

**FUNDAMENTOS, TEORIAS E
ASPECTOS METODOLÓGICOS
DISCIPLINARES APLICADOS NA
BIÔNICA E BIOMIMÉTICA**

SOBRE OS AUTORES

Theska Laila de Freitas Soares | theskalaila7@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2719579568999255>

É doutoranda pelo (PPGD), mestra e graduada em Design pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE-BRA), possui especialização em Design de Produtos e Interiores pela parceria da FBV-BRA com o Instituto Europeo di Design (IED). É diretora de criação na empresa EDEN com experiência profissional em diversas áreas do Design, como: Gráfico, Moda, Embalagem, Webdesign, Interiores, Ergonomia, Biodesign e principalmente Design de Produto, foco no Design Industrial, tendo desenvolvido diversos produtos para a empresa Tramontina. Lecionou Design na Uninassau (Recife-BRA) e também foi professora substituta do departamento de Design da Universidade Federal de Pernambuco no Campus Agreste. Possui grande foco nas áreas de estudos da Biomimética e do Design Estratégico.

Amilton José Vieira de Arruda | arruda.amilton@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9138096051015150>

Graduação em Desenho Industrial – Projeto do produto pela UFPE (1982), Mestrado em Design e Biônica pelo IED de Milão (1992) e Doutorado em Ricerca in Disegno Industriale – Ph.D pela Universidade Politecnico de Milão (2002). Foi consultor internacional do Instituto Europeo de Design de Milão, na implantação de cursos de Pós-Graduação Lato Sensu Especialização em Fashion Design, Design de Interiores e Produto, Design Gráfico e Editorial, nas Faculdades Avila (Goiânia), Faculdade Boa Viagem (Recife), Instituto de Educação Superior de Brasília (DF). Desde 1985 professor do Curso de Design da UFPE. Atualmente é professor associado, docente do Programa de Pós – Graduação em Design PPGD da UFPE. Coordena o Grupo de Pesquisa em Biodesign e Artefatos Industriais do CNPq. Experiência na área de Desenho Industrial, com ênfase em Design e Biônica, atuando principalmente nos seguintes temas: Desenvolvimento de Produtos, Design Estratégico. Organizador junto com Editora Edgard Blucher da série DesignCONTEXTO – ensaios de design, cultura e tecnologia dos seguintes livros: Design e Complexidade; Design e Inovacao Social; Design, Artefatos e Sistemas Sustentaveis.



Fundamentos da Biônica e da Biomimética e Exemplos Aplicados no Laboratório de Biodesign na UFPE

Fundamentals of Bionics and Biomimicry and Examples Applied in the Laboratory of Biodesign at UFPE

Theska Laila de Freitas Soares | Amilton José Vieira de Arruda

Resumo

Observando como a natureza opera na criação das suas espécies, pode-se transpor este mesmo método no desenvolvimento de produtos, construções ou sistemas artificiais. Matéria-prima para o campo da Biomimética que estuda, dentre outras coisas, como os "critérios" observados nos seres vivos mais adaptados podem servir de base para o desenvolvimento de soluções mais eficientes. Através do método da Analogia, pode-se imitar características estruturais, formais, funcionais ou de interpretação abstrata da natureza para aplicação em artefatos artificiais. Este artigo visa demonstrar o Método de Pesquisa de Base das estruturas naturais aplicado pelo professor Amilton Arruda no Laboratório de Biodesign da UFPE/BRA, sob uma ótica acadêmica, descrevendo e apresentando algumas técnicas para essa interpretação do mundo natural através dos seguintes passos: Representação Fotográfica, Descrição Verbal, Esquematização (desenhos) e Modelos. Serão apresentados alguns exemplos de trabalhos de alunos com seus desenhos baseados na Analogia Morfológica. O resultado da aplicação deste método está na capacidade de se desenvolver e estimular a capacidade criativa dos alunos, já que os reinos animal, vegetal e mineral apresentam uma infinidade de formas, cores e texturas, que podem ser observadas, analisadas, representadas e potencialmente interpretadas em projetos de Design.

Palavras-chave: Design; Biomimética; Analogias; Metodologia

Abstract

By observing how nature operates in the creation of its species, one can transpose this same method in the development of artificial products, constructions, or systems. A raw material for the field of Biomimetics that studies, among other things, how the "criteria" observed in the most adapted living beings can serve as a basis for the development of more efficient solutions. Through the method of Analogy, one can imitate structural, formal, functional or abstract nature characteristics for application in artificial artifacts. This article aims to demonstrate the basic research method applied by Professor Amilton Arruda at the Biodesign Laboratory of UFPE/BRA, under an academic perspective, describing and presenting some techniques for this interpretation of the natural world through the following steps: Photographic Representation, Verbal Description, Layout (drawings) and Models. Some examples of works by students with their drawings based on Morphological Analogy will be presented. The result of the application of this method is in the capacity to develop and stimulate the creative capacity of the students, since the animal, vegetable and mineral kingdoms present an infinity of forms, colors and textures that can be observed, analyzed, represented and potentially interpreted in Design projects.

Keywords: Design; Biomimetics; Analogies; Methodology.

INTRODUÇÃO

Ao longo da complexa história da Humanidade é possível constatar a aplicação de soluções biológicas em diferentes períodos, e em diferentes áreas, tais como: na ciência, tecnologia, arquitetura, arte, design, engenharia, medicina, e outras mais, têm surgido a cada dia. Essa inspiração na natureza tem gerado uma série de invenções que possibilita um grande número de inovações e de recursos no decorrer do tempo.

Para se ter uma ideia do potencial de aprendizagem com essa multidão de organismos na natureza, Benyus (1997) relembra que basta observar os feitos incríveis de: algas bioluminescentes, que combinam substâncias para abastecer suas lanternas orgânicas; ursos polares que se protegem do frio através de uma camada de pelos transparentes que funcionam como as vidraças de uma estufa; abelhas, libélulas que excedem a capacidade de manobra dos melhores helicópteros; formigas que conseguem carregar o equivalente a centenas de quilos; beija-flores que cruzam o golfo do México com o equivalente a 3ml de combustível etc.

Embora todo este conhecimento tenha existido ao longo da evolução da vida na Terra, apenas uma pequena parcela disso tem sido aproveitada, existindo uma grande parte ainda desconhecida e negligenciada a ser desbravada. Através de um olhar atento às soluções da natureza, existem uma infinidade de bons exemplos de eco eficiência, através de organismos que constroem com o mínimo de desperdício de materiais e energia, e que ainda, coexistem em harmonia com a biosfera. Evidenciar esta nova forma de perceber a natureza é uma prática de uma ciência denominada Biomimética e é bem diferente da ideia de exploração a que geralmente o Homem a tem associado.

Com o passar dos séculos, muitos nomes utilizaram a natureza para investigação, o que resultou em acúmulo de conhecimento e aprimoramento de técnicas e métodos. Muitos estudos foram formulados demonstrando este processo de interpretação ou tradução de estruturas naturais aplicadas na fase de criação de artefatos. Um dos métodos mais utilizados das chamadas Biotécnicas (Biônica, Biomimética, Biodesign etc.) é o da Analogia, seja a Morfológica, Funcional ou Simbólica, todas apresentam diferentes maneiras de utilizar a natureza como inspiração, algumas delas inclusive serão mostradas a seguir, de maneira mais detalhada, através de investigações de alunos do laboratório de Biodesign na UFPE em Recife.

Biomimética: conceitos e definições

É importante esclarecer que existem outros termos que também relacionam a natureza com as criações humanas. Biônica, Biodesign e Biomimética são facilmente confundíveis, pois suas origens, conceitos, métodos e bases de investigação são realmente muito semelhantes, embora existam algumas diferenças.

Tentando traçar uma sequência história sobre a origem destes termos, pode-se começar por Fernandes (2012) que comenta que ambas as terminologias

derivaram da palavra europeia *Biotécnica* que apareceu como referência no livro datado de 1877 da autoria do Reverendo *John George Wood*, "*Nature's teaching's: Human Invention Anticipated by Nature*" e posteriormente em 1920 no livro de *Raul Francé*, "*Die Planze als Erfinder*" (As Plantas como Inventoras). Mais tarde a palavra sofreu uma derivação, surgindo o termo "*Bionics*" (**Biônica**) que se relaciona com a palavra "*Bio*" (vida) e "*onics*" de "*technologics*" (tecnologia).

Segundo Arruda (1993), esse termo foi oficialmente apresentado em 1960 num Simpósio nos Estados Unidos, promovido pelas forças aéreas, onde foi utilizado pelo engenheiro e major *Jack. E. Stelle* que o definiu como: "Ciência dos sistemas cujo funcionamento se baseia em sistemas naturais, ou que apresentam analogias com estes".

Arruda (1993) também apresenta as definições de outros autores para a palavra Biônica, são elas:

- *Maraldi* (1963) diz que a Biônica se propõe ao estudo e compreensão da estrutura, mecanismo e funções de plantas, de animais, do homem, a fim de desenvolver novas aplicações para mecanismos complexos e dispositivos variados; *Gerardin* (1968) fala que ela é a arte de aplicar em soluções de problemas técnicos o conhecimento que se possui dos seres vivos; *Mironov* (1970) explica que ela estuda o mecanismo da unidade vital para desenhar aplicações práticas; *Papanek* (1973) ratifica que se trata da ciência que estuda o emprego dos modelos biológicos para a produção de sistemas sintéticos criados pelo homem e também os princípios básicos da natureza para extrair destes aplicações e processos úteis ao ser humano e *Bonsiepe* (1975) expõe que ela estuda o sistema vivo para aplicação de seus princípios, técnicas e mecanismos na tecnologia, servindo principalmente para estimular a capacidade de perceber seus detalhes tridimensionais e os princípios formais que o estruturam, como também para incrementar a capacidade de transformação quando se examina e analisa um objeto análogo.
- *Broeck* (1989) explica sobre um novo termo, o *Biodesign*, cuja utilização é dita adequada por este autor quando **a Biônica é aplicada ao desenho industrial**, sendo mais coerente com a atividade de projetos. Neste sentido define-se *Biodesign* pelo estudo de sistemas e organismos naturais com o propósito de analisar e perceber soluções do tipo funcional, estrutural e formal, para aplicação em resolução de problemas humanos, através de criações tecnológicas, objetos ou sistemas de objetos.

Este autor apresenta ainda um resumo com as *duas atividades fundamentais do Biodesign*:

1. Investigação e experimentação básica, que partem da observação de fenômenos naturais sem, necessariamente, ter presentes aplicações utilizáveis posteriormente em projetos específicos. A ideia fundamental desta opção é a de criar um banco de dados que alimente o projeto, não somente em soluções técnicas, mas também, em aspectos metodológicos.



