

## PRÁTICAS PROJETAIS TRANSDISCIPLINARES ENTRE DESIGN E BIOLOGIA: METODOLOGIA PRÁTICA PARA O ENSINO DE BIÔNICA

### *TRANSDISCIPLINARY PROJECT PRACTICES BETWEEN DESIGN AND BIOLOGY: PRACTICAL METHODOLOGY FOR THE TEACHING OF BIONICS*

Felipe Luis Palombini <sup>1</sup>

Mariana Kuhl Cidade <sup>2</sup>

Daniela Ailin Magris <sup>3</sup>

João Victor Setti Ghedini <sup>4</sup>

#### Resumo

A biônica é uma atividade de pesquisa e desenvolvimento que consiste na aplicação de uma característica de um elemento da natureza em um projeto, podendo ser desde estrutural, funcional até estético. Essencialmente, é baseada na interpretação do atributo natural, na análise de como ele produz o efeito desejado, e na aplicação do mesmo na resolução de um problema. Para isso são necessárias equipes com diferentes formações, além de técnicas para investigação. Contudo, não necessariamente são requeridos equipamentos sofisticados, o que poderia limitar a implementação em centros de ensino. Este artigo pretende apresentar uma metodologia simplificada para o ensino de biônica, mostrando que uma infraestrutura mais simplificada também pode contribuir para o desenvolvimento de projetos bioinspirados. Além da descrição da metodologia são apresentados estudos de caso desenvolvidos sem a necessidade de técnicas avançadas de observação e análise, evidenciando que práticas projetuais inovadoras podem ser seguidas por meio de processos criativos e da união de diferentes áreas de formação.

**Palavras-chave:** biomimética; biomimetismo; projeto; educação; formação.

#### Abstract

Bionics is a research and development activity that consists of applying a characteristic of a nature element in a project, which can be structural, functional, and aesthetic. Essentially, it is based on the interpretation of the natural attribute, on the analysis of how it generates the desired effect, and on its application in problem solving. Thereto, teams with different backgrounds are needed, as well as techniques for investigation. However, sophisticated equipment is not necessarily required, which could limit the implementation in teaching centers. This paper intends to present a simplified methodology for the teaching of bionics, showing that a more simplified infrastructure can also contribute to the development of bioinspired projects. In addition to the description of the methodology, case studies developed without the need for advanced observation and analysis techniques are presented, showing that innovative design practices can be followed through creative processes and the union of different training areas.

**Keywords:** biomimetics; biomimicry; project; education; training.

---

<sup>1</sup> Doutor em Design, UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, RS, Brasil. felipe.l.palombini@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2112-6695

<sup>2</sup> Professora Doutora, UFSM – Departamento de Desenho Industrial, Santa Maria, RS, Brasil. mariana.cidade@ufsm.br; ORCID: 0000-0001-5893-383X

<sup>3</sup> Acadêmica de Diseño Industrial, FAUD/UNC – Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. danielamagris@hotmail.com; ORCID: 0000-0003-0021-2866

<sup>4</sup> Acadêmico de Desenho Industrial, UFSM – Departamento de Desenho Industrial, Santa Maria, RS, Brasil. joao.setti@live.com; ORCID:

## 1. Introdução

A biônica é um ramo do desenvolvimento de projetos em que a natureza é utilizada como base e fonte de inspiração para a obtenção de soluções técnicas, no que tange aspectos estéticos, formais, estruturais e funcionais (CIDADE; PALOMBINI; KINDLEIN JÚNIOR, 2015; KINDLEIN JÚNIOR; GUANABARA, 2005). Em suas origens voltadas para aplicações em projetos militares, principalmente marcada pelo desenvolvimento do sonar, a biônica também pode ser definida como “o estudo de sistemas vivos e semelhantes com o objetivo de descobrir novos princípios, técnicas e processos a serem aplicados na tecnologia feita pelo homem” (VON GIERKE; LAUSCHNER, 1970, p. 13). Uma vez estudadas e fundamentadas, as características naturais podem possuir diversas aplicações, sendo principalmente empregadas em projetos de design, arquitetura e engenharia (KINDLEIN JÚNIOR; GUANABARA, 2005).

Um dos precursores deste ramo de desenvolvimento foi o então Major da Divisão Aeroespacial da Força Aérea dos EUA, Jack Ellwood Steele, o qual cunhou o termo “biônica” (*bionics*), em 1958, através do termo em grego *βίος*, de “vida”, e o sufixo *ικός*, como “relativo à”, com o objetivo de promovê-la como uma nova ciência (HALACY, 1965). A mesma etimologia também é encontrada, por exemplo, em palavras como “mecânica” (relativo à máquina), “matemática” (relativo ao aprendizado), “dinâmica” (relativo ao poder), “estética” (relativo à percepção dos sentidos); além, é claro, do termo similar “biomimética”, que pode ser interpretado como aquilo que é “relativo à imitação da vida”, o qual foi proposto pelo polímata Otto Herbert Schmitt, também no final dos anos 1950 (VINCENT *et al.*, 2006). Schmitt afirmou que tanto biônica quanto biomimética possui como “interesse comum examinar a fenomenologia biológica na esperança de se obter *insights* e inspirações para o desenvolvimento de sistemas físicos ou biofísicos compostos à imagem da vida” (HARKNESS, 2002). Desse modo, tem-se que apesar de duas nomenclaturas mais popularizadas, ambas tendem a representar os mesmos objetivos de unir análises técnicas de elementos naturais para a sua aplicação por meio de múltiplas tecnologias para resultados inovadores (PALOMBINI *et al.*, 2017, 2018a, 2020). A partir desse ponto destaca-se a realização de diferentes eventos científicos que buscavam divulgar estas novas áreas de investigação, como o primeiro Simpósio de Biônica, em Dayton (Ohio, EUA) em 1960, com o título de “*Living Prototypes – the Key to New Technology*”, ou Protótipos Vivos – a Chave para Nova Tecnologia (GIERKE, 1970).

