

# PROJETO DE MEANISMOS PARA WEARABLES A PARTIR DO BIOMIMETISMO

Lucas Zampieri Barros <sup>1</sup>; Agda Regina de Carvalho <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

<sup>2</sup> Professora do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

**Resumo.** *Esta pesquisa parte de conquistas alcançadas no âmbito do projeto "Design para Wearable Inteligentes" de 2022, que resultou inicialmente no desenvolvimento do dispositivo vestível HIFA, realizado por pesquisadores do LabDesign,. Nesse contexto, o objetivo da pesquisa foi conceber mecanismos que atendam às exigências de dispositivos vestíveis, explorando estudos de possíveis soluções integráveis as proposições do projeto HIFA em 2023. O dispositivo vestível proposto visa interpretar os sinais físicos e sensoriais do usuário, enquanto expande as respostas visuais e mecânicas por meio de sua estrutura.*

*Essa proposta busca contribuir para as soluções mecânicas do projeto HIFA. A abordagem adotada utiliza o biomimetismo para criar estruturas que empregam tecnologias emergentes. Nesse sentido, esta parte específica do projeto realizará estudos para ampliar o leque de materiais e composições possíveis, permitindo a incorporação de propostas mecânicas aos processos e a compreensão de materiais de alto potencial provenientes da natureza.*

*Em conformidade com a proposta do projeto, o dispositivo apresenta diversos mecanismos que amplificam as respostas físicas do usuário, seja por meio de elementos móveis externos ou na própria concepção de mobilidade e ergonomia do próprio dispositivo.*

## Introdução

O Biomimetismo, ou biomimética, é o estudo de soluções originárias da natureza implementadas em diversas áreas da arte e da ciência, e do ponto de vista conceitual, está intrinsecamente ligado à história humana desde os primórdios. Num contexto em que a sociedade está habituada a subjugar a natureza, a biomimética traz uma abordagem com grande potencial na área do Design (FRAÍLE, 2019). Nesse sentido, a pesquisa se baseia no estudo biomimético proposto, relacionado ao fungo encontrado no Instituto Mauá de Tecnologia, que despertou o interesse dos pesquisadores para o projeto Design para Wearables Inteligentes: O fungo em questão pertence ao filo Basidiomycota, à classe Agaricomycetes, à ordem Boletales e à família Suillaceae (CARVALHO, 2022).

O projeto Hifa: Human + Interface + Fungi + Accessory, herda soluções iniciadas no trabalho "HIFA", em 2022, elaborado por pesquisadores do Lab Design, criado a partir de um conceito desenvolvido durante a observação e o estudo do comportamento do fungo citado na obtenção de nutrientes para sobreviver com os micélios. Estes possuem uma característica singular: eles não apenas possuem a capacidade de obter recursos para si mesmos, mas também de compartilhá-los entre outros fungos e plantas nas proximidades. Em conjunto com o período pós-pandêmico, onde questões como socialização, contato e interação eram vigentes, nasceu a ideia de desenvolver um dispositivo vestível com a capacidade de, não somente, transparecer emoções do usuário e ampliar respostas de reações causadas pelo ambiente externo de forma a interagir com outras células, como igualmente trazer uma proposta de interação entre seres, apresentando novas maneiras de discutir, representar e interpretar essas respostas perceptivas do usuário na forma de representações visuais, táteis e sonoras.

O direcionamento deste projeto está no desenvolvimento e na criação de mecanismos e dispositivos que solucionem a proposta do HIFA. Este projeto propõe a concepção de mecanismos processuais e aspectos perceptivos do usuário enquanto ele se movimenta e interage com o artefato vestível (CARVALHO; PARAGUAI, 2015). Dada a finalidade do Wearable Hifa, é crucial incorporar estudos que abordem diferentes tipos de mecanismos no desenvolvimento deste projeto, contribuindo para sua concretização. Esses mecanismos mencionados visam aprimorar o desempenho

do dispositivo, otimizando os movimentos corporais do usuário e promovendo o desenvolvimento de partes móveis.

Essas características podem significar uma representação ampla, tanto visual quanto sonora, dos movimentos musculares, respiração, batimentos cardíacos e respostas sensoriais do usuário ao interagir com outros indivíduos e ambientes, conforme destacado anteriormente.