Figura 1: Imagem da mão biônica *i-limb Ultra Revolution* da empresa *Touch Bionics*.
Fonte: <http://innovationjournal.blogspot.com.br/2014/05/touch-bionics-updates-i-limb-ultra.html>

“Trata do estudo da formação, estrutura ou função de substâncias e materiais biologicamente produzidos (como as enzimas ou a seda), e mecanismos e processos biológicos (como a síntese de proteínas ou de fotossíntese) especialmente para os propósitos de síntese de produtos similares por mecanismos artificiais que mimetizam os naturais”.

2. Busca de soluções para um projeto específico, por analogias. Para isto, requer não somente de um banco de dados de investigação básica, mas de um conhecimento prévio da área, dos princípios que determinam as formas na natureza e de uma metodologia de aproximação do fenômeno natural.

Tanto a Biônica, quanto o Biodesign estudam os princípios básicos da natureza (construtivos, tecnológicos, formais etc.) para aplicação em soluções tecnológicas, e por isto se tornaram um campo interdisciplinar que combina a biologia com outras áreas, dando origem, portanto, a diversas outras terminologias correlatas que também são utilizadas com referência nas *Bioinspirações* ou *Biotécnicas*, tais como a *Bioengenharia*, *Biomecânica*, *Bioeletrônica*, *Bioarquitetura*, *Bioenergética*, *Biomaterial* etc.

Há ainda outra forma de utilização do termo Biônica através da junção da palavra *Bios* com a *eletrônica* relacionado com a área da *cibernética*, na designação da tecnologia à serviço da recriação da natureza, como por exemplo, na criação de próteses artificiais para seres vivos, tais como: orelhas, olhos, mãos, pernas, órgãos, dentre outros, como observado no exemplo abaixo da mão biônica *i-limb Ultra Revolution* da empresa *Touch Bionics* com sua mais avançada e versátil prótese, que possui maior destreza e movimentos mais naturais, e que pode inclusive ser configurada por aplicativo mobile no *smartphone*. (**Figura 1**)

Finalmente, em 1969 a palavra *Biomimética* dá origem ao título de um artigo de *Otto Schmitt* e em 1974, foi publicada sua definição no dicionário de Webster:

Embora tenha sido da pesquisadora americana *Janine Benyus* (1997) a responsabilidade da melhor definição e difusão do termo da Biomimética. Segundo ela, esta nova ciência **estuda os modelos da natureza e depois imita-os, inspira-se neles ou em seus processos para resolver problemas humanos**, porém as soluções devem ser embasadas na tríade: a natureza como modelo, medida e mentora, cujos princípios serão descritos a seguir:

- **A natureza como Modelo.** Inspiração e mimese nas soluções da natureza para aplicações práticas.
- **A natureza como Medida:** Usa o padrão ecológico como parâmetro para as inovações. Após 3,8 bilhões de anos de evolução, a natureza aprendeu aquilo que funciona, é mais apropriado, econômico e durável.
- **A natureza como Mentora:** Representa uma nova forma de ver e valorizar a natureza, inaugura uma era cujas bases se sustentam não naquilo que se pode extrair da natureza, mas no que se pode aprender com ela.

Estas últimas abordagens da natureza como medida e mentora apresentam novos valores, que incluem aspectos de sustentabilidade e de respeito à natureza, o que para Janine significa a verdadeira revolução desse campo. Apesar de derivar da palavra grega *biomimesis*, onde *bios* significa vida e *mimesis*, imitação, não se restringe a apenas uma imitação da forma biológica, mas considera também o conceito de replicação do comportamento dos organismos biológicos.

De acordo com Santos (2010), a Biomimética colabora com a filosofia do design ambiental, que também tem a visão multidisciplinar onde muitos setores industriais podem substituir o método tradicional de projeto e produção dos bens de consumo pelo “método” da natureza que é bem mais equilibrado e menos oneroso para o ambiente. É o que é evidenciado na fala de Benyus (1997):

A Biomimética corresponde a uma emulação consciente do gênio da natureza, é uma abordagem interdisciplinar que reúne mundos muitas vezes desconectados: natureza e tecnologia, biologia e inovação, vida e design. Na prática, procura trazer a sabedoria da vida testada pelo tempo para trazer informações valiosas em soluções humanas que criam condições favoráveis à vida; soluções sustentáveis por empréstimo de *insights* e estratégias ambientais, ou ainda, procura ser uma conexão que ajuda a encaixar, alinhar e integrar a espécie humana nos processos naturais da Terra.

Há ainda uma outra forma de uso do termo Biomimética que se refere a característica de camuflagem que certos animais possuem, onde imitam outras espécies para se protegerem de predadores ou para disfarçarem sua presença como predadores. (**Figura 2**)

“Desta vez, viemos não para aprender algo sobre a natureza, para que possamos enganá-la e controlá-la, mas para aprender algo com ela, de modo que possamos nos adaptar, de uma vez por todas e para o nosso bem, à vida na Terra, da qual surgimos. Temos um milhão de perguntas. Como deveríamos produzir alimentos? Como deveríamos fabricar nossos materiais? Como deveríamos realizar negócios de uma forma que respeite a natureza? À medida que formos descobrindo aquilo que a natureza já sabe, reconheceremos a sensação de fazer parte, e não de estarmos à parte, da genialidade que nos rodeia”.



Figura 2: Imagem com animais que utilizam a biomimética como técnica de camuflagem. Fonte: SOARES, 2016.

Por fim, enquanto a Biônica trata da previsão, manipulação e controle da natureza, a Biomimética inspira o sentimento de pertencimento e participação humana, o que constitui numa maior contribuição para os aspectos da sustentabilidade. Apesar das abordagens serem tão parecidas existem diferenças entre as suas concepções, pois esta última representa uma nova forma de observar e avaliar a natureza, introduzindo um novo pensamento baseado não só no que se pode extrair do mundo natural, mas no que se pode aprender com ele, e isto torna a sua abordagem mais abrangente.

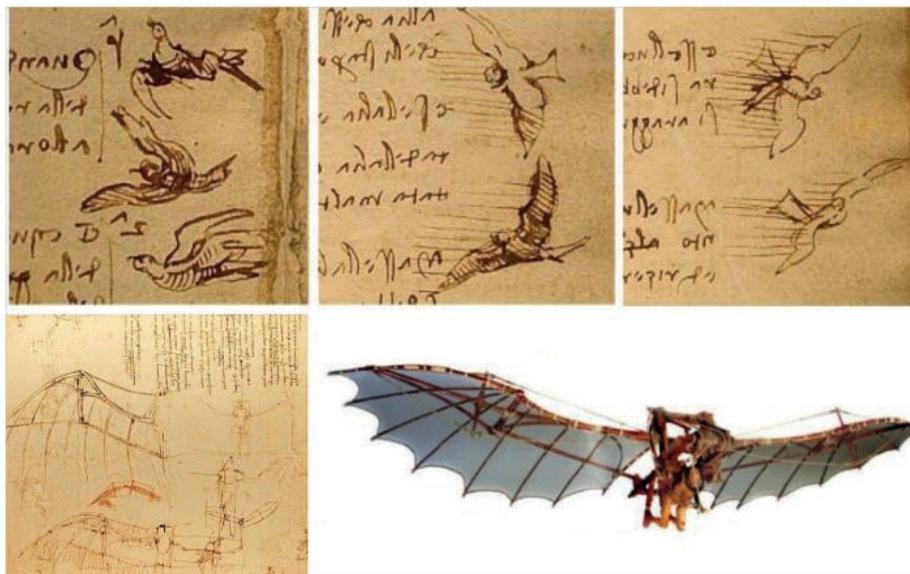
A ANALOGIA NA BIOMIMÉTICA

Apesar de todas estas definições do século XX, *Leonardo Da Vinci*, embora não utilizasse estes termos, já se apropriava dos conceitos da Biomimética na prática desde a época do Renascimento. Gênio reconhecido como um dos primeiros a estudar as formas e funções presentes na natureza, revelou claramente a sua busca por mecanismos biônicos através dos seus famosos desenhos na obra *Sul volo degli uccelli* (O voo das aves), possibilitando o título de pioneiro a aproximar-se da realidade de voar por meio da construção de máquinas voadoras.

Arruda (1993) relembra sobre estes estudos e diz que a ideia fundamental do engenheiro era que o voo humano fosse possível através da imitação mecânica da natureza, numa tentativa de reproduzir os movimentos das asas do morcego, entendendo também a base dos movimentos dos pássaros. **(Figura 3)**

Figura 3: Estudos do voo de pássaros e Máquina para bater asas "Ornitóptero" de Leonardo da Vinci.

Fonte: CRUZ, 2012, p. 19.



Um aspecto interessante a ser observado nestes estudos de Leonardo diz respeito à dinâmica do método utilizado por ele, motivado pela curiosidade e procurando estabelecer relações, ele procurava observar o elemento natural a ser investigado em seu ambiente natural e registrava tudo em tempo real através de anotações textuais e desenhos esquemáticos.

O Falcão bate lentamente suas asas e procura sobretudo se fazer levar pelas correntes de ar. Com o voo equilibrado, estes podem repousar seus membros cansados". (Vinci, 2004.)

"Arruda (2002) comenta que desde a Bauhaus e a escola de Ulm em seu curso fundamental, já se ofereciam disciplinas em que as análises dos fenômenos naturais, das estruturas, do funcionamento dos organismos vivos eram frequentemente objeto de estudo. Em Ulm, Gui Bonsiepe, professor da escola na época, costumava usar as análises morfológicas de organismos biológicos como escopo didático para melhorar a visão estrutural e a interpretação criativa. Vitor Papanek também foi um dos professores pioneiros (na época, no *California Institute of Arts*) a propor o estudo da biônica (elementos naturais) como instrumento de projeto. Também *Bruno Munari, Attilio Marcolli e Aldo Montù* na Itália, contribuíram em suas publicações com diversos estudos das estruturas naturais.

Aqui é importante perceber a necessidade de contínuos estudos e oferecer novos avanços no uso da Analogia, pois esta transferência de um conceito ou mecanismo vivo para sistemas inanimados não é trivial. Uma réplica simples e direta do modelo biológico raramente é bem-sucedida, mesmo com toda tecnologia disponível no cenário atual, pois se trata de uma atividade com certo grau de complexidade. Gruber (2011) afirma que para que ocorra o sucesso da solução Biomimética deve existir interdisciplinaridade ou ainda, deve-se aplicar os conceitos de forma estratégica.

Apesar dos avanços dessa ciência, ainda existem poucos estudos formulados para o procedimento de interpretação ou tradução de estruturas naturais para criar sistemas artificiais. Normalmente o que se utiliza, seja na *Biônica*, *Biomimética*, *Bidesign* ou qualquer *Biotécnica* é o método empregado da *Analogia*. Na antiguidade clássica, ela foi abordada pelos filósofos Aristóteles e Platão como uma *abstração compartilhada*, em que os objetos análogos compartilhavam algo em comum, seja uma ideia, um padrão, uma regularidade, um atributo ou uma função.