Como essência do desenvolvimento de projetos embasados na natureza, Roth (1983) ressalta que a biônica é fundamentalmente uma área interdisciplinar, por combinar ciências biológicas com ciências de projeto. Uma vez que a biônica depende da correta compreensão das características naturais das quais se desejam aplicar em projetos, torna-se de grande importância a participação ativa de profissionais de múltiplas áreas em uma pesquisa (PALOMBINI *et al.*, 2021). Esta prática de vinculação de múltiplas áreas é bastante abordada nos conceitos do STEAM do inglês *Science, Technology, Engineering, Arts e Mathematics* (ou ciência, tecnologia, engenharia, arte e matemática), com maior expressão a partir dos anos 1990 e 2000 (HALLINEN, 2019). A prática do STEAM propõe uma integração transdisciplinar, *i.e.* quando o conhecimento é tratado de modo holístico, reconhecendo diferentes pontos de vista de múltiplas grandes áreas do conhecimento, além de ser considerada fundamental para o atual cenário de pesquisa e formação de alunos em cursos superiores e pós-graduação em Design no país (KINDLEIN JUNIOR; BRESSAN; PALOMBINI, 2021; PALOMBINI *et al.*, 2018b).

Apesar de terem uma fundamental importância na realização de estudos na área de biônica, as tecnologias de observação de amostras não necessariamente precisam ser empregadas sempre em seu estado da arte, como em análises tridimensionais de alta resolução e ensaios *in silico* (NOGUEIRA *et al.*, 2019). A exemplo, é possível encontrar desde microscopias de luz para

estudos de superfície de madeira para aplicação em design de superfície (PALOMBINI *et al.*, 2021), microscopia eletrônica de varredura em amostras de bambu para utilização como bioinspiração no desenvolvimento de peças de joalheria (CIDADE; PALOMBINI; KINDLEIN JÚNIOR, 2015), até uso de técnicas avançadas de microtomografia computadorizada de raios X combinada com análises por elementos finitos para o desenvolvimento de estruturas biônicas baseadas na anatomia do bambu (PALOMBINI; MARIATH; OLIVEIRA, 2020). Contudo, como etapa essencial, tem-se a necessidade de se contar com especialistas de áreas de ciências biológicas para a correta interpretação das imagens observadas de modo que possam ser aplicadas de maneira adequada em projetos (PALOMBINI, 2020; ROTH, 1983).

Apesar de ser encontrada uma variedade de trabalhos seguindo os princípios essenciais de biônica, em diferentes áreas de projeto, nota-se a necessidade de mostrar uma simplificação e esquematização dos passos do processo – desde a observação de uma determinada amostra até o desenvolvimento da solução projetual correspondente – para fins didáticos na formação do ensino superior em Design, evidenciando que não são necessários exclusivamente equipamentos sofisticados de investigação e análise. Principalmente, além disso, tem-se a necessidade de promover a integração de alunos de cursos de ciências sociais aplicadas em ambientes diferenciados e estimulantes, aos quais a prática de Biônica pode propiciar um contato com laboratórios especializados de ciências biológicas. Desse modo, este trabalho pretende apresentar uma proposta metodológica para o estudo de Biônica em cursos de Design, além de descrever exemplos de estudos de casos sobre práticas projetuais realizadas na disciplina de Biônica no curso de Desenho Industrial da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

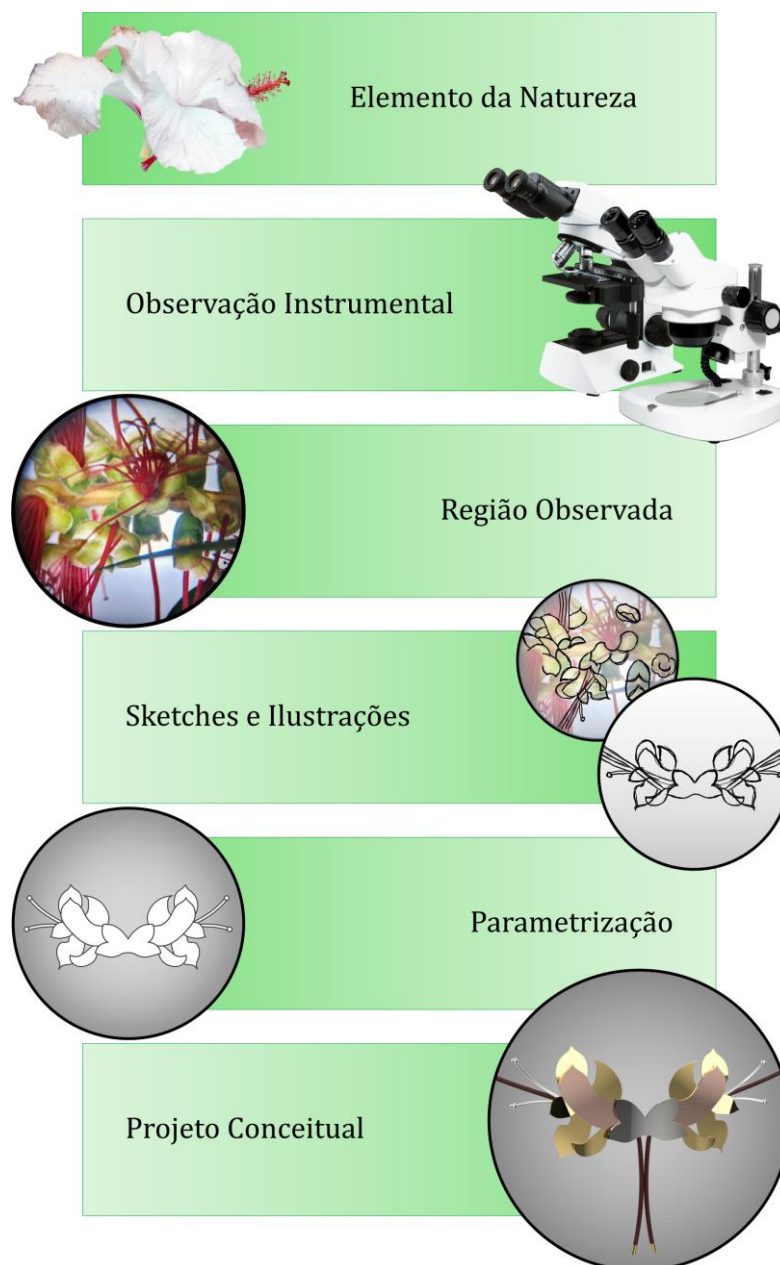
## 2. Metodologia Didática Para Estudo de Biônica

