as pesquisas, assim como os desenvolvimentos retroalimentados pela prática dos protótipos nos scripts que foram desenvolvidos. Os alunos fizeram novos protótipos; um grupo criou o próprio *script*, o outro evoluiu um *script* fornecido e, assim, ambos passaram pelas etapas de prototipagem, programação e análise, produzindo refinamento e evolução, num ciclo que só termina quando se chega ao goal esperado ou ao objetivo possível de ser alcançado, conforme o tempo que tínhamos disponível para a realização do *workshop*, a saber, cinco dias.

Terceira etapa: seminário

No último dia, os grupos apresentaram suas propostas, explicando as referências e os projetos desenvolvidos. Os resultados foram entregues em uma prancha final, de acordo com o template padrão do *workshop*, além de um vídeo-resumo explicando o que foi desenvolvido nesses dias. Após as apresentações, abrimos uma roda de conversa, na qual discutimos as questões levantadas durante o *workshop* e a experiência de cada um no processo.

O diagrama da Figura 4 sintetiza o fluxo do processo metodológico aplicado:

Figura 4 - analogia de estruturas naturais (colmeia) com as estruturas de tensegridade.



Fonte: Autores, 2022.

Desenvolvimento

Prototipagem Física

A partir das premissas e dos 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, em que cada haste, não coplanar, encontra-se torcida em relação à 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, pois essas estruturas precisam estar tensionadas para se estabilizarem; então, usamos elástico para facilitar o ajuste final (pois ele apresenta mais elasticidade que um barbante).

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

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



Foto: Autores, 2023.

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 partida 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). A seguir (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.

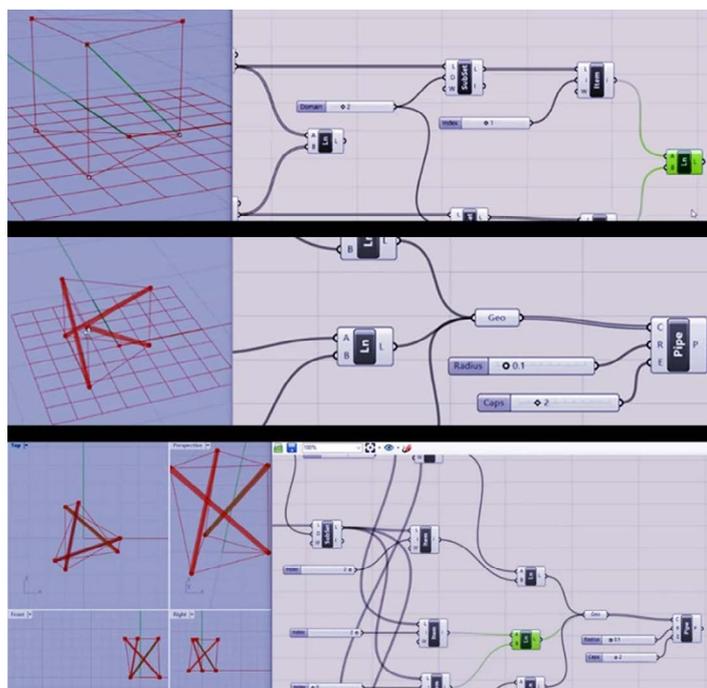


Foto: Autores, 2023.

A próxima sequência de imagens (Figura 7) mostra as alterações com os refinamentos feitos no primeiro *script* e, assim, a parametrização nos números de hastes, na altura e na área de topo e base desta *Tensegrity*.

Figura 7 – com o *script* mais desenvolvido, as imagens ilustram a facilidade de alteração do *design* depois do ajuste das parametrizações.