Como método, a Analogia ganha um carácter capaz de vencer problemas através de um raciocínio lógico, assim como ajuda na tomada de decisões, nos diferentes campos da criação, percepção e criatividade. Da sua aplicação resulta um amplo conjunto de soluções para diferentes áreas em conformidade com o interesse e conteúdo de cada ciência.

Para falar de Analogia é interessante remeter também ao termo *Synectics* (*Sinergia*), que corresponde a uma das técnicas mais promissoras para fomentar a criatividade, sua característica mais importante está no uso repetido de analogias que levem a abordagem do problema, sob novos pontos de vista. Tornou-se parte do vocabulário dos especialistas, quando William Gordon, em 1961, publicou o livro *Synectics*, que do grego significa a *união de elementos diferentes e aparentemente irrelevantes*.

Segundo Gordon (1961), a *Synectics* funciona num misto de teoria e técnica. Como teoria estuda o processo criativo e os mecanismos psicológicos da atividade criativa, com o objetivo de aumentar as chances de pessoas obterem sucesso na resolução de problemas. Como técnica, fornece uma repetição capaz de aumentar as chances de chegar a soluções criativas pelo procedimento de aproximação. A seguir, Pérez (1999) comenta os quatro tipos de Analogias definidas por Gordon (1961):

- **Analogia Direta:** Descreve a verdadeira comparação de fatos, conhecimentos, objetos, organismos, que possuam algum grau de semelhança.
- **Analogia Pessoal:** Descreve uma personificação imersiva no problema. Começando com a pergunta: Se eu fosse...? Assim ocorre uma fusão imaginária entre a pessoa e o objeto ou situação, permitindo uma visão interna sobre os sentimentos, pensamentos e formas de atuação específicas para cada caso. (Se eu fosse um... me sentiria como?).
- **Analogia Simbólica:** Seleciona uma palavra-chave e pergunta-se qual a sua essência, para então experimentar ou sentir os significados descobertos; usa imagens objetivas e impessoais para descrever o problema por uma resposta poética. Uma vez criada é uma torrente de associações.
- **Analogia Fantástica:** Deixa de lado o pensamento lógico e racional. Partindo de um problema específico se deixa a porta aberta à fantasia, conduzindo a soluções imaginárias que estão fora do universo possível.

A técnica fornece grande atenção aos elementos emocionais, irracionais e inconscientes na busca criativa; no entanto, é essencial não perder de vista também a reflexão racional. (PÉREZ, 1999)

A tentativa analógica consiste em afastamento do problema, o relacionando com conceitos, ideias e imagens que ele inspira num processo chamado de *cruzamento*, para daí se extrair soluções. Tanto a *Sinergia* como a Biônica se utilizam de Analogias, porém, na primeira, essa busca de soluções se dá em áreas variadas como a literatura, a natureza ou até a arte. Já na Biônica, a busca de soluções acontece exclusivamente na natureza. (RAMOS, 1993)

A seguir, alguns tipos de analogias relacionadas ao assunto da Biomimética discutida por Arruda (2002) com seus respectivos autores:

- **Analogia Orgânica:** Busca encontrar o equilíbrio entre os organismos humanos, as obras de arte e os sistemas mecânicos. (STEADMAN, 1988)
- **Analogia Classificatória:** Observa os métodos estabelecidos da botânica e zoologia para aplicação na Arquitetura e no Design. (STEADMAN, 1988)
- **Analogia Anatômica:** Traz uma sistemática de trabalho que estuda a estrutura do esqueleto animal comparando-os com as construções da engenharia. (STEADMAN, 1988)
- **Analogia Darwiniana:** Busca explicar que os objetos e as construções são feitos através de cópias repetidas através dos tempos, como acontece com a evolução natural. (STEADMAN, 1988)
- **Analogia Sensorial:** Estudo dos sistemas de controle e transmissão de informação de organismos vivos para transpor em modelos eletrônicos e mecânicos, com objetivo de reduzir e otimizar ao máximo seus resultados. (ARRUDA, 2002)

Todas estas Analogias de alguma forma se empenham em traduzir o mundo natural e contribuem na decodificação de geometrias, funcionamentos, e na busca, dentre outros aspectos, por um melhor aproveitamento energético e de material, conservando assim, os princípios da Biomimética.

Além destes, serão apresentados de maneira mais detalhada a seguir, três tipos básicos de Analogia: *Morfológica*, *Funcional* e *Simbólica*, que para Soares (2016), sintetizam de forma eficiente o método de Analogia relacionado com a Biomimética.

3.1 Analogia morfológica

A forma, a saber, a figura ou determinação exterior de um corpo, destina-se como qualquer combinação definida de elementos geométricos que possamos realizar ou imaginar, é uma característica importante da matéria, já que todos os objetos reais, vivos ou não, possuem forma própria, particular, que muitas vezes se define em si mesmos, que os fazem similar a alguns ou diferentes de outros. Pelos objetos de forma complexa e irregular, como as encontradas na natureza, deve-se dar uma definição que seja essencialmente indireta e aproximativa. (ARRUDA, 1993)

Bonsiepe (1982) define a Analogia Morfológica como a busca experimental de modelos elaborados da tradução das características estruturais e formais para transpor em projetos. Sendo assim, este tipo de analogia procura estudar e analisar o porquê da forma natural, as inter-relações da sua geometria, observando e compreendendo suas texturas, atentando para as características do *shape* (forma externa), das partes e componentes, dos detalhes de alguma parte a nível macro ou microscópico, assim como, para as suas formas estruturais. (SOARES, 2016)

Segundo Wilson *et al.* (2010), a análise de fenômenos morfológicos da natureza facilita e estimula a capacidade de percepção de detalhes e princípios presentes em sua estrutura. Ideias inovadoras vêm surgindo de pesquisas sobre sistemas e propriedades naturais que nem sempre se traduzem apenas na estética, mas que a forma natural favorece também o ganho em eficiência. Neste sentido Versos (2010) traz um bom exemplo de Analogia Morfológica com o *Trem-bala Shinkansen* desenvolvido pelo engenheiro *Eiji Nakatsu*. O projeto tem como referência a forma do bico alongado do pássaro *Martim-Pescador*, que facilita o mergulho sem espirrar água em busca de sua refeição. Visando solucionar um dos grandes problemas do trem bala que é a vibração e o barulho, o engenheiro buscou inspiração no formato do bico deste pássaro, o que resultou numa melhora significativa com um trem-bala 10% mais rápido, consumindo 15% menos energia, e ainda, reduzindo a pressão do ar em 30% em relação ao modelo anterior. (Figura 4)

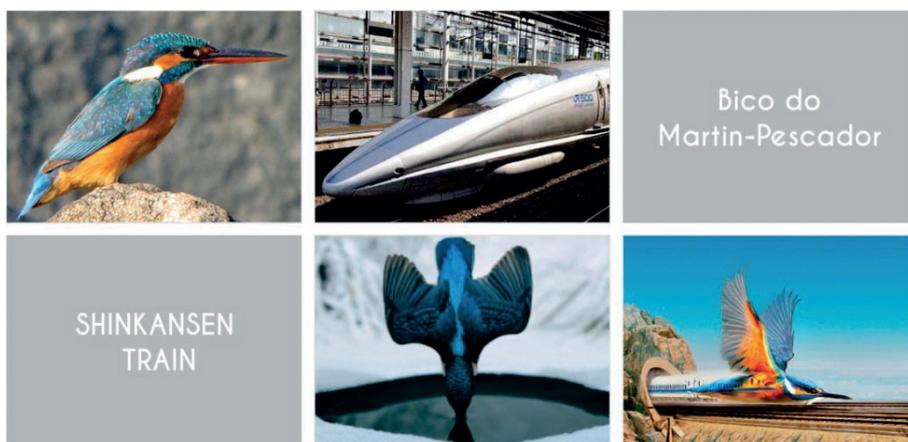
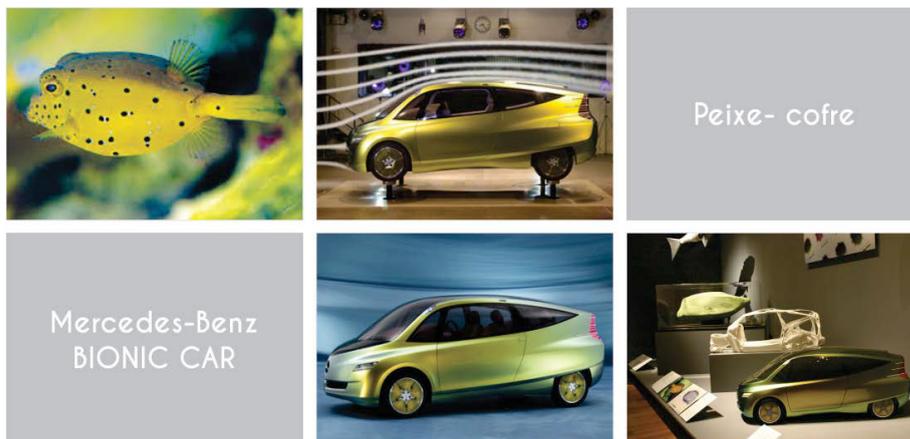


Figura 4: SHINKANSEN (Japão), trem bala de alta velocidade mais rápido do mundo, redesenhado tendo como base o bico de um Martin-pescador. Fonte: VERSOS, 2010

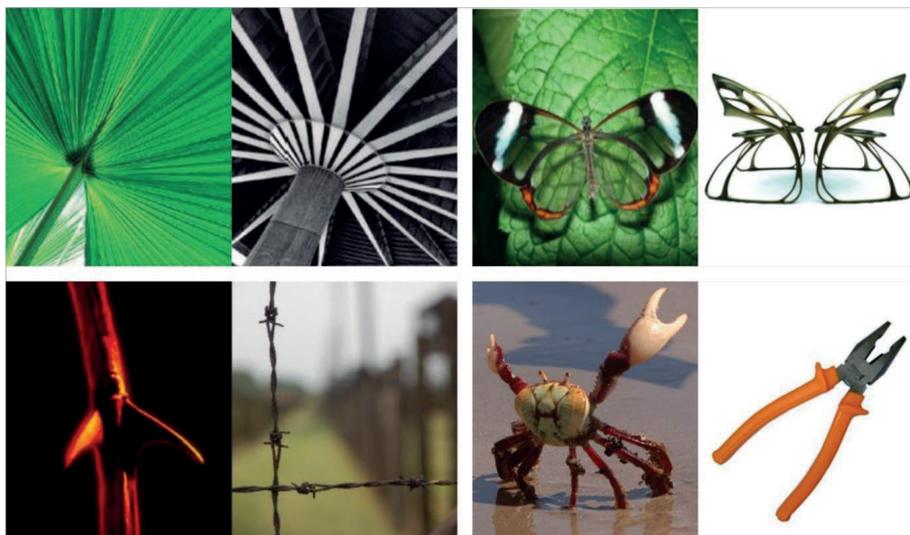
Outro exemplo interessante deste tipo de Analogia é o *BIONIC CAR* da marca Mercedes-Benz, cuja inspiração se dá através da forma e estrutura óssea hidrodinâmica do peixe-cofre com o propósito de proporcionar alta resistência à estrutura do carro através do uso mínimo de material. Como resultado, o automóvel apresentou uma excelente aerodinâmica e peso reduzido com um consumo de 4,3 litros por 100 km, o que significa 20% mais economia que os veículos da mesma classe, e ainda, redução das emissões de óxido de nitrogênio em cerca de 80%. (VERSOS, 2010) (Figura 5)

