

Biblioteca Universitaria
- UFSC -

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



0.217.619-0

UFSC-BU

Jaime Ramos

A BIÔNICA APLICADA AO PROJETO DE PRODUTOS

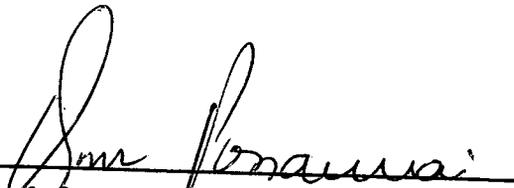
Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

FLORIANÓPOLIS
1993

A BIÔNICA APLICADA AO PROJETO DE PRODUTOS

Jaime Ramos

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de mestre em engenharia, especialidade em engenharia de produção, e aprovada na sua forma final pelo programa de pós-graduação.


Prof. Osmar Possamai, Dr.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:


Profª. Ingeborg Sell, Dr. rer. nat
presidente


Profª. Leila Amaral Gontijo, Dr. Erg.


Prof. Miguel Fiod Neto, Dr.

Dedico este trabalho aos meus pais, Zilda e David, que souberam me mostrar o caminho, ao meu irmão Edison que me mostrou o desvio certo e aos meus irmãos Eliseu, Roberto, Orlando e Daisi pelo apoio e atenção.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi possível graças a colaboração das seguintes instituições e pessoas a quem dedico os meus sinceros agradecimentos:

- *à CAPES pelo apoio financeiro;*
- *ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC pela oportunidade de realizar este trabalho;*
- *à Pontifícia Universidade Católica do Paraná pelo apoio financeiro e material;*
- *ao Núcleo Setorial de Informação em Desenho Industrial do Departamento de Tecnologia da FIESP/CIESP pela pesquisa e, contribuição bibliográfica;*
- *à professora Ingeborg Sell, orientadora, pela sua colaboração e Incentivo;*
- *à Andrea Lago pelo apoio, carinho e compreensão;*
- *à Maria Amélia e à Maria da Graça pela paciência em revisar as últimas versões;*
- *ao professor José Casela e alunos do curso de Desenho Industrial da PUC- PR pelo incentivo e participação;*
- *ao Davi, pela ajuda na tradução dos textos;*
- *aos professores Virgínia Kistmann, Carlos Righi, Francisco Lobo, e Amilton Arruda pela valiosa contribuição bibliográfica;*
- *todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. O tema	2
1.2. Delimitação do tema	3
1.3. Definição do problema	3
1.4. Formulação dos objetivos	8
1.5. Justificativa	8
1.6. Estrutura da dissertação	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1. Antecedentes	11
2.2. Conceitos	13
2.3. A interdisciplinaridade da Biônica	14
2.4. A Biônica e a criatividade	15
2.5. A Biônica e a relação forma, função e material	17
2.6. Forças naturais determinantes da forma, função e material	19
3. SOLUÇÕES DA NATUREZA UTILIZADAS EM PRODUTOS	27
3.1. A Redução de material próximo da zona neutra	27
3.2. A combinação de materiais sob tração e, sob compressão	28
3.3. A utilização de curvas	31
3.4. A utilização de formas esféricas para conter fluidos	32

4. A BIÔNICA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	37
4.1. O uso da Biônica dentro da metodologia projetual	37
4.2. Procedimentos para o uso da Biônica em projetos.....	38
4.3. O uso de um banco de dados	41
5. APLICAÇÃO	47
5.1. Etapas da aplicação.....	47
5.2. Constatações e resultados da aplicação	48
6. CONCLUSÃO	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
8. BIBLIOGRAFIA.....	55
9. APÊNDICE	56