O processo de desenvolvimento de um projeto bioinspirado em um elemento natural consiste em algumas etapas principais, as quais podem ser simplificadas com o propósito de exemplificá-las com foco em um processo didático. Tomando como base os princípios fundamentais apresentados por Kindlein Júnior e Guanabara (2005), o projeto de biônica inicia-se sendo dividido entre dois procedimentos, de acordo com a situação na qual o profissional se encontra. O primeiro parte de um requisito de projeto para o qual o projetista procura uma solução na natureza. Neste caso, a necessidade do projeto é que irá guiar a busca por uma característica biológica. Já o segundo procedimento ocorre quando o projetista investiga alguma determinada característica natural e deseja adaptá-la para uma solução de projeto. Nesta situação, a característica observada não necessariamente já possui uma solução-alvo em mente, cabendo ao projetista a tarefa de encontrar um modo de como aplicá-la. Para fins de exemplificação, a presente descrição da metodologia seguirá o segundo procedimento; contudo, é importante destacar que a mesma também é aplicável ao primeiro caso, partindo de uma necessidade de projeto, conforme será apresentado no primeiro estudo de caso do tópico 3.

Para ilustrar as etapas propostas de uma metodologia para ensino e estudo de Biônica, a Figura 1 apresenta um fluxograma básico dos processos seguidos. Desse modo, a atividade instrucional pode iniciar-se com a escolha de um material natural o qual será investigado inicialmente quanto a fontes de informações, podendo ser em bibliografia, centros de pesquisa ou com profissionais especializados. Partindo de uma necessidade de projeto na busca por uma solução ou de uma curiosidade do estudante em investigar um determinado atributo natural, esta etapa é importante para se ter uma ideia melhor sobre o objeto que será futuramente observado e analisado. Em seguida, conforme aponta a metodologia de projeto de Kindlein Júnior e Guanabara (2005), para a avaliação de princípios que possam ser explorados em aplicações futuras, tais como formas, estruturas, funções, além de estimular as concepções criativas,

parte-se para as etapas de seleção de amostra, que podem ser realizadas tanto em centros de pesquisas quanto em campo. Como exemplo, no fluxograma foi selecionada uma amostra de flor de *Hibiscus spp.*, coletada no município de Santa Maria – RS.

**Figura 1: Etapas de metodologia didática para estudo de Biônica, com exemplo de aplicação em um projeto conceitual de um pingente bioinspirado em *Hibiscus spp.***



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Em seguida, são realizadas as etapas de observação instrumental nas amostras selecionadas. Kindlein Júnior e Guanabara (2005) comentam que o projetista/pesquisador em biônica deve selecionar o meio de análise e visualização da amostra que melhor cumpra as necessidades desejadas com o projeto, devendo ser seguidas conforme sua complexidade. Desde a observa-

ção à vista desarmada, a macrofotografia e microscopia de luz, até técnicas mais sofisticadas, como microscopia eletrônica de varredura e transmissão, microscopia de força atômica, tomografia e microtomografia computadorizadas de raios X, entre outras (FAGUNDES *et al.*, 2020; PALOMBINI *et al.*, 2021), o pesquisador/projetista deve adaptá-las de acordo com suas necessidades e disponibilidades. No caso da prática didática é interessante a busca por instalações com equipamentos que permitam um nível superior de magnificação do que é encontrado por vista desarmada ou macrofotografia, quando possível. Além de uma boa compreensão das características biológicas buscadas, abstratamente isso estimula a criatividade de alunos de cursos com enfoque projetual, como design e arquitetura, em virtude de oferecer imagens com detalhes ricos e muitas vezes inesperados sobre o objeto em questão.

Com a seleção das amostras coletadas por alunos e da identificação de alguma instalação que possua equipamentos de observação disponíveis, como centros e salas de microscopias encontradas em departamentos de ciências biológicas, cada estudante pode desenvolver sua biblioteca de imagens adquiridas. Com as imagens correspondentes às regiões observadas, parte-se para a etapa de *sketches* e ilustrações. Neste processo, desenhos rápidos são feitos tanto para destacar determinadas geometrias e arranjos das regiões observadas, quanto para esboçar as primeiras aplicações do projeto a ser desenvolvido. Ainda nesta etapa diferentes técnicas criativas podem ser adaptadas e aplicadas para se selecionar formas, cores e texturas.

Uma vez realizados os esboços de como se dará a aplicação das características do elemento natural no projeto, parte-se para a etapa da parametrização. Segundo Kindlein Júnior e Guanabara (2005), esta etapa corresponde à simplificação das formas dos detalhes de interesse das ilustrações obtidas da amostra. Essencialmente tem-se o requerimento de que a ilustração deve ser bem delineada, preferencialmente de maneira vetorial, para que suas características possam ser replicadas, ampliadas e/ou reduzidas, sem perda de informação. Com o auxílio de *softwares CAD (computer-aided design)* de modelagem ou ilustração vetorial, é possível a realização de um esquema que contemple todas as características paramétricas do modelo criado, para ser posteriormente levado às demais etapas do processo projetual.