Figura 5: BIONIC CAR da marca Mercedes-Benz (Alemanha), automóvel desenvolvido com base na forma e estrutura hidrodinâmica do peixe-cofre.
Fonte: VERSOS, 2010



Sendo assim, a Analogia Morfológica comprova a eficiência das formas naturais, pois muitas delas se traduzem em ganhos além da estética, em performance. A seguir, mais alguns exemplos desse tipo de analogia. (Figura 6)

Figura 6: Exemplos de Analogia Morfológica – Coluna estrutural de construção inspirada na folha da palmeira leque; Cadeira inspirada na forma estrutural da borboleta; Arame farpado inspirado nos espinhos de plantas e Alicate inspirado na pinça do caranguejo.
Fonte: SOARES, 2016



3.2 Analogia funcional

Procura estudar sobre o funcionamento do sistema físico e mecânico natural; tenta compreender quais funções desempenham tanto no todo, quanto em suas partes e componentes. Em outras palavras, são evidenciados os atributos funcionais, qualidades específicas (não morfológica) que se pode mimetizar da estrutura natural analisada, uma vez que os organismos naturais desenvolveram habilidades complexas e altamente adaptáveis, se pode transpor essas aptidões funcionais para aplicá-las em artefatos artificiais. Enquanto morfológicamente as analogias são limitadas, funcionalmente podem ser múltiplas. (SOARES, 2016)

Muitos pesquisadores têm buscado parcerias com departamentos de biologia que se utilizam de informações específicas de características do mundo natural, um destes trabalhos é o de Liua & Jiang (2011) que apresentam o resultado de

vários estudos onde descrevem as funções encontradas em alguns organismos vivos que podem orientar a geração de ideias para solução de problemas projetuais por Analogia no Design. (Figura 7)

BIOLOGICAL MATERIAL	FUNCTIONS	AUTHORS
BUTTERFLY WING	Super-hydrophobicity Directional adhesion Structural color Chemical self-cleaning.	Y.M.Zheng, X.F. Gao, L. Jiang (2007) O. Sato, S. Kubo, Z.Z.Gu, Acc. Chem (2009)
NACRE	Mechanical properties, Structural color	X.F. Gao, X. Yan, X. Yao, L. Xu, K. Zhang, J. H. Zhang, B. Yang, L. Jiang (2007) G. Mayer (2005)
CIGARETTE WING	Anti-reflection Super-hydrophobicity	T.L. Sun, L. Feng, X.F. Gao, L. Jiang (2005)
SPIDER SILK	Mechanical properties of shrinkage Adhesiveness Elasticity	Y.M.Zheng, H. Bai, Z.B. Huang, X.L. Tian, F.Q. Nie, Y. Zhao, J. Zhai, L. Jiang (2010) N. Becker, E. Oroudjev, S. Mutz, J.P. Cleveland, P.K. Hansma, C.Y. Hayashi, D.E. Makarov, H.G. Hansma (2003) B.O. Swanson, T.A. Blackledge, C.Y. Hayash (2007)
THE LEG OF THE PASSOLARGO IN WATER	Durable, Sturdy Super-hydrophobicity	X.F. Gao, L. Jiang (2004)
ROSE PETAL	Super-hydrophobicity, Structural color, High adhesion	L. feng, Y.A. Zhang, J.M. Xi, Y.Zhu, N. Wang, F. Xia, L. Jiang (2008) L. Feng, Y.A. Zhang, M.Z. Li, Y.M. Zheng, W.Z. Shen, L. Jiang (2010) B. Bhushan, E.K. Her (2010)

Figura 7: Tabela de organismos naturais e suas respectivas funções.

Fonte: LIUA & JIANG, 2011

A vantagem desta analogia é que se identificando estas estratégias e funções se pode aplicar em mais de um tipo de artefato, servindo para uma ou mais soluções como o caso do estudo das folhas de lótus, na qual o pesquisador *Barthlott*, identificou as funções de repelir a água e de autolimpeza das suas superfícies. Isto acontece devido ao ângulo formado pelas suas micro e nanoestruturas cerosas, que impedem o contato com a água, fazendo-a rolar e formar gotas que vão recolhendo a sujeira pelo caminho. Com isto, se identificou que superfícies ásperas em nano escala são mais hidrofóbicas que superfícies mais lisas. Na folha de lótus, a área de contato real é de apenas 2-3% da superfície das gotas.

Essa Analogia Funcional foi aplicada comercialmente em produtos como a tinta *Lotusan* (Figura 8) e também em outros materiais e produtos, tais como os têxteis, a madeira ou o vidro, através de sprays (*BASF Lotus Spray*) que simulam o mesmo efeito da planta. Na tinta, ao criar micro saliências, ela repele a água, se auto limpando e resistindo a manchas durante décadas. Apesar de se replicar estas microestruturas, os artefatos gerados não se referem a forma das folhas em si e sim a função identificada de hidrofobia e autolimpeza. (VERSOS, 2010)

Figura 8: LOTUSAN (Alemanha), tinta que repele a água e resiste a manchas durante décadas, inspirada nas microestruturas das folhas de lótus.

Fonte: VERSOS, 2010



Versos (2010) cita ainda outro exemplo de Analogia Funcional com a pesquisa das escamas da pele do tubarão, responsável pelo alto desempenho em velocidade de locomoção destes animais. Segundo especialistas, a água desliza através das micro ranhuras na sua pele, reduzindo a fricção. A aplicação deste estudo em roupas de natação da marca *Speedo Fastskin* é utilizada por campeões olímpicos. A textura destas vestimentas baseada nos “dentículos” da pele de tubarão, tem como vantagens a redução da resistência passiva de cerca de 4% e também da vibração muscular, aumentando a velocidade e o desempenho dos atletas. **(Figura 9)**

Figura 9: FASTSKIN da marca Speedo (Austrália), roupa de banho para competição de natação que imita a função de eficiência hidrodinâmica da pele de tubarão, resultando na redução do atrito e consequente aumento de velocidade.

Fonte: VERSOS, 2010



Nos tubarões estas micro escamas também impedem a fixação de pequenos crustáceos e de algas, uma inspiração para revestimentos sintéticos que poderão ser aplicados nos cascos de navios a fim de reduzir o atrito, poupando energia e também esse inconveniente biológico que provoca gastos com manutenções, o que comprova mais uma vez que a analogia funcional pode gerar aplicação em diversos artefatos e não se limita apenas na forma do animal investigado, mas na função que foi identificada e que se deseja replicar. (SOARES, 2016)

Um bom exemplo de Analogia Funcional inspirado na função de aderência das patas da lagartixa, é causada pela força intermolecular encontrada nos seus micro e nanopêlos que ligam as moléculas da pata do animal às moléculas da superfície, permitindo que se grudem até mesmo em superfícies lisas como o vidro. A partir deste estudo a empresa *Interface* criou o *TacTiles*, um sistema de instalação do carpete que usa conectores adesivos sem cola para unir as placas do carpete ao invés de colar no piso. Outras aplicações são usadas como adesivos para *smartphones* para adesão em vidros e painéis de carro.

Outros exemplos: o *Regen Energy*, sistema de gerenciamento automatizado de eficiência energética baseado na rede de comunicação de formigas e abelhas; o sistema de resfriamento passivo no shopping *Eastgate Center* de *Mick Pearce* no Zimbábue, que imita a função de autorregulação de temperatura dos cupinzeiros africanos, onde o centro utiliza o ar frio da noite para resfriar, e durante o dia este ar sobe do térreo em direção aos pavimentos superiores através de chaminés; e ainda, o tradicional exemplo das placas solares que imitam a função das folhas de captação e transformação da energia solar. (Figura 10)



Figura 10: Exemplos de Analogia Funcional. **TacTiles** (aderência das lagartixas), **Regen energy** (gerenciamento de energia do sistema de comunicação de abelhas), **Eastgate Center** (auto regulagem de temperatura do cupinzeiro) e **placas solares** (Captação de energia das folhas).

Fonte: SOARES, 2016

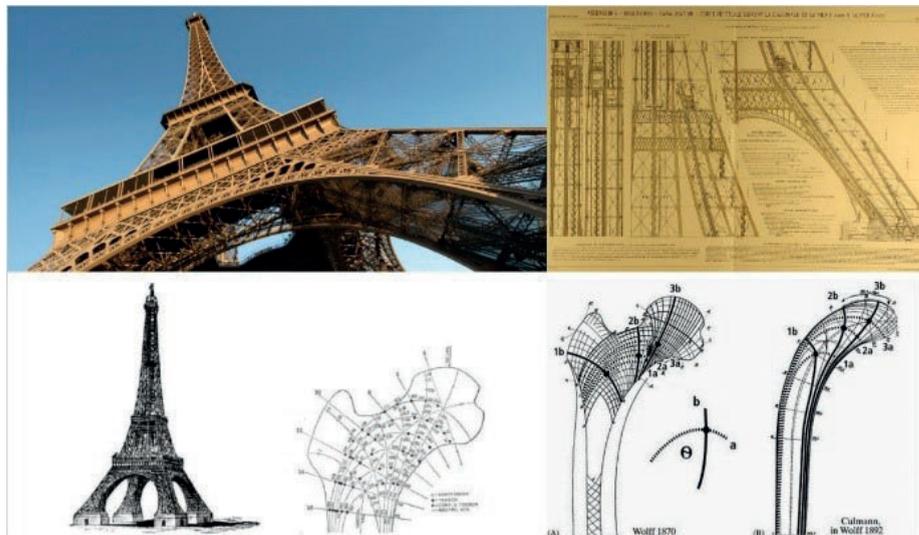
3.3 Analogia simbólica (semântica)

Na analogia simbólica estão os casos de imitação mais abstratos que não correspondem a fidelidade das formas nem necessariamente das funções. Desta forma, os artefatos produzidos possuem correspondência com aspectos da estrutura natural analisada com certo grau de abstração inerente das interpretações individuais. (SOARES, 2016)

Um exemplo desta pode ser visto no estudo de Thompson (1961) da mais famosa Torre da Europa, a torre de *Gustave Eiffel* (1889), símbolo universal de Paris, construída em homenagem aos 100 anos da Revolução Francesa, cujos elementos estruturais foram baseados nos estudos do anatomista *Hermann von Meyer* sobre a cabeça do fêmur humano. Esta parte do osso fornece uma ampla gama de movimentos e é composta por um conjunto de minúsculos