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1- Tatu.....	2
Fig. 1.2- Pata da lagartixa.....	2
Fig. 1.3- Aparelho tradicional.....	4
Fig. 1.4- Análise da articulação do dedo humano.....	5
Fig. 1.5- Análise de elementos naturais, hipótese projetual e modelo.....	5
Fig. 1.6- Tentáculos do polvo, pé de pássaro e hipótese projetual.....	6
Fig. 1.7- Protótipo de braço robotizado modular Naturo Due.....	6
Fig. 2.1- A asa de Leonardo da Vinci.....	11
Fig. 2.2- A máquina voadora de Clément Ader.....	12
Fig. 2.3- Folha da Vitoria régia modelo para o Crystal Palace.....	12
Fig. 2.4- O Crystal Palace.....	12
Fig. 2.5- Construção arboriforme de Frei Otto.....	18
Fig. 2.6- Semente espinhuda e velcro.....	18
Fig. 2.7- Estrutura interna do osso.....	19
Fig. 2.8- Torre Eiffel.....	19
Fig. 2.9- Cristais de neve.....	20
Fig. 2.10- Dobrando a aresta o volume do cubo aumenta oito vezes.....	21
Fig. 2.11- Ossos de resistência proporcional.....	22
Fig. 2.12- Esqueletos de mamíferos de tamanhos diferentes.....	22
Fig. 2.13- Mamífero.....	24
Fig. 2.14- Pontes pênses.....	24
Fig. 2.15- Perfil de viga I + I em rotação.....	25
Fig. 2.16- Aumento da espessura da parede na metade do osso.....	25
Fig. 2.17- Trabécula óssea.....	26
Fig. 3.1- Viga submetida a flexão.....	27
Fig. 3.2- Secção de viga compacta, em I, T e oca.....	27
Fig. 3.3- Viga com camadas independentes.....	28

Fig. 3.4- Viga com traves à 45 graus	28
Fig. 3.5- Tração e compressão	29
Fig. 3.6- Viga com tensor metálico	29
Fig. 3.7- Viga em cantilever.....	29
Fig. 3.8- Viga em "cantilever" composta suspensa	30
Fig. 3.9.- Esqueleto do bisonte e estrutura de uma ponte	30
Fig. 3.10- Folha de papel	31
Fig. 3.11- Tubo e tubo achatado	32
Fig. 3.12- Osso com secção defasada	32
Fig. 3.13- Telha ondulada simples e telha com ondulações defasadas.....	32
Fig. 3.14- Esferas na natureza e na técnica.....	33
Fig. 3.15- Radiolários e cúpula geodésica	33
Fig. 3.16- Tartaruga	34
Fig. 3.17- Base da carapaça	34
Fig. 3.18- Verme.....	35
Fig. 3.19- Morcego da Índia	36
Fig. 4.1- A partir de um objeto natural surge uma idéia para um produto	38
Fig. 4.2- A partir de um problema de projeto são buscadas soluções	39
Fig. 4.3- A descoberta de soluções a partir da observação e da intuição ...	39
Fig. 4.4- A busca de soluções a partir de um argumento projetual	40
Fig. 4.5- A pesquisa básica fornecendo apoio à pesquisa aplicada	40
Fig. 4.6- O projeto de produtos com o apoio de um banco de dados	41
Fig. 4.7- Seqüência de registro das informações no banco de dados	43
Fig. 5.1- Trem movido a expansão/contração de fole	49
Fig. 5.2- A bota com molas.....	49
Fig. 5.3- Salto do canguru e modelo com elástico	49
Fig. 5.4- Veículo saltante inspirado no movimento das pernas	50

RESUMO

Este trabalho parte do pressuposto de que a natureza é uma fonte de idéias válidas para serem aplicadas na resolução dos problemas humanos.

A sistematização dos procedimentos utilizados para a compreensão dos princípios contidos nos sistemas naturais e a aplicação deste conhecimento para a construção do meio artificial faz parte da atividade biônica.

Neste trabalho, a Biônica é abordada, analisando a sua contribuição, como recurso capaz de auxiliar projetistas a resolverem problemas na criação de formas, incorporação de funções e racionalização do uso de materiais nos produtos.

Como base teórica, são apresentadas as principais definições da Biônica, os seus antecedentes históricos e as possibilidades desta atividade como recurso criativo capaz de contribuir no processo de otimização de produtos.