É importante pontuar que este projeto propõe conceitos que, em sua totalidade, não puderam ainda ser concretizados em razão da sua origem consideravelmente recente e de estudos de mecanismos e novas tecnologias que ainda estão por vir. Por isso, o Hifa Cinesis integra e representa uma proposta de futuro, onde suas aplicações serão mais visíveis, mais desenvolvidas, e seus conceitos de conexão e respostas a estímulos sensoriais e musculares representarão um alto desempenho, sem contar suas possíveis aplicações no mundo do design e até mesmo na biologia e medicina levando em consideração suas representações visuais vidas de respostas do usuário.

Por fim, esse estudo apresenta novas propostas de materiais que contribuirão para aspectos como resistência, peso, volume, flexibilidade e durabilidade das partes móveis, concentrando-se nas necessidades do corpo com um pensamento especulativo (DUNNE, RABY, 2013) ao pensar nas interações pessoais em um futuro possível.

## Material e Métodos

A metodologia foi dividida em etapas, e em cada uma, a pesquisa obteve um caráter experimental no seu desenvolvimento para encontrar soluções:

Inicialmente o levantamento bibliográfico sobre design, Wearable e biomimética, e o estudo de soluções já realizadas de mecanismos para Wearable. A partir do envolvimento com o grupo de pesquisadores e do encaminhamento do projeto em 2023, ocorre o processo de esboço e rascunho, onde as primeiras ideias de sistemas mecânicos foram discutidas com os pesquisadores e registradas em forma de sketch, (tanto no papel quanto digitalmente). Atendendo o desenvolvimento dos pesquisadores ocorreram as fases de prototipação e pesquisa de materiais. Com o uso de softwares como Adobe Illustrator, AutoCad, Blender e SolidWorks para representações técnicas e tridimensionais dos componentes. A produção de peças e componentes físicos a partir de impressões 3D e cortes a laser foi importante para as discussões e experimentos, o que levou a observação das possibilidades e das variáveis das soluções quando os mecanismos foram integrados no Wearable, principalmente no corpo em movimento, durante os estudos e experimentos colaborativos com a equipe.

Ao longo de todo o processo de criação de soluções baseadas em mecanismos, a referência foi derivada de sistemas e organismos presentes na natureza. Observações do crescimento e desenvolvimento de fungos, assim como outras soluções que envolvem movimentos específicos baseados em aspectos físicos, como composição química, massa e densidade dos materiais, foram fundamentais. Para apresentar novos movimentos orgânicos foi necessário ir além de mecanismos convencionais e trazer métodos que se comunicassem com o comportamento de elementos vivos na natureza. Ao longo da pesquisa, foi implementado o desenvolvimento de mecanismos baseados no conceito de *Compliant Mechanisms*. Estes são mecanismos que não necessitam de eixos, furos e componentes como molas e parafusos para executar algum movimento, mas apresentam o mesmo desempenho a partir de características do próprio material, como maleabilidade, flexibilidade e resistência. Esta foi a alternativa escolhida levando em consideração aspectos orgânicos do Wearable e as incontáveis possibilidades de implementação de estruturas vindas de estudos biomiméticos, assim em 2023, surge o HIFA – CINESIS. Agora várias células que compunham a sua estrutura, diferente da proposta de 2022.

A impressão 3D é um processo de produção de objetos tridimensionais a partir da adição de um material específico em camadas sob uma superfície de impressão, a qual desempenhou um papel crucial na produção dos mecanismos e na execução dos testes mecânicos gerados pelos softwares Blender e SolidWorks. Uma pesquisa detalhada foi conduzida no campo de polímeros termoplásticos sustentáveis visando características químicas e mecânicas vantajosas para o processo. O

desenvolvimento de "peças teste" impressas em impressoras 3D, utilizando filamentos de PLA (Poliácido Láctico), TPU (Poliuretano Termoplástico) e PETG (Polietileno Tereftalato Glicol), permitiu a medição precisa e análise do comportamento físico e mecânico das peças sob estresse, como torção, flexão e tração.

Com base na análise do desempenho de cada peça, foram selecionadas as soluções mecânicas mais eficazes, orientando sua aplicação específica nos dispositivos de prova. Os dados coletados direcionaram cada mecanismo para uma aplicação adequada dentro das possibilidades mecânicas propostas pelo Wearable HIFA-CINESIS.