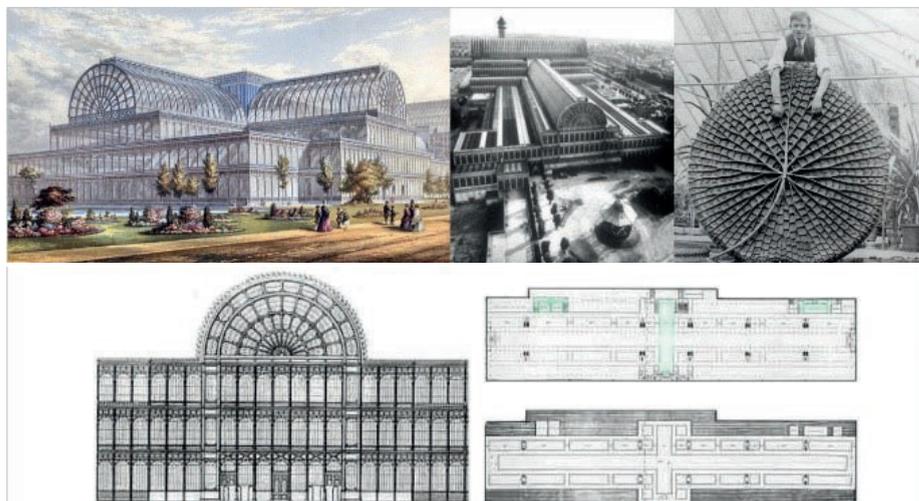
ossos chamados trabeculares. Mais tarde, *Meyer* demonstrou este trabalho para o engenheiro *Karl Cullman* que trabalhava projetando grandes guindastes, e este viu imediatamente que as trabéculas estavam mais concentradas nas zonas de maior tensão, concluindo que o fêmur foi perfeitamente moldado para suportar grandes cargas. *Maurice Koechlin*, arquiteto assistente de Eiffel, 20 anos depois, enquanto trabalhava na concepção da famosa torre, traduziu nesta sua impressão desse estudo de Cullman. **(Figura 11)**

Figura 11: Exemplo de analogia simbólica da Torre Eiffel inspirada no fêmur.
Fonte: SOARES, 2016



O Palácio de Cristal (Londres/Inglaterra, 1951) construído por Joseph Paxton para Exposição Universal é outro exemplo de Analogia Simbólica que teve sua inspiração na estrutura da planta amazônica Vitória-régia. Ele usou uma ilustração de uma das folhas durante uma palestra na *Royal Society of Arts*, em Londres, mostrando como apoiar uma estrutura de telhado curvo usando-a como uma referência para o projeto. (PEREIRA, 2013) **(Figura 12)**

Figura 12: Exemplo de analogia simbólica da Torre de Cristal inspirada na Vitória-régia.
Fonte: SOARES, 2016



Não há tanta semelhança com o desenho da folha em si, que apresenta estruturação radial, no todo da construção, apenas na parte superior curva do edifício e no arco central se demonstra essa analogia mais direta, mas o grande e inovador avanço foi a sua interpretação das nervuras no uso de vigas para a construção de edifícios leves, incorporando materiais novos para estruturação de construção utilizando o ferro e o vidro.

Exemplos ainda mais representativos deste tipo de Analogia são as excêntricas e orgânicas construções do arquiteto espanhol Antoni Gaudí, que tinha predominância pela arquitetura *biomórfica*, cheia de curvas e contracurvas, onde elementos da natureza são desenhados em vários detalhes. Experimentando formas e materiais novos, o arquiteto se dedicava à cada esquina e a cada pormenor numa organicidade resultante da sua interpretação própria dos elementos da natureza que acabou por caracterizá-lo.

Sua atitude naturalista, foi previamente abordada por D'Arcy Thompson (1961) lembrando sobre a emblemática obra da igreja da *Sagrada Família* em Barcelona. Segundo Pereira (2013), Gaudí confere torsões parabólicas à fachada, fazendo uso de hipérbolos e espirais em várias partes da construção, preenchendo a obra de motivos vegetais destacando a sua atitude naturalista e orgânica, num contrassenso da arquitetura gótica da época, em que para ele, as linhas retas não refletiam as leis da natureza com suas formas curvas. Cruz (2012) também reforça o "espírito natural" de Gaudí traduzido num ar romântico e orgânico através da disposição das folhas, caules, raízes das plantas, e também nas pétalas das flores nesta obra, onde as particularidades remetem para uma floresta ou mundo subaquático, apresentando no interior, um aspecto panorâmico de bosque encantado, onde os jogos de luzes e os estreitos pilares densificam essa atmosfera. As torres principais visíveis na fachada são inspiradas pela planta *Sedum Sediforme*, sendo pontuadas por pináculos ou flores.

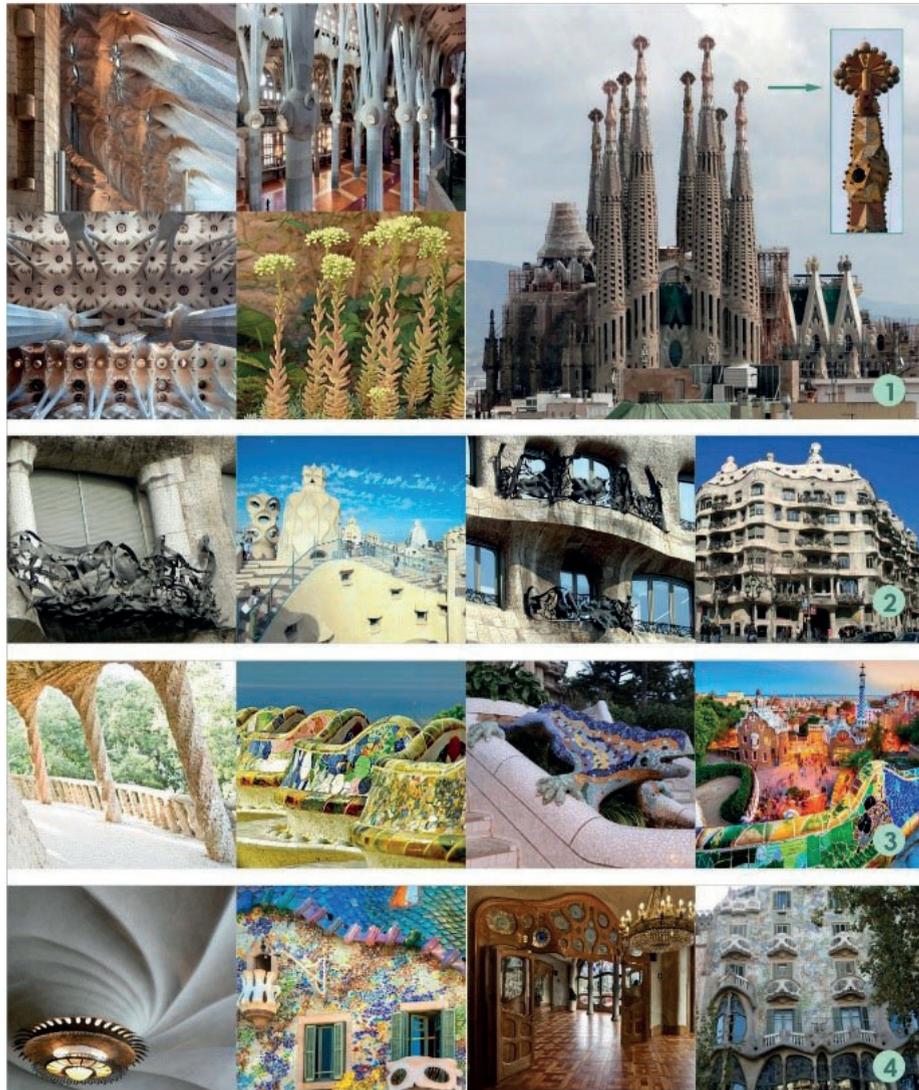
As formas naturais, como as espirais ou helicoides presentes nos caracóis ou búzios são abundantes em suas obras. Esse crescimento exponencial presente em tantos exemplos naturais revela-se uma variante obsessiva no seu trabalho, através das torres, colunas, pináculos ou escadarias em caracol, dentre outros. Como afirmava Gaudí: "Tudo sai do grande livro da Natureza, onde elementos como esta árvore junto ao meu atelier é o meu mestre". (CRUZ, 2012)

Além da Sagrada Família, Cruz (2012) também cita outros exemplos podem ser identificados nas varandas do *La Pedrera Casa Milá*, com delicadas folhas ornamentadas; no *Parque Güell*, com elementos biomorfos, tais como os répteis e/ou dragões; na *Casa Batlló*, coberta de "escamas" etc. Estas obras artísticas com espaços cavernosos, cores, texturas e uma luminosidade tão peculiar são reflexos do olhar cheio de simbolismo de Gaudí, configurando bem este tipo e Analogia. A seguir, imagens de alguns desses exemplos citados. (**Figura 13**)

1. Igreja Sagrada Família; 2. La Pedrera; 3. Parque Güell e 4. Casa Batlló.

Figura 13: Exemplo de Analogia Simbólica nas obras de Antoni Gaudí.

Fonte: SOARES, 2016



O LABORATÓRIO DE BIODESIGN (UFPE/BRA)

O laboratório do Biodesign nasceu em 1998 através do fomento de órgãos como o CNPq e o FACEPE. É resultado das pesquisas em Biônica do professor PhD. Amilton Arruda no CRIED (Centro Ricerche/Istituto Europeo di Design-Milano/IT) e no Politécnico de Milão na Itália. Localizado no Centro de Artes e Comunicação da UFPE, ao longo dos anos este laboratório tem aplicado a metodologia da Analogia em Biônica/Biomimética resultando em diversos trabalhos dentro das disciplinas ministradas para a graduação do departamento de Design da mesma instituição, colaborando para disseminar as técnicas de estudo das estruturais naturais como referências para projetos de Design.

Amilton (2002) propõe o estudo da Biônica através de 3 Campos: **Formação, Pesquisa e Projetual (Figura 14)**. No *Campo da Formação*, modalidade do processo de ensino, a didática de pesquisa deve respeitar o caráter natural de como a natureza se comporta em toda a sua evolução e dinâmica. Este senso de experimentação se dá de 2 modos:



Figura 14: Os três Campos de atuação da Análise da estrutura natural proposta pelo professor Amilton Arruda.

Fonte: ARRUDA, 2002

3. **Básico:** Disciplina que tem objetivo de estimular a experimentação; introduzir conceitos básicos da natureza: (evolução, adaptação, comportamento, composição, dinâmica, energia, máximo e mínimo, espirais, ramificações, fluxo, estruturas, seção áurea etc.) e ainda, criar uma filosofia, delineando uma linguagem de base que permita e fomente o discurso do “projeto biônico”.
4. **Analógico:** Experimentação com abstração geométrica da estrutura natural investigada; análise funcional e geométrica da natureza e seus elementos; representação de modelos tridimensionais de determinado comportamento da natureza e interpretação e tradução da forma nos modelos analógicos que se identificou na estrutura analisada.