Na ilustração apresentada na Figura 1, são seguidos os passos gerais para aplicação da metodologia de estudo em Biônica de modo a ser seguida por estudantes de cursos com caráter projetual. Como visto, as características a serem extraídas do elemento natural observado podem ser tanto funcionais, como estruturais e estéticas. No exemplo, é apresentado o desenvolvimento de um pingente conceitual baseado em detalhes dos estames e estigmas de *Hibiscus spp.* aproveitando-se de atributos estéticos da flor. Para exemplificar, o processo foi apresentado até a etapa de elaboração do projeto conceitual, em que a peça de joalheria é mostrada por meio de renderizações contendo as peças componentes já definidas em termos de dimensões reais, seleção de materiais (diferentes ligas metálicas), processos de fabricação (fundição, laminação) e acabamento (polimento). Desse modo, a peça conceitual pode se encontrar pronta para as etapas de materialização por técnicas de manufatura apropriadas.

### 3. Práticas Projetuais de Biônica

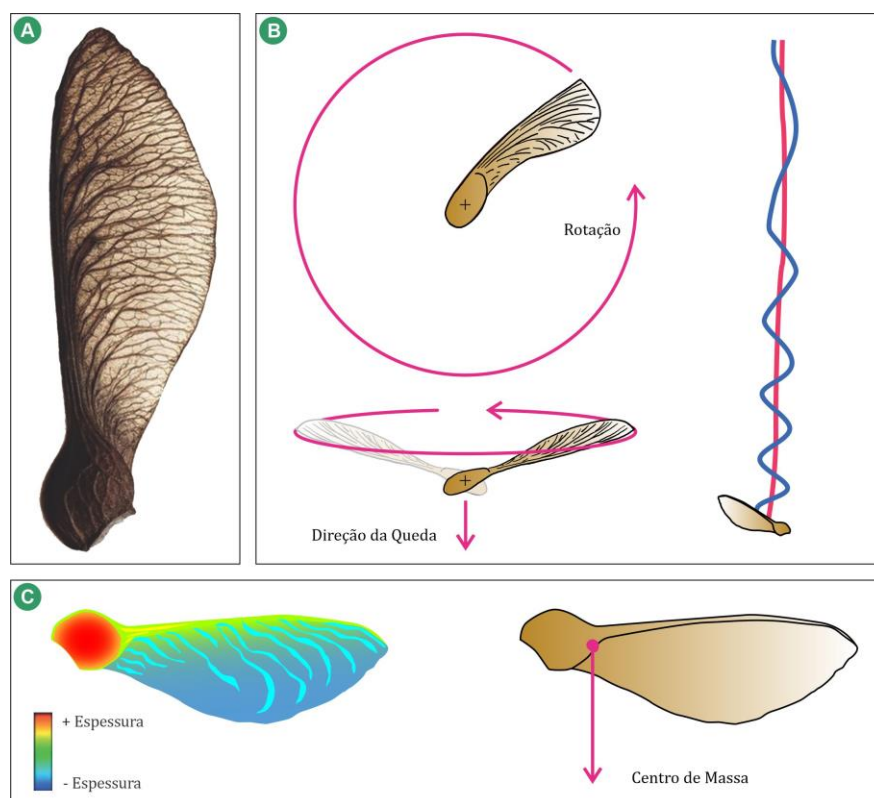
A fim de exemplificar a abordagem metodológica aplicada no estudo de Biônica, alguns trabalhos desenvolvidos podem ser apresentados. Os projetos foram conduzidos na disciplina de Biônica no curso de Desenho Industrial da Universidade Federal de Santa Maria (DI/UFSM), realizados em colaboração com o Laboratório de Botânica Estrutural (LABOTE/UFSM) do Departamento de Biologia. Conforme seguido inicialmente pela metodologia, o primeiro estudo de caso

segue a partir de uma necessidade de projeto, e o segundo a partir de uma aplicação de característica encontrada.

### 3.1. Porta-chaves Inspirado em Fruto de Bordo

Este trabalho desenvolvido parte de uma necessidade de projeto antiga, porém recentemente renovada e intensificada, relacionada a um porta-chaves que possa ser arremessado de andares superiores de casas e edifícios quando o usuário encontra-se impossibilitado de se conduzir presencialmente até a entrada. Essa sempre foi uma questão importante de acessibilidade para idosos, acamados ou pessoas com dificuldades locomotoras, contudo com a recente fase de isolamento social derivado da pandemia de COVID-19, esta situação acabou por aumentar, tornando-se uma prática cada vez mais usual para evitar o contato com outras pessoas. A principal dificuldade encontra-se na capacidade de proteger o objeto de danos da queda ao ser arremessado, principalmente considerando andares mais altos, além de controlar com maior precisão o direcionamento do local da queda, evitando, também, atingir pessoas e locais indesejados. Seguindo a metodologia didática proposta, inicialmente foram pesquisadas alternativas de elementos na natureza que funcionem de modo a evitar quedas bruscas, que possam contribuir para as necessidades do projeto. A partir de uma pesquisa realizada, foi limitada a busca por frutos dispersados pelo vento (Figura 2), os quais naturalmente dependem de uma desaceleração e estabilidade durante a queda, para serem transportados a locais diferentes dos de origem.

Figura 2: Fruto do bordo utilizado como bioinspiração: (A) amostra do fruto de *Acer spp.*; (B) sistema de rotacionamento do fruto para estabilização e desaceleração durante a queda; (C) identificação de região mais espessa e com maior centro de massa.