## Resultados e Discussão

Os primeiros testes de peças maleáveis tiveram como referência o primeiro modelo do Wearable em 2022(Figura1) com seu sistema de hastes flexíveis, e contou com a impressão 3D em TPU para a aplicação do desempenho na flexibilidade. Duas peças foram desenvolvidas para o primeiro estudo (Figura 2 e Figura 3).

Figura 1 – Versão do Wearable Hifa, 2022



Figura 2 – Primeiro estudo de dispositivo flexível

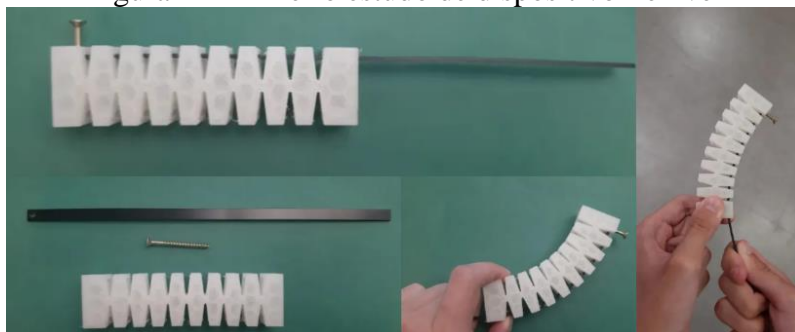
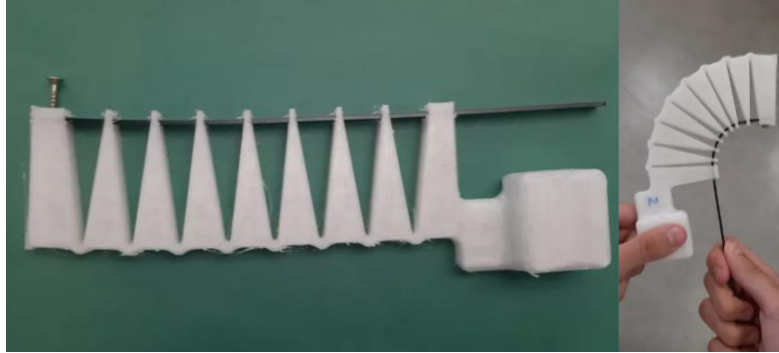


Figura 3 – Segundo estudo de dispositivo flexível



Para o desenvolvimento das próximas peças, mecanismos e dispositivos que têm como foco a maleabilidade, flexibilidade e consequentemente durabilidade, se viu necessário estudar quais condições dentro das impressões 3D seriam as mais eficientes e quais métodos deveriam ser implementados para o futuro do projeto. Portanto, foram desenvolvidas peças de prova para estudar como os polímeros se comportam em situações de estresse mecânico, movimentos fletores e de torção, onde a espessura, largura e orientação da impressão são variados e assim analisados. Apesar de usar o filamento de TPU anteriormente no projeto, por ser um polímero flexível e bem resistente, foi decidido imprimir as próximas peças utilizando o polímero PLA. Esta escolha foi feita porque o PLA é um filamento muito usado em processos gerais de impressão 3D e é um material com excelentes características mecânicas, além de ser produzido com matérias primas vindas de fontes renováveis e assim considerado um material biodegradável.

A partir das impressões, diversas análises mecânicas foram feitas e pontos importantes foram observados e estabelecidos que serviram como base fundamental para todo o projeto. Foram executados dois métodos de impressão de superfícies: impressão vertical (Figura 4) e impressão horizontal (Figura 5). Durante os testes, a diferença entre os dois métodos se mostrou extremamente evidente.

O método de impressão vertical apresenta uma superfície com várias imperfeições devido ao posicionamento e o processo da impressão, com a presença de falhas na continuidade da superfície, o que oferece menor resistência nos testes. O sentido único do filamento, similar a fibras em madeira, apresenta um desempenho mediano na flexão do material, mas enquanto sofre uma torção, seja qual for o sentido, sofre uma fragilização na superfície comprometendo a peça. Neste processo a espessura também apresentou problemas porque não pôde ser impressa com tanta precisão, levando a conflitos entre as medidas nos arquivos de impressão e a peça física, possibilitando a impressão de superfícies de até 0,4 mm de espessura.