Já no *Campo da Pesquisa*, leva em consideração um grupo interdisciplinar, fazendo parte da indagação biônica o componente biológico e a engenharia, trazendo uma característica mais de inovação. Compreende o desenvolvimento da pesquisa no sentido que parte de um argumento ou temática de caráter geral ou específico para chegar num **modelo interpretativo** em vários aspectos, como por exemplo, estrutural, material, funcional, dentre outros.

Este modelo não necessariamente resultará num produto aplicado ou projeto acabado, pois tem maior caráter de estudo, onde o resultado possivelmente não corresponderá com a expectativa do setor produtivo. O campo de pesquisa também pode ser dividido em 2 partes:

Pesquisa de base

- Pesquisa teórica preocupada com aspectos, tais como: adaptação, forma, função, locomoção, dinâmica, geometria, ciclos da natureza etc.
- Pesquisas com caráter bibliográfico de projetos ou pesquisa, artigos, monografias, dissertações ou teses com referência na natureza.
- Pesquisas para construção de banco de dados com diversos temas tais como sistema de locomoção, sistema de articulações, membranas, embalagens, componentes estruturais na natureza etc.
- Pesquisas com caráter geométrico-morfológico com a finalidade de entender a resistência da sua estrutura ou forma.
- Pesquisas para utilização de metodologias adaptáveis ao estudo das estruturas naturais.

Pesquisa aplicada:

- Desenvolvimento de pesquisa completa delineada para aplicação no Campo Projetual.
- Elaboração, verificação e experimentação de modelos ou protótipos biônicos.
- Identificação de hipóteses de projeto com base no resultado das pesquisas e das abstrações geométricas dos modelos biônicos.
- Pesquisas específicas do design dos materiais naturais;

- Análise e compreensão dos elementos naturais, seus aspectos e derivados (mecanismos, estrutura funcional, materiais etc.).

E por fim, no *Campo Projetual*, a gestão do discurso biônico aqui é mais complexa, pois existem outras informações para atender a estratégias projetuais já definidas através dessa tradução das informações adquiridas na pesquisa biônica. E levando em consideração esta complexidade, este Campo é dividido em três hipóteses de intervenção:

5. **Como Linguagem:** O projeto se desenvolve considerando a experiência do projetista que traz uma temática centrada em referências da natureza, que é diferente dos métodos tradicionais, criando-se uma modalidade própria de projeto, onde o projetista possa intuir uma aplicação prática para os modelos naturais estudados.
6. **Como Instrumento:** O Projetista usa o banco de dados das pesquisas em biônica para se motivar e se inspirar em suas criações, buscando orientação, considerações e referências nas informações de caráter estrutural, configuracional, simbólico, estético, filosófico, semântico dessas interpretações da natureza, por exemplo, o velcro.
7. **Como hipótese de Projeto:** Por meio da pesquisa das estruturas naturais, se desenvolve um conceito, dele um modelo biônico e deste o projeto biônico, através dos métodos tradicionais de design, como a de Bruno Munari, por exemplo. É importante observar que desse modelo biônico, podem ser gerados diversas hipóteses de projeto.

Para Arruda (2002) a pesquisa biônica possui caráter sistemático que utiliza a analogia para traduzir os princípios encontrados na natureza, os quais poderão ser aplicados posteriormente na solução de um problema de projeto.

Sobre o Método da Pesquisa de Base das estruturas naturais aplicado pelo professor Arruda sob uma ótica mais acadêmica, ele cita que a configuração de um objeto, vivo ou não, pode ser de alguma forma *descrita*, e apresenta algumas técnicas para essa descrição e compreensão da forma através dos seguintes passos: **Representação Fotográfica, Descrição Verbal, Esquematização (desenhos) e Modelos.**

- **Representação Fotográfica:** Esta técnica revela uma riqueza de detalhes, que torna incontestável o alto nível de fidelidade de descrição de qualquer estrutura. Hoje existem diversos meios de utilização desta técnica, seja por fotografias digitais com câmeras de altas resoluções ou até, numa análise mais acadêmica e menos criteriosa, através de câmeras de celular. Existem ainda as que se utilizam de uma série de fontes de luz tais como, raio X, ultravioleta ou infravermelhos. Há ainda métodos mais avançados de microscopia eletrônica e de varredura, que cada vez mais proporcionam descobertas de características morfológicas que revelam detalhes de estruturas internas dos elementos naturais à níveis cada vez menores, como o recente microscópio que usa feixe de elétrons no Japão, capaz de

obter imagens a nível atômico. Através da capacidade de ampliações de imagens e das fotografias digitais com seus softwares de computadores mais velozes, se têm revelado e facilitado o entendimento e a descrição pormenorizada de estruturas. Para o estudo, deve-se tirar as fotografias, ou consegui-las através de outros meios (internet), servindo para revelar o todo, secções, detalhes, partes, componentes, e demais aspectos do elemento analisado, que sejam do interesse do pesquisador.

- **Descrição Verbal:** Em seguida, se procura investigar informações referentes ao elemento analisado, sejam detalhes técnicos, científicos (taxonomia etc.), históricos, curiosos, assim como descrever os detalhes observados nas fotografias, até que se possa resumir e extrair as características essenciais da forma estudada. O que se pressupõe que pesquisar sobre o contexto da estrutura natural deve colaborar para um entendimento com mais níveis de referências sobre o mesmo, resultando em maiores possibilidades criativas de representações, e ainda, representações mais coerentes. Descrever o contexto desta estrutura natural e o que se observa dele em seu ambiente real dinâmico, amplia a quantidade de dados, pois se pode verificar aspectos como ciclo de vida, movimentos, materiais, crescimento, variação de cores e tamanhos, funções, interações com outros elementos, organismos ou componentes etc. Nem sempre é possível colher estes dados por imersão, mas a experiência amplia a qualidade das informações sobre as estruturas pesquisadas.
- **Esquematisação:** Através de desenhos que podem apresentar-se como descrições mais fidedignas dos elementos reais estudados (desenhos de observação) e posteriormente, como sínteses ou abstrações geométricas destes. Tais esquemas também podem se ater a destacar características ou princípios específicos destes elementos, enfatizando detalhes ou outro aspecto qualquer de interesse do pesquisador que se tenha coerência com a origem do elemento analisado.
- **Modelo:** Por fim, encerra com a execução de um modelo tridimensional que sintetiza o esquema realizado. Pode ser feito de qualquer material, dependendo da função e intenção desejada, e para tanto, há necessidade de conhecimento prévio de técnicas de modelagem. Como a utilização de softwares ampliam e facilitam a visualização do modelo, este também pode ser feito de maneira virtual, além do modelo físico.

De maneira geral o método trabalhado pelo professor Amilton nas disciplinas de Biônica/Biomimética pode ser sintetizado a seguir: **(Figura 15)**

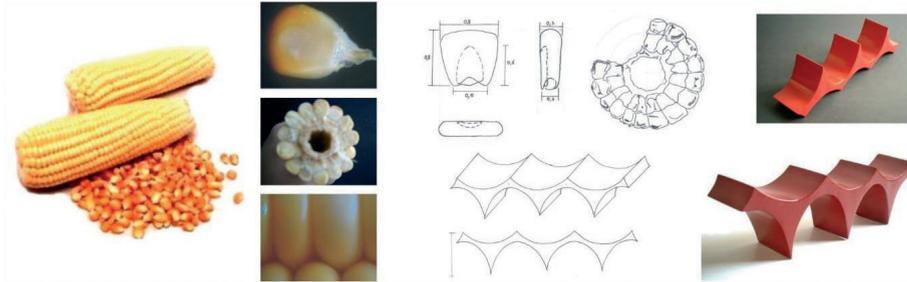
A seguir, serão apresentados de forma resumida alguns dos trabalhos desenvolvidos por alunos de graduação para as disciplinas vinculadas ao laboratório do Biodesign, seguindo o esquema metodológico utilizado pelo professor Amilton Arruda. Nas versões originais, estes trabalhos foram apresentados em forma de slides com imagens das pranchas desenvolvidas durante as aulas. O trabalho ainda era sintetizado de maneira esquemática através de um banner, e ainda, os alunos tinham que configurar um modelo físico tridimensional como síntese da pesquisa. São eles:



Figura 15: Esquema do método utilizado pelo professor Amilton.
Fonte: ARRUDA, 2002

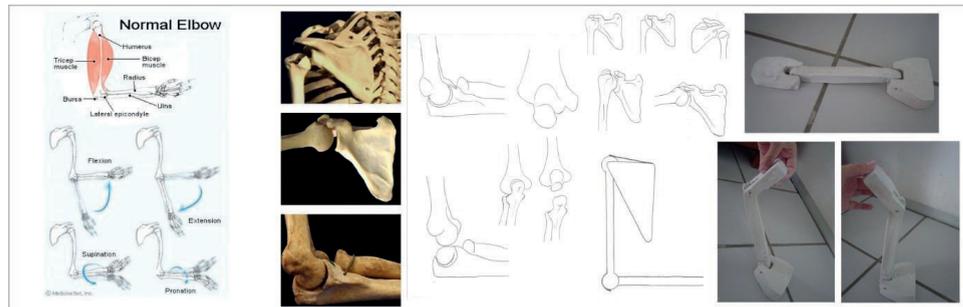
8. **Estudo do milho:** Neste exemplo, o encaixe formado pelas junções dos grãos de milho facilita a acomodação entre eles e proporciona uma melhor fixação. A partir desta forma foi feita uma síntese em modelagem tridimensional virtual para simulação do modelo. **(Figura 16)**

Figura 16: Estudo da interpretação do milho por Lucas Andrade em 2006.2.
Fonte: SOARES, 2016



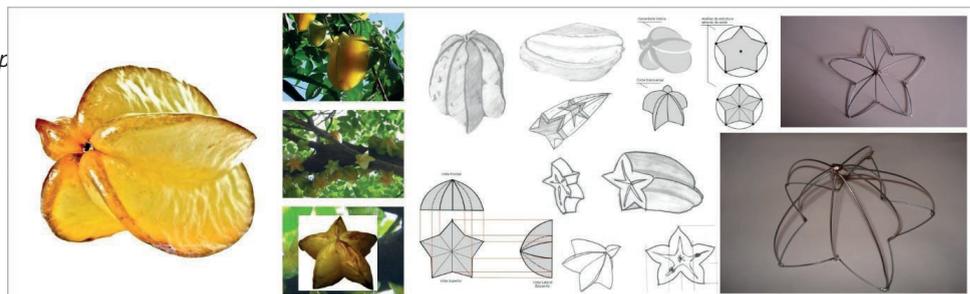
9. **Estudo da articulação do ombro e do cotovelo:** O modelo foi construído representando a interpretação da amplitude do movimento das articulações do ombro e do cotovelo, uma das articulações simulada possui uma rotação de menor amplitude, similar à do cotovelo, se movendo até 180°; e a outra, com maior amplitude de rotação, similar à do ombro, pode girar quase 360°. **(Figura 17)**