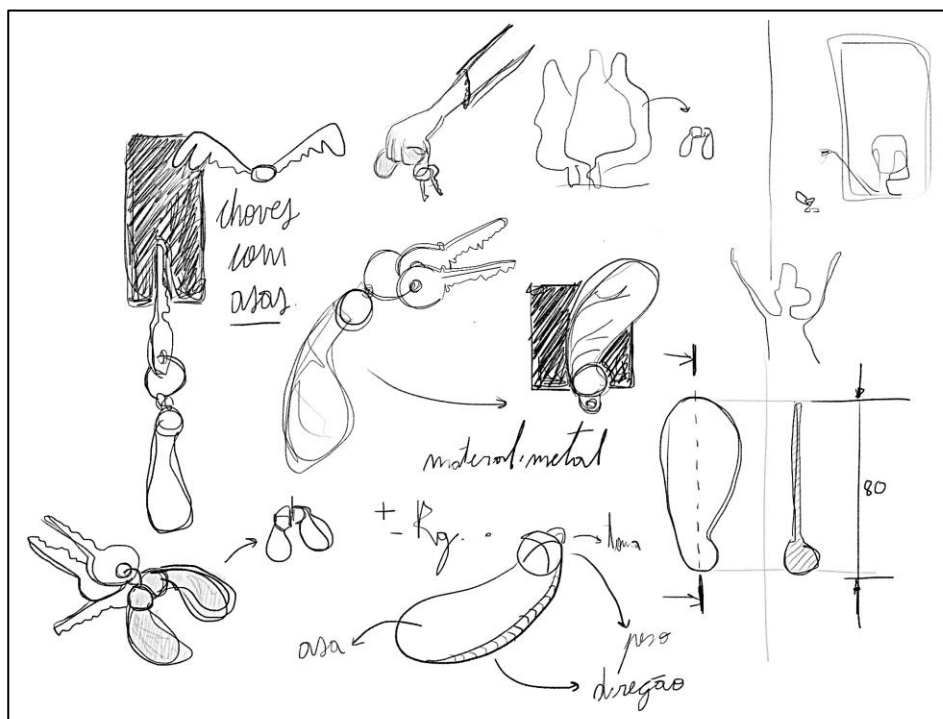


Fonte: Elaborado pelos Autores.

Em uma busca por parques na cidade de Santa Maria – RS, foi coletada uma amostra (Figura 2 A) de um fruto de bordo (*Acer spp.*, Sapindaceae). Em uma configuração conhecida por sâmara, o fruto, quando maduro, é disperso separado em duas partes, cada uma com uma semente e possuindo externamente uma forma de asa (EVERT; EICHHORN, 2014). Essa estrutura, que contém uma longa ala, é responsável por rotacionar o fruto e estabilizá-lo durante a queda. Mecanicamente (Figura 2 B), esse maior equilíbrio ocorre devido a dois fatores principais: (i) a uma concentração do centro de massa na região mais grossa, que possui a semente, coincidindo com o centro de pressão – local em que as forças aerodinâmicas resultantes atuam na asa – durante a queda livre (Figura 2 C); (ii) à combinação do ângulo de ataque com o deslizamento lateral gerado pela lâmina curva da asa do fruto (LEE; CHOI, 2017; NIKLAS, 1992).

Acompanhando a metodologia, a partir da amostra coletada, deve-se partir para meios de estudá-la através de observações. Devido ao tamanho da amostra, na casa de centímetros, a mesma foi analisada com fotografia macro e à vista desarmada, sendo estes meios escolhidos como mais adequados dada a necessidade, conforme previsto pelos métodos propostos. Em seguida, foram realizadas ilustrações para definição das geometrias e da funcionalidade do produto (Figura 3). Foi verificado que para que o mesmo funcione de maneira análoga à sua inspiração biológica original, era preciso que a chave – ou quaisquer objetos que se desejassem que fossem armazenados – fosse acondicionada dentro de um objeto externo maior. Desse modo, o centro de gravidade do produto, durante o uso, seria transferido para uma posição mais próxima à original do fruto, do mesmo modo que visto na Figura 2.

Figura 3: Ilustrações do processo criativo de desenvolvimento de porta-chaves bioinspirado.

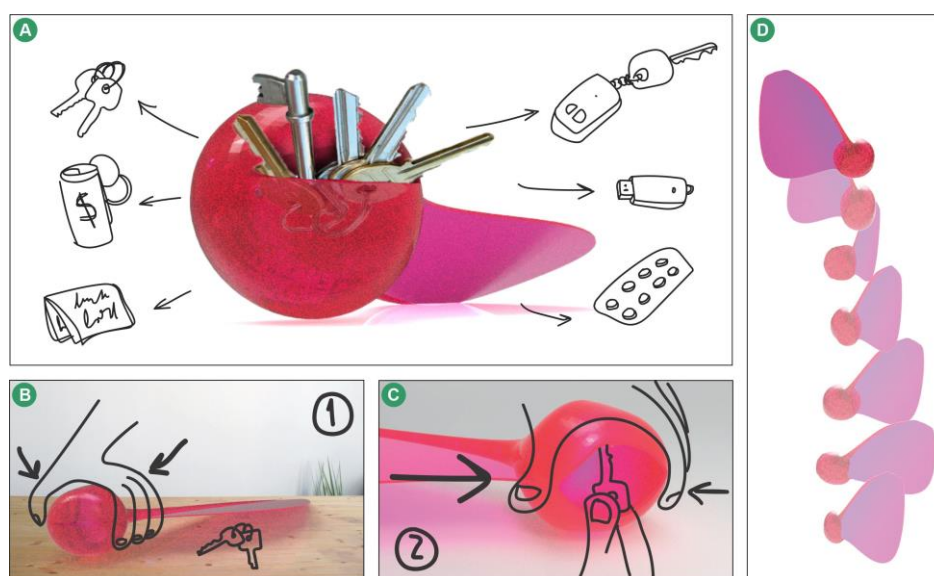


Fonte: Elaborado pelos Autores.