O método de impressão horizontal apresenta uma superfície bem mais contínua e homogênea, devido a deposição do material na mesa de impressão, o que favorece a resistência e a flexibilidade do material, sem contar que se apresenta esteticamente de uma forma muito mais agradável. Neste método, o filamento é depositado não em um sentido único, mas sim a  $45^\circ$  e  $-45^\circ$  se cruzando, e esta organização permite a criação de superfícies superfinais com uma resistência consideravelmente alta. Complementando, este processo permite que as espessuras especificadas nos desenhos e arquivos de impressão sejam bem mais precisas, possibilitando a impressão de superfícies de até 0,1 mm de espessura (Figura 6). Este é sem dúvidas um método de impressão mais vantajoso e igualmente prático comparado com o anterior, e, portanto, este foi o escolhido para dar continuidade ao projeto.

Figura 4 – peça de prova com método de impressão vertical (processo descartado)



Figura 5 – peça de prova com método de impressão horizontal (processo escolhido)

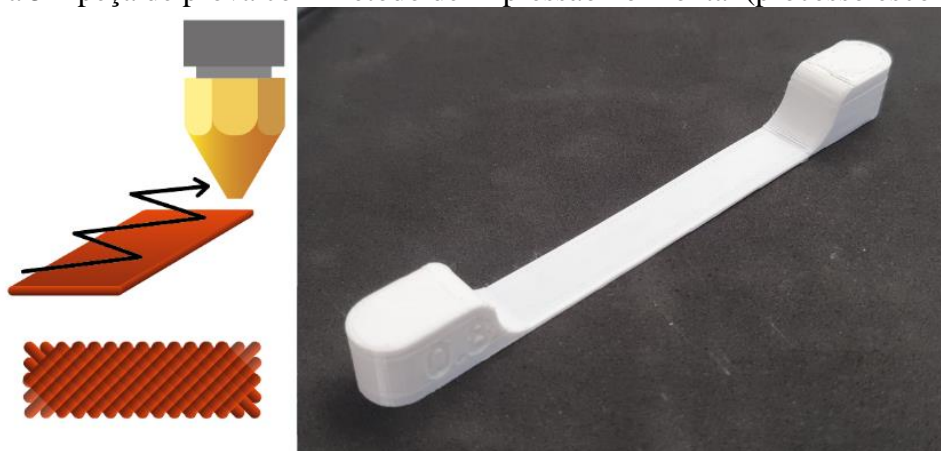


Figura 6 – peça de prova com método de impressão horizontal com até 0,1 mm de espessura



Tomando como base os estudos feitos anteriormente, novas propostas foram criadas a partir de estudos biomiméticos, sketches e modelos em 3D, dessa vez com o intuito de serem implementadas de no dispositivo vestível e de proporcionar a sensação de movimentos orgânicos e naturais. Após diversos testes, foram selecionados dois mecanismos para a implementação no Hifa Cinesis: Dispositivo de Movimento Expansivo e Radial por Hastes Flexíveis, apelidado de “Dispositivo Aranha” (Figura 7) e o Dispositivo de Movimento Vertical por Hastes Flexíveis, apelidado de

“Dispositivo Ponte” (Figura 9).

O Dispositivo Aranha possui uma área central mais resistente com um caminho interno apropriado para a passagem de linhas de barbante e náilon, e possui hastes flexíveis, as quais possuem praticamente o mesmo conceito aplicado na peça de prova impressa em sentido horizontal apresentada anteriormente, posicionadas radialmente em relação ao centro do dispositivo conectado a esta área. O seu funcionamento se resume a uma linha que é conectada ao final das hastes flexíveis que, quando puxadas, flexionam as hastes criando um movimento de contração e expansão radial. Este mecanismo é implementado dentro de uma cavidade formada por tecidos impressos em TPU e simula um movimento muscular similar a um reflexo de contração ou de respiração de um ser vivo. Para a automatização deste mecanismo é necessário o uso de Arduino, sensores de proximidade e de servomotores adaptados com roldanas (Figura 8). Apesar do objetivo inicial de desenvolver mecanismos apenas com filamento de PLA, foi necessário usar filamentos de PETG para a impressão do Dispositivo Aranha por razões de resistência a fadiga necessárias e o longo tempo de funcionamento ininterrupto do mecanismo, características estas que o PLA não apresenta de forma eficiente.