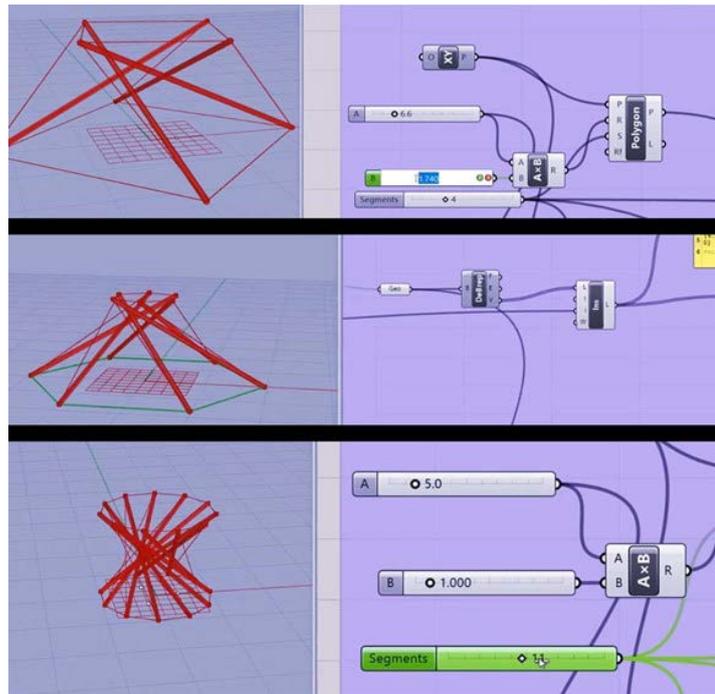


Foto: Autores, 2023.

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

Resultados

Os participantes foram divididos em dois grupos, e foram lançados dois desafios projetivos. O primeiro deles seria desenvolvido no Pantanal sul-mato-grossense, levando-se em consideração a fragilidade do bioma e as 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-se 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 consiste em produzir uma espacialidade/um dispositivo que possibilitasse o cultivo de alimentos orgânicos para colonizadores do planeta. O grupo argumentou que o projeto foi pensado sob a ótica da vegetação, com foco na produção de alimentos, e não na habitação humana, como um suporte para suprir, justamente, a escassez de alimentos. A estufa, segundo a proposta do grupo, será protegida com um envoltório capaz de criar condições adequadas para a criação de espécies vegetais, resguardando-os da alta radiação do planeta e possíveis intempéries. Usando como referência o filme *Perdido em Marte*, o grupo idealizou o projeto pensando em ambientes extremos e agressivos para a permanência humana.

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 - fotomontagem da equipe que propôs o projeto para Marte



Foto: 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, dentro de nichos com características únicas. Nesse sentido, buscaram facilitar a relação entre homem e meio ambiente, criando uma estrutura em cúpula, que pode ser articulada e adaptada para múltiplas finalidades, desde um centro de pesquisa, até um lugar contemplativo. O projeto foi desenvolvido num contexto ecológico, a partir do qual os sistemas se relacionam como rizomas, estabelecendo relações entre humanos e não humanos e com o objeto construído, ou seja, com coexistências afins e contraditórias que constituem a natureza, de acordo com a análise dos participantes.

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 (Figura 9). 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).

16

Figura 9 - desenvolvimento da modelagem paramétrica mediada pela prototipagem, realizado pela equipe que propôs o projeto para o Pantanal.



Foto: Autores, 2023.

Figura 10 - arquitetura e coexistência, fotomontagem da equipe que propôs o projeto para o Pantanal



Foto: Autores, 2023.

O diagrama (Figura 11) e as Tabelas 1 e 2, na sequência, ilustram o resultado obtido pelos grupos em relação aos objetivos estipulados: mobilidade, modularidade, reutilização, otimização, materialidade.

Figura 11 – diagrama dos resultados obtidos.