A partir das informações levantadas com o estudo e observação da amostra, bem como das ilustrações realizadas, as geometrias definidas foram parametrizadas e o projeto foi mode-

lado em 3D com o auxílio de um *software* CAD. Desse modo, a Figura 4 apresenta renderizações e aplicações do projeto conceitual de um porta-chaves bioinspirado no fruto de bordo (Figura 4 A), podendo ser manufaturado com um material maleável, elástico e resistente (como silicone), de modo a permitir a abertura de sua cavidade ao ser comprimida manualmente (Figura 4 B), para colocação do molho de chaves em seu interior (Figura 4 C). Destaca-se que o produto conceitual também pode permitir o acondicionamento de demais tipos de objetos, como dinheiro e moedas, cartões, medicamentos, papéis diversos, entre outros. O produto possibilita que seja arremessado, protegendo os objetos de seu interior, e tenha sua queda desacelerada por seu sistema de rotação (Figura 4 D), conforme sua inspiração original.

**Figura 4:** Projeto biônico conceitual de porta-chaves: (A) aplicação do produto; (B) manuseio para abertura da cavidade; (C) acondicionamento do objeto; (D) sistema de rotacionamento na queda.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Este projeto permitiu que não apenas as geometrias externas fossem utilizadas como inspiração no desenvolvimento do processo criativo, mas também sua funcionalidade essencial de estabilizar e reduzir a velocidade de queda livre mediante um sistema de rotação. Ressalta-se desse modo que, de acordo com a metodologia proposta, foram estudadas características técnicas sobre o elemento natural de inspiração, as quais foram fundamentais para correta interpretação dos mecanismos de funcionamento do fruto e a consequente adaptação para o projeto conceitual.

### 3.2. Luminária de Bancada Inspirada Em Besouro

O segundo estudo de caso desenvolvido na disciplina de Biônica seguindo a metodologia proposta diz respeito a um projeto de luminária conceitual bioinspirada em um besouro da família Passalidae (Figura 5). Diferentemente do estudo de caso anterior, em que um problema de projeto antecipou a busca por uma possível solução na natureza, neste caso, um grupo de insetos foi escolhido para observação com o objetivo de analisar sistemas de movimentação e articulação. Desse modo, uma amostra de besouro foi coletada e, devido às suas dimensões e os detalhes desejados para observação, maiores níveis de magnificação foram necessários. Para isso,



foram utilizados o microscópio estéreo com zoom, da marca Nova® Optical Systems, modelo XTS – 20 LBX, e o microscópio de luz transmitida, da marca Olympus®, modelo CX21, com diferentes objetivas, ambos localizados no Laboratório de Botânica Estrutural (LABOTE/UFMSM). A partir das fotomicrografias obtidas, ilustrações preliminares foram realizadas (Figura 5 B).

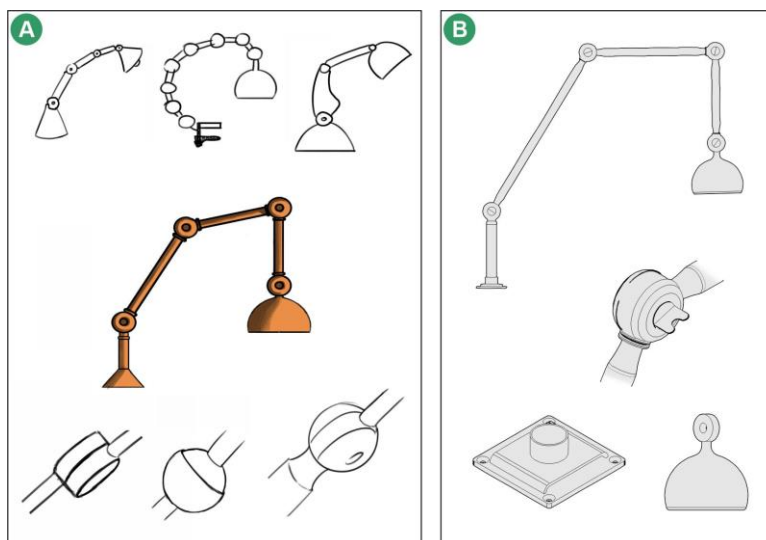
**Figura 5: Elemento natural utilizado no projeto: (A) besouro (Passalidae); (B) microscopias de luz da pata e antena do besouro, e ilustrações preliminares dos elementos avaliados.**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

A partir das visualizações por microscopia e das ilustrações realizadas, foi verificado que essencialmente as articulações do besouro possuem um sistema que permite com que as patas e antenas se recolham e se estendam, alcançando diferentes regiões. Com essa observação, o projeto foi focado para o desenvolvimento de luminárias de mesa, para ilustração e desenho instrumental, partindo-se para a geração de alternativas, conforme visualizado na Figura 6.