O Dispositivo Ponte também conta com uma haste bem similar a peça de prova escolhida, porém possui uma área de atuação e uma intensidade de movimento diferente do dispositivo Aranha. A ponte conta com uma estrutura em MDF (para evitar atrito com a peça impressa e auxiliando a diminuir os ruídos de forma significativa) que possui um trilho onde a haste pode correr enquanto é puxada por um barbante ou uma linha de náilon atrás do dispositivo. Este mecanismo também proporciona um movimento de expansão, porém apenas no sentido vertical (figura 10). Esta é mais uma proposta que simula um movimento muscular similar a um reflexo de contração ou de respiração, mas foi desenvolvido com um tamanho reduzido e com o propósito de implementação em áreas mais estreitas do interior do dispositivo vestível. Para a automatização deste mecanismo, assim como no Dispositivo Aranha, é necessário o uso de sensores de proximidade e de motores adaptados com roldanas (Figura 10) conectados a um Arduino, sendo esta uma plataforma destinada à prototipagem eletrônica composta por elementos de hardware e software, permitindo, portanto, a concretização de variados projetos tecnológicos.

Figura 7 – Dispositivo de Movimento Expansivo e Radial por Hastes Flexíveis (Dispositivo Aranha)

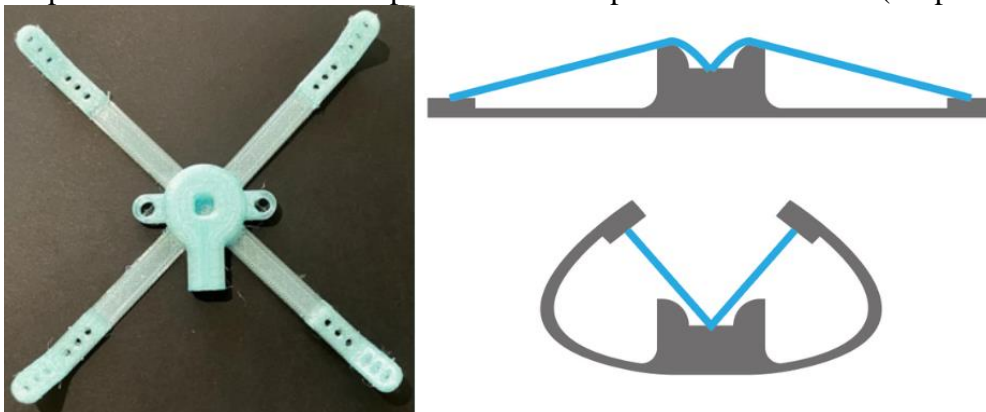




Figura 8 – Automação do Dispositivo Aranha

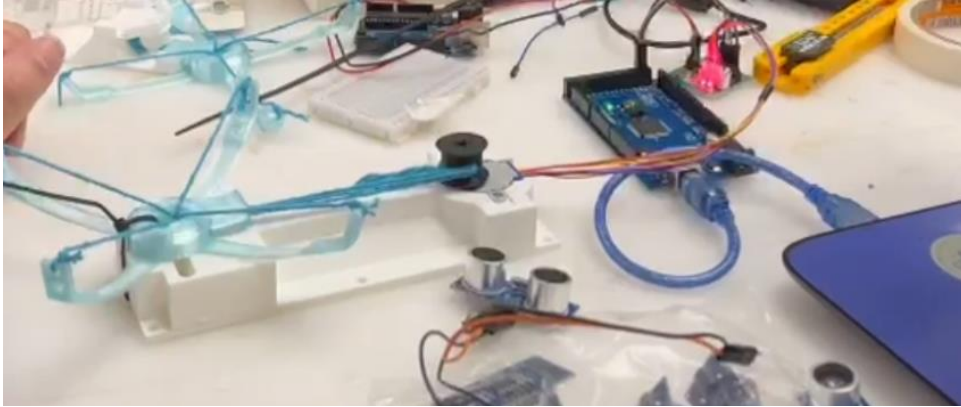


Figura 9 – Dispositivo de Movimento Vertical por Hastes Flexíveis (Dispositivo Ponte)