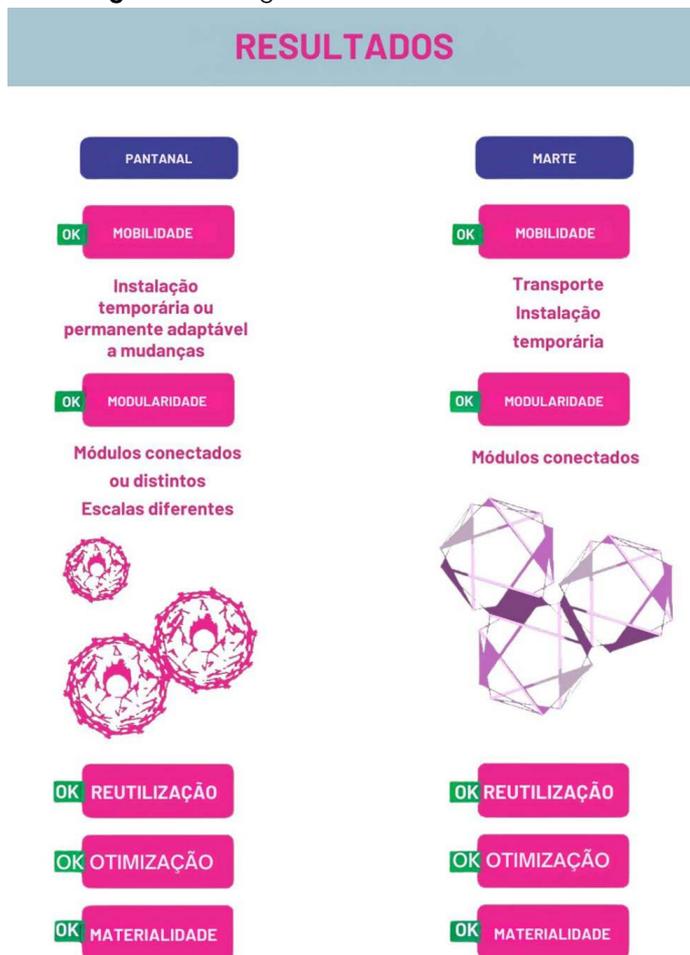


Foto: Autores, 2023.

Tabela 1 – Grupo Pantanal.

Grupo Pantanal	
Mobilidade	Possibilidades de mudança na implantação ou instalação provisória.
Modularidade	Estrutura modular que contempla escalas distintas. O grupo propôs vários módulos que podem ser implantados separadamente ou conectados em si.
Reutilização	A estrutura projetada pode ser reutilizada tanto em questão da estrutura em si como em partes ou peças isoladas que podem ser substituídas, seja para manutenção, seja para mudança na escala do projeto, pois ela pode ser alterada.

Otimização	A estrutura proposta pela equipe é uma cúpula (estrutura recíproca) formada por pentágonos e triângulos, a qual traz a otimização de material na sua forma.
Materialidade	Bambu (as hastes da estrutura), conexões em aço e plataforma flutuante em madeira. Nem as conexões nem a plataforma foram detalhadas.

Foto: Autores, 2023.

Tabela 2 - Grupo Marte.

Grupo Pantanal	
Mobilidade	A equipe propôs um icosaedro em <i>Tensegrity</i> , e essa estrutura tem a possibilidade de montagem e desmontagem, tornando possível o transporte para implantação, inclusive, num local tão distante e crítico como Marte. Dentre as estruturas de sistemas fechados em <i>Tensegrity</i> , o Icosaedro apresenta uma montagem mais fácil, por ser uma estrutura mais estável e por apresentar ao menos duas formas de montagem, podendo até mesmo ir pré-montado (costurado) e só se estruturar no local. Foi escolhido um sistema fechado, por não precisar da gravidade em si para se estabilizar enquanto estrutura, funcionando como uma "barraca" mais elaborada.
Modularidade	A equipe propôs um protótipo que serve como módulo, o qual pode ser reproduzido na quantidade necessária, conectando-se entre si, pela cobertura.
Reutilização	A estrutura projetada pode ser reutilizada tanto em questão da estrutura em si como em partes ou peças isoladas que podem ser substituídas, seja para manutenção, seja para mudança na escala do projeto, pois ela pode ser alterada.
Otimização	A <i>Tensegrity</i> Icosaedro é uma forma otimizável de estrutura. Além de sua própria natureza ser econômica em relação a materiais, a equipe propôs utilizar as próprias hastes como suporte de plantação, trazendo a otimização do espaço cultivado e facilitando inclusive o transporte, sem prejudicar a plantação.
Materialidade	A estufa terá uma cobertura feita de um material plástico com capacidade de proteção à alta radiação e a intempéries (não foram específicos quanto às características do material). Quanto às hastes, o grupo deixou em aberto para aço, madeira ou plástico.

Foto: Autores, 2023.

Conclusão

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, 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 de as 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 do 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, conduziu 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 dificuldades enfrentadas, podemos destacar o fato de o *workshop* ser online, pois, no processo de prototipagem, que é uma etapa manual e de experimentação cognitiva, aprender e ensinar foi um desafio que demandou mais tempo que o esperado; porém, conseguimos ajustar o conteúdo durante a semana do evento, cumprindo o cronograma proposto. Outra questão importante que torna maior o desafio é a dificuldade de montagem que esse tipo de estrutura traz. Logo, é preciso mão de obra treinada e especializada para que isso ocorra na prática da construção. Essa verificação é possível, pois a prototipagem traz a possibilidade de testar e experimentar em modelos sucessivos e em várias escalas, e essa retroalimentação oferece a maior contribuição desse método para a concepção de projeto nos dias atuais

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.

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.

NOTA

Publisher

Universidade Federal de Goiás. Programa de Pós-graduação Projeto e Cidade. Publicação no Portal de Periódicos UFG.

As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

RECEBIDO EM: 22/01/2024

APROVADO EM: 07/08/2024

PUBLICADO EM: 12/09/2024