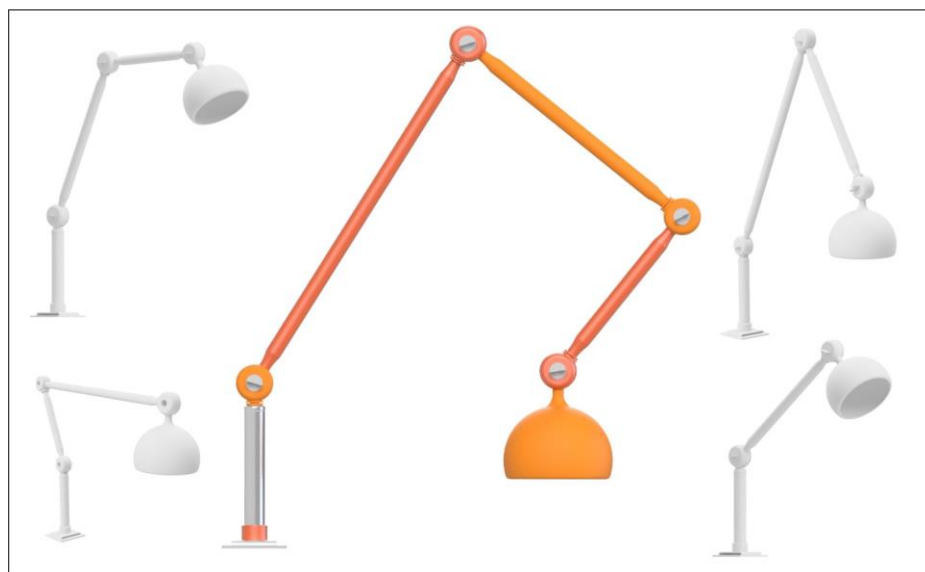
**Figura 6: Desenvolvimento da luminária baseada em besouro: (A) ilustrações preliminares para o corpo e elementos de conexão; (B) projeto parametrizado.**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Baseando-se nos detalhes encontrados das articulações do besouro observado, foram buscadas alternativas para composição do corpo, formado por partes cilíndricas, bem como dos elementos de conexão utilizados para uni-las (Figura 6 A). Seguindo as ilustrações, o projeto foi refinado até ser gerado os elementos que o compõe, sendo apresentada a parametrização do projeto (Figura 6 B). O principal conceito buscado no elemento natural observado foi sua capacidade de se adaptar, por meio de suas articulações, a atingir diferentes posições. Nesse sentido, foi pensado um sistema de luminária que pudesse ser personalizável, com uma composição de peças distintas, a fim de se adaptar às necessidades do usuário. Desse modo, seguindo a metodologia proposta, a Figura 7 apresenta uma visualização do projeto conceitual da luminária, realizado com um *software* CAD de modelagem 3D. É possível visualizar as diferentes configurações modulares que o usuário pode escolher e ajustar no produto, de acordo com suas necessidades. O elemento utilizado como bioinspiração auxiliou com relação nas suas propriedades de se adaptar a diferentes alcances, desde áreas pequenas para iluminação mais focada até superfícies maiores para uma luminosidade mais ampla.

**Figura 7: Projeto biônico conceitual de luminária, destacando as diferentes configurações que podem ser obtidas através de módulos com articulações.**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

#### 4. Considerações Finais

A biônica ou biomimética baseia-se na aplicação de características naturais em atividades projetuais, podendo tratar-se de atributos estéticos, funcionais, organizacionais, estruturais, entre outros. Como principal fundamento, desde suas primeiras idealizações conceituais, a biônica tem buscado uma integração de diferentes áreas do conhecimento para se conseguir obter informações essenciais sobre características de elementos naturais e como empregá-las em soluções projetuais. Desse modo, torna-se essencial que o desenvolvimento de projetos bioinspirados seja realizado com equipes multidisciplinares, com competências que vão desde as áreas biológicas, para entendimento do elemento fonte de inspiração, passando pelas áreas técnicas, para analisar como tal atributo produz o efeito desejado, até as áreas criativas, para aplicá-lo efetivamente em um projeto.

Apesar de possuir um grande potencial para integração de áreas, projetos baseados em biônica e biomimética frequentemente são associados com técnicas caras e pouco disponíveis de observação e análise, o que acabaria por dificultar o acesso a esta que é uma das principais etapas no desenvolvimento de um projeto bioinspirado. É evidente que equipamentos mais sofisticados, em seu estado da arte, são sempre interessantes de serem empregados no momento de investigação do elemento natural, entretanto eles não podem ser vistos como um fator limitante e restritivo na pesquisa em biônica. Nesse sentido, é interessante apresentar uma metodologia didática simplificada que possa ser não apenas atrativa, mas acessível a centros de ensino que não disponham de uma infraestrutura tão avançada.

Um fator de grande importância para o ensino de biônica diz respeito ao estímulo ao aluno em descobrir novos materiais, técnicas, equipamentos e processos de criação. De modo geral, nota-se uma tendência nos alunos de uma inércia didática, em que é mantida uma via única de transmissão de conhecimento e execução das tarefas propostas. Cabe aos docentes proporcionar ao aluno, por meio da biônica, um lado mais investigativo, observador e curioso, ao buscar e selecionar seus elementos naturais, não apenas em bibliografias especializadas, mas em ambientes variados internos e externos, como parques, ruas, entre outros. A base da biônica é encontrar no meio ambiente a inspiração para projetos, assim é também essencial a presença do aluno em meios diversos, uma vez que a “solução” projetual desejada muitas vezes pode ser encontrada de maneiras e em locais inesperados.

Outro ponto fundamental de ser comentado é a dificuldade que determinados alunos possuem quanto a se expressarem criativamente, mesmo em cursos com enfoque projetual. A obtenção de soluções puramente técnicas para problemas apresentados não necessariamente se aplica a projetos de biônica, em que características estéticas e simbólicas são igualmente importantes. Nesse sentido, outra aplicação de técnicas de instrumentação diferentes, como microscopias, é propiciar novas formas de observar elementos naturais antes considerados triviais. Com magnificações maiores, desenvolvem-se novos olhares que podem estimular a parte abstrata da criação, revelando cores, geometrias, texturas e padrões únicos, podendo ser aplicados em objetos decorativos em diversos campos do projeto, como joias, design gráfico, utensílios, design de superfície, mobiliário, entre outros.

Nos estudos de caso apresentados foram empregados equipamentos de microscopia de luz, que são considerados essenciais em centros de pesquisa e ensino nas áreas de ciências biológicas e, portanto, facilmente encontrados nestes locais, além da própria observação por vista desarmada. Portanto, cabe destacar que o principal requisito para execução de um projeto de biônica e biomimética é a capacidade de desenvolvimento criativo e solução projetual. Da mesma forma, em um projeto bioinspirado a busca por informações mais aprofundadas sobre um determinado elemento da natureza necessita do apoio de profissionais especializados, reforçando, assim, a importância de se trabalhar com equipes multidisciplinares, o que enriquece um projeto e abre caminho para futuras investigações.

### **Agradecimentos**

Ao Prof. Dr. João Marcelo Santos de Oliveira, do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e do Laboratório de Botânica Estrutural (LABOTE), pela disponibilização da sala de microscopia e assistência para atividade prática dos alunos.