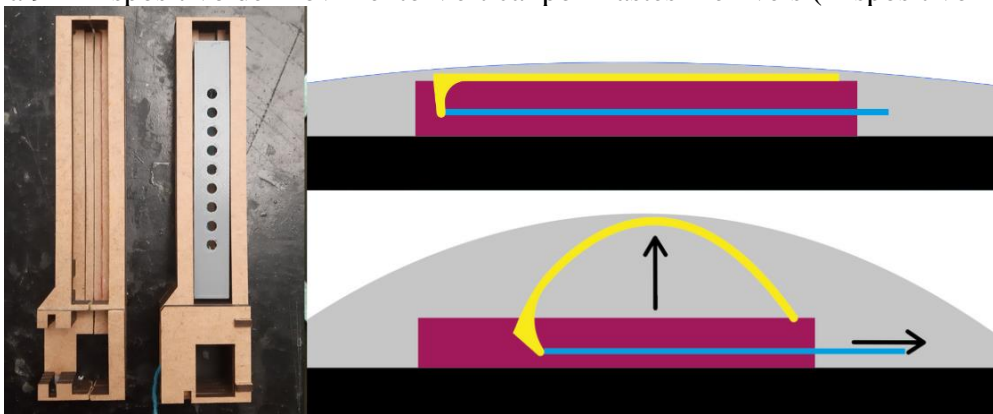


Figura 10 – Automação do Dispositivo Ponte

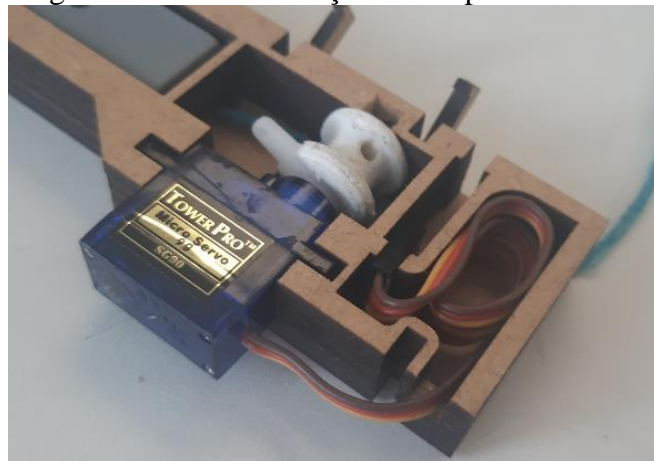


Figura 11 – Apresentação do Hifa Cinesis em Brasília em 2023 (1)



Figura 12 – Apresentação do Hifa Cinesis em Brasília em 2023 (2)



## Conclusões

Mediante a realização de pesquisas abrangentes, análises aprofundadas e a elaboração de protótipos físicos nas instalações do campus do Instituto Mauá de Tecnologia, foi possível conceber propostas de mecanismos com notável potencial para representar de maneira eficaz os movimentos e articulações orgânicas, caracterizando-se pela sua compacidade e leveza. A partir dos estudos e mecanismos propostos, novas versões do Hifa Cinesis serão desenvolvidas e ainda terá aplicações em conceitos mais diversos no design e em outras áreas. Esses mecanismos, além de serem concebidos para atender às exigências específicas do projeto Hifa Cinesis, foram projetados de maneira versátil, com a intenção de atender a uma variedade de propósitos em futuros projetos relacionados a inúmeras áreas do design.



## Referências Bibliográficas

- BENYUS, J. M. Biomimética: inovação inspirada pela natureza. São Paulo: editora Cultrix, 2003
- CARVALHO, AGDA et al. Design de wearable: interatividade e sistemas complexos In: Anais do IX Simpósio Internacional de Inovação em Mídias Interativas. ISSN 2238-0272 -Anais do 21o. Encontro Internacional de Arte e Tecnologia. 9th. Balance-Unbalance. ENTROPÍAS 2022.
- ROCHA, Cleomar; VENTURELLI, Suzete; CRUZ, Daniel; Dal Farra, Ricardo (Orgs). Santiago, Chile: Universidad de Chile; Media Lab / BR, 2022 p.209 - 231.
- \_\_\_\_\_; PARAGUAI, L. A-thing: body-animal, body-device, body-thing. ARS (São Paulo). v.13, p.63 - 71, 2015.
- DUNNE, A; RABY, F. Speculative Everything. Design, Fiction, and Social Dreaming. MIT Press. 2013.
- FRAILE, Marcelo Alejandro et al. BIOMIMESIS. EL CAMINO HACIA UN DISEÑO EFICIENTE compilado por Marcelo Fraile Narvaez; editado por Marcelo Fraile Narvaez. - 1a ed compendiada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Marcelo Alejandro Fraile, 2019.