Figura 17: Estudo da articulação do ombro e do cotovelo por Juliana Chalegre em 2006.1.
Fonte: SOARES, 2016



10. **Estudo da Carambola:** Ao efetuar um corte transversal na fruta, a forma de estrela pentagonal é percebida na base. Os cinco vértices dessa estrela, por sua vez, convergem em um único ponto, base para interpretação do modelo estrutural executado em arame soldado. **(Figura 18)**

Figura 18: Estudo da interpretação da Carambola por Marília Gondim em 2006.2.
Fonte: SOARES, 2016



11. **Estudo da Colmeia:** Aqui, o aluno observou a malha externa hexagonal da colmeia, atentando para uma característica das suas cavidades, que na base começam cilíndricas e terminam na tradicional forma hexagonal, sintetizando seu modelo através de um módulo construído em PVC com as mesmas características. (Figura 19)

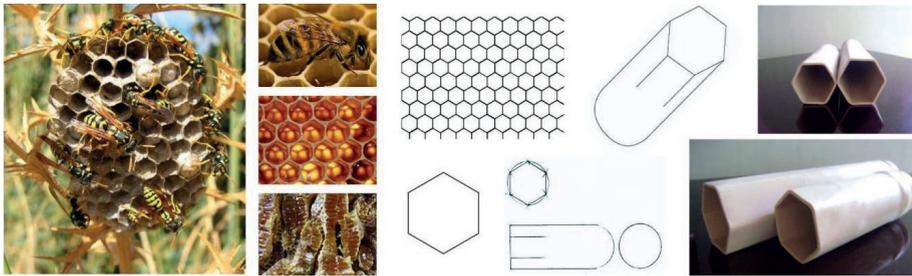


Figura 19: Estudo da interpretação da Colmeia por Bruno Martins em 2007.
Fonte: SOARES, 2016

12. **Estudo do Tatu Bola:** A característica mais marcante do Tatu-bola é a capacidade de se enrolar em torno de si mesmo num aspecto esférico, por isto foi feita a geometrização da forma, em partes segmentadas concêntricas, interpretando-a um modelo síntese deste mecanismo do movimento. (Figura 20)

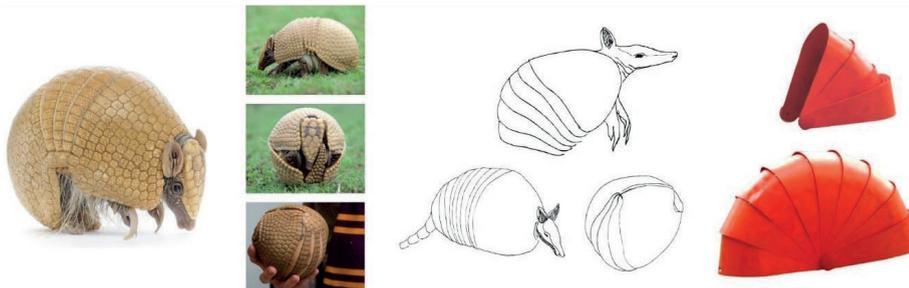


Figura 20: Estudo da interpretação do Tatu Bola por Pedro Santana em 2010.
Fonte: SOARES, 2016

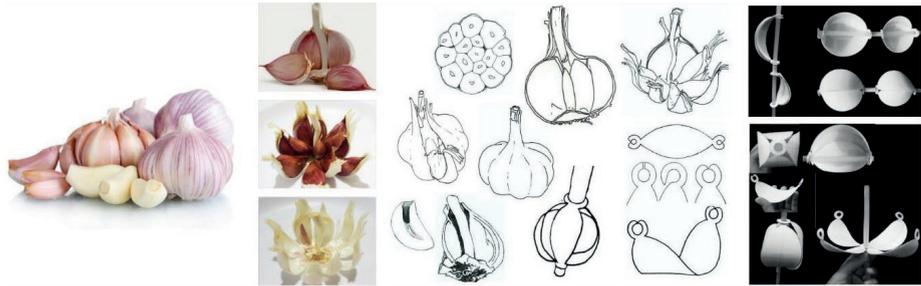
13. **Estudo do abacaxi:** o foco foi na estrutura da coroa representada pelas camadas sobrepostas das folhas. Para a construção do modelo, se destacou estas camadas através de uma síntese geométrica, o que torna possível a criação de várias estruturas baseadas no mesmo princípio. (Figura 21)



Figura 21: Estudo do Abacaxi por Natália Barbosa e Tamyres Siqueira em 2010.
Fonte: SOARES, 2016

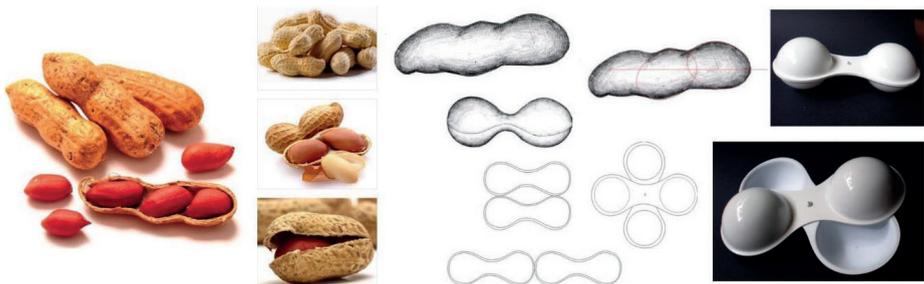
14. **Estudo do alho:** Uma das características observadas neste estudo foi a disposição dos dentes de alho no bulbo. A forma como eles se encaixam e se destacam do talo central representou a síntese do modelo proposto. **(Figura 22)**

Figura 22. Estudo da interpretação do Alho por Aline Morais e Lucas Ayres em 2007.
Fonte: SOARES, 2016



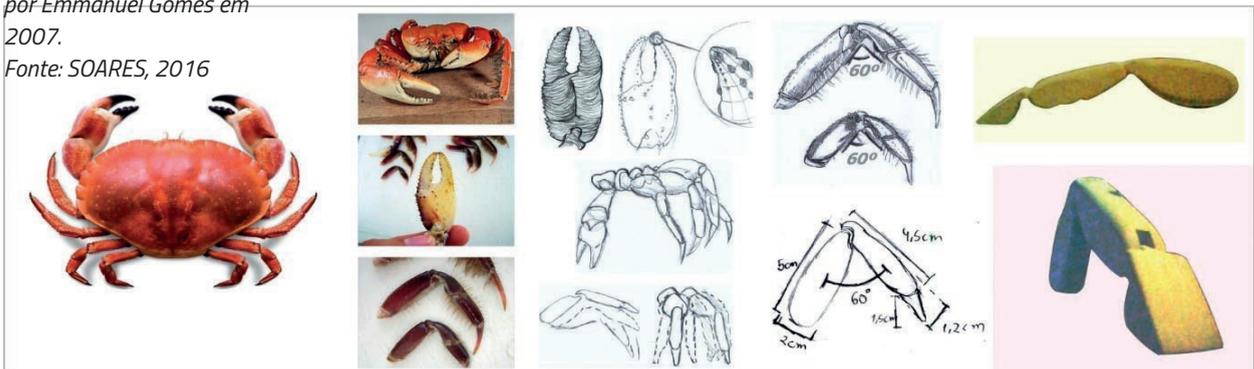
15. **Estudo do amendoim:** A característica analisada destacou a parte bipartida da casca onde o seu modelo evidenciou o potencial natural desta estrutura como embalagem, aqui representada por uma síntese geométrica de 2 hemisférios com eixo giratório. **(Figura 23)**

Figura 23: Estudo da interpretação do amendoim por Alinne Torres e Soraya Holder em 2010.
Fonte: SOARES, 2016



16. **Estudo do caranguejo:** Este modelo levou em consideração a pata do caranguejo em relação ao ângulo de amplitude que a mesma pode atingir sem oferecer dano ao animal, foi adotada também a relação de tamanhos entre a primeira e a segunda parte, modificando o formato da terceira peça com uma base plana, própria para o apoio. **(Figura 24)**

Figura 24: Estudo da interpretação do Caranguejo por Emmanuel Gomes em 2007.
Fonte: SOARES, 2016



17. **Estudo da Alpínia:** O modelo em questão levou em consideração o formato côncavo das pétalas da flor da planta e sugere aplicação como peça modular para iluminação pública. (Figura 25)