## Referências

- CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L.; KINDLEIN JÚNIOR, W. Biônica como processo criativo : microestrutura do bambu como metáfora gráfica no design de joias contemporâneas. **Revista Educação Gráfica**, v. 19, n. 1, p. 91–103, 2015.
- EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven : Biologia vegetal**. 8ª Edição ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- FAGUNDES, H. A. V.; KINDLEIN JUNIOR, W.; SILVA, E. S. A. DA; BRESSAN, F.; PALOMBINI, F. L. Superfícies bioinspiradas: estudo de caso para aplicações em painéis para fachadas de edifícios. **Educação Gráfica (UNESP Bauru)**, v. 24, n. 3, p. 161–179, 2020.
- GIERKE, H. E. VON. Bionics and Bioengineering in Aerospace Research. In: OESTREICHER, H. L.; VON GIERKE, H. E.; KEIDEL, W. D. (Eds.). **Principles and Practice of Bionics**. Slough, England: TechnivisionServices, 1970. p. 19–42.
- HALACY, D. S. **Bionics : the science of “living” machines**. New York: Holiday House, 1965.
- HALLINEN, J. **STEM**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/topic/STEM-education>>. Acesso em: 16 out. 2020.
- HARKNESS, J. M. In Appreciation - A Lifetime of Connections: Otto Herbert Schmitt, 1913 - 1998. **Physics in Perspective (PIP)**, v. 4, n. 4, p. 456–490, 1 dez. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/s000160200005>
- KINDLEIN JUNIOR, W.; BRESSAN, F.; PALOMBINI, F. L. A importância do STEAM frente aos desafios da formação do ensino superior e da pesquisa multidimensional em Design. **Estudos em Design**, v. 29, n. 1, 30 abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.35522/eed.v29i1.1152>
- KINDLEIN JÚNIOR, W.; GUANABARA, A. S. Methodology for product design based on the study of bionics. **Materials & Design**, v. 26, n. 2, p. 149–155, abr. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.05.009>
- LEE, I.; CHOI, H. Flight of a falling maple seed. **Physical Review Fluids**, v. 2, n. 9, p. 090511, 29 set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevFluids.2.090511>
- NIKLAS, K. J. **Plant biomechanics : an engineering approach to plant form and function**. Chicago, EUA: University of Chicago Press, 1992.
- NOGUEIRA, F. M.; PALOMBINI, F. L.; KUHN, S. A.; OLIVEIRA, B. F.; MARIATH, J. E. A. Heat transfer in the tank-inflorescence of *Nidularium innocentii* (Bromeliaceae): Experimental and finite element analysis based on X-ray microtomography. **Micron**, v. 124, p. 102714, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micron.2019.102714>
- PALOMBINI, F. L.; KINDLEIN JÚNIOR, W.; SILVA, F. P. DA; MARIATH, J. E. DE A. Design, biônica e novos paradigmas: uso de tecnologias 3D para análise e caracterização aplicadas em anatomia vegetal. **Design e Tecnologia**, v. 7, n. 13, p. 46, 30 jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.23972/det2017iss13pp46-56>
- PALOMBINI, F. L.; KINDLEIN JUNIOR, W.; OLIVEIRA, B. F. DE; MARIATH, J. E. DE A. Materiais e

Biônica: sob a Ótica da Análise de Elementos Finitos Baseada em Imagens de Microtomografia de Raios X. In: ARRUDA, A. J. V. (Ed.). **Métodos e Processos em Biônica e Biomimética: a Revolução Tecnológica pela Natureza**. São Paulo: Editora Blucher, 2018a. p. 245–260. DOI: <https://doi.org/10.5151/9788580393491-15>

PALOMBINI, F. L.; LINDEN, J. C. DE S. VAN DER; MARIATH, J. E. DE A.; OLIVEIRA, B. F. DE. Design-Aided Science: o designer como promotor de tecnologias 3D para inovação em pesquisa científica. **Revista Educação Gráfica**, v. 22, n. 3, p. 169–186, 2018b.

PALOMBINI, F. L. **Diretrizes para pesquisas em materiais vegetais com análises por elementos finitos baseadas em microtomografia de raios X e implicações para projetos de biônica em design e engenharia**. 2020. 196 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

PALOMBINI, F. L.; PESTANO, V.; KINDLEIN JR., W.; DUARTE, L. DA C. Biônica e Seleção de Materiais Celulares para projetos de Design. **Design e Tecnologia**, v. 10, n. 20, p. 01–10, 30 jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.23972/det2020iss20pp01-10>

PALOMBINI, F. L.; CIDADE, M. K.; OLIVEIRA, B. F. DE; MARIATH, J. E. DE A. From light microscopy to X-ray microtomography: observation technologies in transdisciplinary approaches for bionic design and botany. **Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación**, 2021.

PALOMBINI, F. L.; MARIATH, J. E. DE A.; OLIVEIRA, B. F. DE. Bionic design of thin-walled structure based on the geometry of the vascular bundles of bamboo. **Thin-Walled Structures**, v. 155, p. 106936, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106936>

ROTH, R. R. The Foundation of Bionics. **Perspectives in Biology and Medicine**, v. 26, n. 2, p. 229–242, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1353/pbm.1983.0005>

VINCENT, J. F. .; BOGATYREVA, O. A.; BOGATYREV, N. R.; BOWYER, A.; PAHL, A.-K. Biomimetics: its practice and theory. **Journal of The Royal Society Interface**, v. 3, n. 9, p. 471–482, 22 ago. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127>

VON GIERKE, H. E.; LAUSCHNER, E. A. Foreword. In: OESTREICHER, H. L.; VON GIERKE, H. E.; KEIDEL, W. D. (Eds.). **Principles and Practice of Bionics**. Slough, England: TechnivisionServices, 1970. p. 13–14.