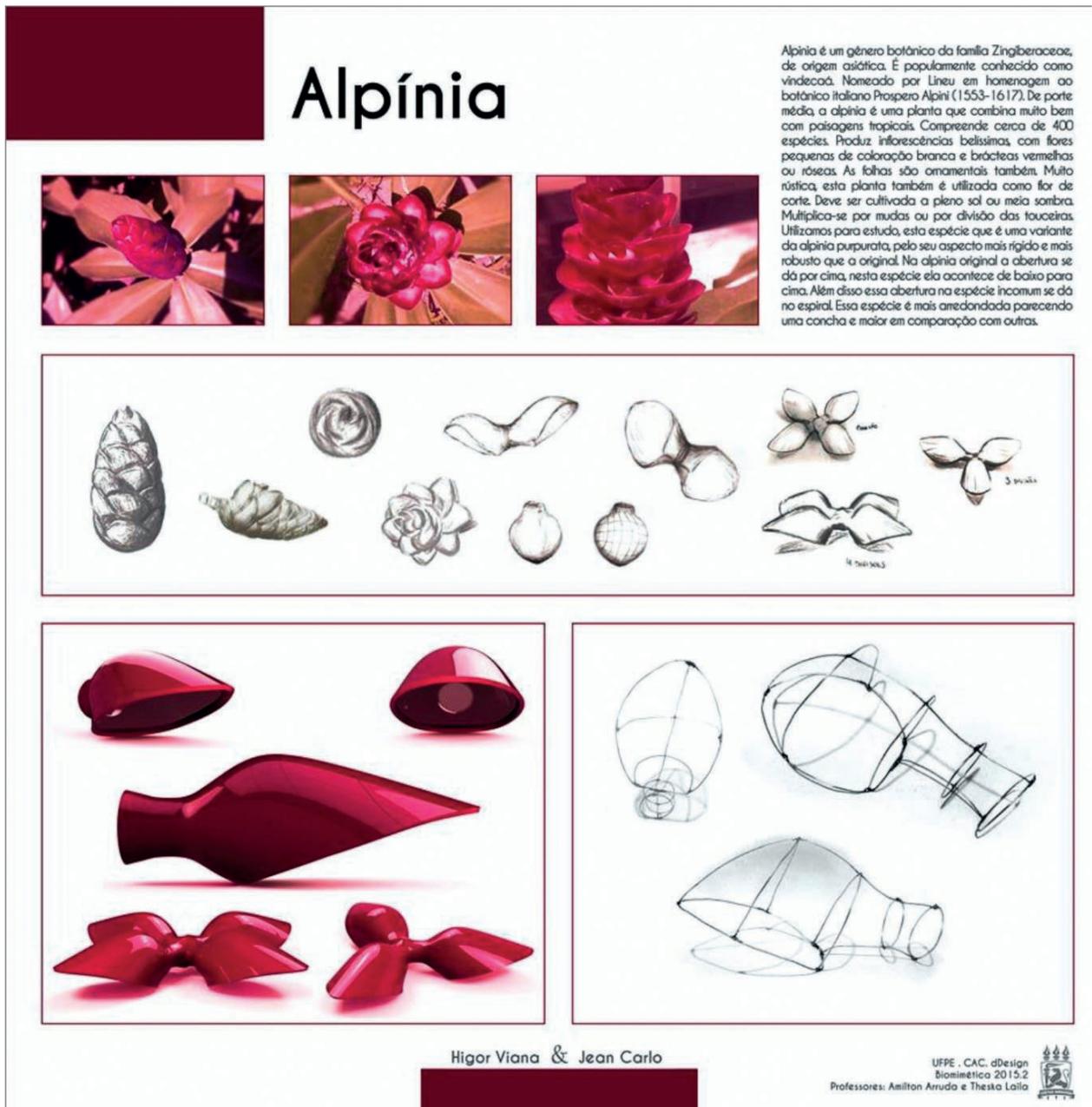


Figura 25: Estudo da Alpínia por Higor Viana e Jean Carlo em formato de banner apresentado em exposição no Centro de Artes de Comunicação da UFPE em 2015.

Fonte: SOARES, 2016

A seguir, outros banners com os trabalhos dos alunos para a Disciplina de Biomimética ministrada por Soares e Arruda no período de 2015.2. (Figura 26)

Pluméria Obtusa | Jasmim Manga

As espécies pertencem ao grupo de plantas do gênero *Plumieria*. O Jasmim Manga é uma espécie nativa do Brasil, originária do estado de Pernambuco. Ela possui flores brancas com um aroma doce e agradável. A Pluméria Obtusa é uma espécie exótica, originária da América Central. Ela possui flores brancas com um aroma doce e agradável. A Pluméria Obtusa é uma espécie exótica, originária da América Central. Ela possui flores brancas com um aroma doce e agradável.

A inspiração veio da estrutura das pétalas, que são arredondadas e se abrem para cima, formando uma espécie de "cálice" que protege o fruto. Essa estrutura foi traduzida para um vaso que possui uma abertura superior arredondada e se abrem para cima, formando uma espécie de "cálice" que protege o fruto.

Dayvi Almeida & Bessan Cruz

Aurelia Aurita

Aurelia Aurita é uma espécie de águas-vivas pertencente ao gênero Aurelia. Ela possui um corpo gelatinoso e transparente, com uma cor azulada. Ela possui oito braços e um disco oral arredondado. Ela é conhecida por sua capacidade de regeneração e sua longa vida útil.

Marina Assari & Rafael Torres

Girassol

O Girassol (*Helianthus annuus*), é uma planta nativa da América do Norte, originariamente cultivada para o abastecimento do povo indígena. Hoje, girassóis refinados são usados para fazer óleo de cozinha e para fazer biodiesel. O girassol é uma planta anual que cresce até 2 metros de altura. Ela possui flores amarelas e um disco central marrom. Ela é conhecida por sua capacidade de seguir o sol durante o dia.

Tatiana Fereira de Lima & Thiago Francisco Falcão Fonseca

Helichair

Helichair, uma planta presente em regiões de clima equatorial, tropical e subtropical. Ela é bem conhecida por suas flores vermelhas, que se abrem durante o dia e se fecham durante a noite. Ela possui um disco central marrom e um anel de flores vermelhas. Ela é conhecida por sua capacidade de seguir o sol durante o dia.

Walter Gabriel Lima & Fábio Regina Brito

Biomimética 2015.2

Membracis Lunata (soldadinho)

Modelo final:
- Traços arqueados e orgânicos
- Elegância e leveza.

Insetos membros da ordem MEMBRACIS, subordem AUCSIORRHYNCHA, família MEMBRACIDAE, caracterizados, principalmente, por apresentarem uma grande proeminência que recobre a cabeça e se estende para trás até chegar ao abdômen.

Ana Vermeir & Rodrigo Garcia

Ilumitata

Ilumitata é uma obra de arte inspirada na natureza, criada por artistas brasileiros. Ela é feita de vidro e possui uma forma arredondada e orgânica. Ela é conhecida por sua capacidade de seguir o sol durante o dia.

Garibaldi Nóbis & Caco Ribeiro

Figura 26: Banners apresentados em exposição no Centro de Artes de Comunicação da UFPE em 2015, com os trabalhos dos alunos para o encerramento da disciplina de Biomimética. Fonte: SOARES, 2016

5. CONCLUSÃO

A Natureza é uma fonte inesgotável de inspiração que é abundante e de fácil acesso para todos. Tanto no reino animal, vegetal ou mineral existe uma infinidade de formas, cores e texturas, detalhes que podem ser observados, analisados, representados e interpretados nas *Biotécnicas* (Biônica, Biomimética ou Biodesign), utilizadas como técnica criativa com grande potencial de aplicação em projetos de Design. Observar a qualidade estético-formal de modelos biológicos é bastante interessante, o que justifica sua coerência em também utilizá-la em exercícios criativos em cursos de Design.

Através das Analogias Morfológica, Funcional ou Simbólica utilizadas para encontrar soluções de concepção com referência no mundo natural, pode-se “imitar” características estruturais, formais, funcionais ou de interpretação abstrata da natureza para aplicação em artefatos artificiais. Dentro do campo da Biomimética se revelam muito úteis para descobrir novos princípios, formas, processos, estruturas etc.; contribuindo bastante neste processo de interpretação aplicada das estruturas naturais. Alguns trabalhos de alunos do Laboratório de Biodesign (UFPE/BRA) demonstram são bons representantes da Analogia Morfológica. Destes exemplos foram mostradas as etapas do método com foco, em primeira instância, no desenvolvimento de modelos síntese da interpretação geométrica das formas naturais analisadas neste grande cenário de inspiração e de possibilidades criativas, visando-se também, engajar, familiarizar e despertar o interesse dos alunos pelo tema.

Neste contexto, enfatiza-se aqui a importância da pesquisa prévia sobre o contexto da estrutura natural a ser analisada, para identificar e descrever suas características, pois podem servir de critérios, parâmetros ou fatores a serem utilizados na abstração geométrica que resultará no modelo biomimético. Os estudos através dos desenhos também geram muitas possibilidades de inovação e desdobramento de novas formas, como visto no caso do estudo do milho em que o modelo gerado partiu, não da forma do milho propriamente dita, nem do *shape* externo, ou do seu grão, como seria mais lógica a referência, mas sim, do desenho formado pela ausência do material, uma espécie de parte negativa formada pelo espaço entre as fileiras dos caroços, o que gerou um resultado muito original de interpretação desse estudo.

Por fim, é importante perceber ainda que há necessidade de contínuos estudos para oferecer novos avanços da investigação Biomimética utilizando a Analogia Natural, pois esta transferência de um conceito ou mecanismo vivo para sistemas inanimados não é um trabalho fácil, apesar de toda tecnologia disponível, pois mesmo a mais simples das estruturas naturais possui grande complexidade, e para sua devida compreensão e replicação, muitas vezes requer esforços multidisciplinares.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, Amilton. Bionic basic: verso un nuovo modello di ricerca progettuale. 2002. 175 p. Tese (doutorado) – Univesidade Politécnico de Milão, Dottorato di Ricerca in Disegno Industriale e Comunicazione Multimediale.
- _____. Verso una didattica nel campo biônico: ipotesi per lo sviluppo di una strategia progettuale. 1993. 185 p. Dissertação (mestrado) – Istituto Europeo di Disegn di Milano, Centro Ricerche in Strutture Naturali.
- BENYUS, J. M. Biomimética: inovação inspirada pela natureza. 6. ed. São Paulo: Cultrix, 1997.
- BONSIEPE, Gui. Teoria e prática do design industrial: elementos para um manual crítico. 1992. 362 p. Lisbon: Centro Português de Design.
- BROECK, F. V. O uso de analogias biológicas. Revista Design e Interiores. São Paulo: n.15, p. 97-100, 1989.
- CRUZ, André J. A. B. Architectura [bio]lógica, uma análise da obra de Frei Otto. 2012. 229p. Dissertação de Mestrado Integrado em Architectura Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Departamento de Architectura.
- GORDON, William. Sinética: el desarrollo de la capacidad creadora. México: Herreros Hnos. S. A., 1965.
- GRUBER, P. Biomimetic in Architecture [Architekturbionik]. In: Biomimetics materials, structures and processes – examples, ideas and case studies. Berlin: Springer-Verlag, 2011.
- LIUA, Kesong Liua, JIANG, Lei. Bio-inspired design of multiscale structures for function integration. Nano Today. n. 6, p. 155-175. Elsevier, 2011.
- PEREIRA, Inês, V.M. Architectura biônica, narrativas de analogias biológicas na Architectura. 2013. 171p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Architectura, Porto, Faculdade de Architectura da Universidade do Porto.
- PÉREZ, R. López. Manual de criatividade. Santiago: Bravo e Allende, 1999.
- RAMOS, Jaime. A Biônica aplicada ao projeto de produtos. 1993. 132p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SANTOS, C. O desenho como processo de aplicação da biomimética na arquitetura e no design. Revista TÓPOS. v. 4, n. 2, p. 144-192. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2010.
- SOARES, Theska. A biomimética e a geodésica de Buckminster Fuller: uma estratégia de biodesign. Recife, 2016. 315 p. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Design) – Universidade Federal de Pernambuco.
- STEADMAN, Philip. The evolution of designs – biological analogy in architecture and applied art, 1ª ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1979, 1988, revised edition, 2008.
- THOMPSON, D'arcy Wentworth. On growth and form. 1ªed., Cambridge, Cambridge University Press, 1961.
- VERSOS, Carlos. A.M. Design biônico: a natureza como inspiração criativa. Dissertação (Mestrado). 2010. 186p – Universidade da Beira Interior, Covilhã, Departamento de engenharia Eletromecânica.
- VINCI, Leonardo. Da Vinci por ele mesmo. Tradutor: Marcos Malvezi. São Paulo: Madras, 2004.
- WILSON, Jamal O. & ROSEN, David. The effects of biological examples in idea generation. Design Studies. n. 31 p. 169-186, Elsevier, 2010.