Como passo inicial, para suprir a falta de informações sobre o assunto e como apoio à atividade projetual, este trabalho sugere e apresenta um banco de dados contendo exemplos de princípios obtidos através do estudo dos sistemas naturais e as aplicações já realizadas desses princípios em produtos técnicos. O uso deste banco de dados, foi testado em uma aplicação no ensino. Essa aplicação permitiu comprovar as possibilidades do uso criativo da Biônica no desenvolvimento de produtos inovadores.

Palavras-Chave: Biônica, analogias biológicas, analogias naturais, criatividade

ABSTRACT

Nature is a source of valid ideas that can be applied in technical problem solving.

This dissertation is based on the concept of Bionics, a field of study that systematically searches for the understanding of principles that rule natural systems and attempts to apply that knowledge in the designing and building of our artificial environment.

In this work, Bionics is assumed as a valuable tool to help designers solve problems related to form definition, incorporating of functions and rationalization of material use.

As a base for development, main concepts of Bionics, its history and possibilities it represents for creative product rationalization are presented. As an attempt to minimize the lack of information in the field and aid design activities, a database made up principles and their applications is suggested and introduced. A practical application of such database has been tested and possibilities for creative use of bionics in the development of innovative products were confirmed.

Key words: Bionics, Biological Analogies, Natural analogies, Creativity

1. INTRODUÇÃO

A vida na terra é resultado dos processos de evolução e seleção naturais que se desenrolam há mais de três bilhões de anos em nosso planeta. Na luta pela sobrevivência, os organismos mais adaptados às condições do meio têm maiores chances de vencer. Assim, as características que resultam em eficiência e funcionalidade, passam para as gerações seguintes, ao passo que os seres que não possuem essas características tendem a desaparecer.

Ao contrário do ser humano que tem uma curta existência para criar, a natureza possui milhões de anos de experiência, na criação e adequação de formas. O homem primitivo aproveitava essa experiência, usando a natureza como fonte de inspiração para resolver seus problemas diários. As primeiras choupanas se assemelhavam aos ninhos dos pássaros. A ponta do arpão, usado desde a idade da pedra, é semelhante ao ferrão dos insetos e aos espinhos de algumas plantas.

Na luta pela sobrevivência, e na tentativa de controlar e não ser controlado pelos fenômenos naturais, o homem afastou-se do meio natural, passando a destruir a fauna e a flora para construir seu mundo. Talvez seja por esse motivo que só depois de criar soluções tecnológicas — como o sonar, por exemplo — o homem percebe que essa solução já existia na natureza há muito tempo — no caso do sonar, o eco-localizador do golfinho.

Na busca de respostas para seus problemas, o homem pode obter avanços significativos se voltar a utilizar as soluções existentes no meio natural, aproveitando o potencial dessas lições e encarando a natureza — não mais como ameaça que deve ser eliminada — mas como fonte de inspiração consciente capaz de oferecer alternativas para a solução dos problemas e necessidades humanas.

Este trabalho pretende contribuir para estimular o interesse pelo potencial das soluções desenvolvidas pela natureza durante o longo processo de evolução, examinando a sabedoria contida nos princípios naturais e os exemplos de sua aplicação criativa no desenvolvimento de produtos, demonstrando através da percepção unificada da natureza e da técnica as vantagens trazidas pela conexão do conhecimento de diferentes áreas.

1.1. O tema

A atividade biônica consiste em analisar sistemas naturais, com o objetivo de identificar princípios de solução, que devidamente adaptados, possam vir a contribuir para a solução de problemas técnicos. Essas adaptações permitem criar **formas** análogas, **funções** análogas ou ainda **comportamentos** análogos.

A criação de **formas** análogas consiste em estudar a forma do objeto natural, visando aplicar os princípios contidos nesta forma na criação de produtos. Por exemplo: um estudo da carapaça do tatu e de como ele é capaz de fechá-la sobre si mesmo quando necessita de proteção, pode permitir o desenvolvimento de produtos com formas análogas, tais como: reservatórios, brinquedos, embalagens do tipo abre/fecha, entre outros.



Fig. 1.1- Tatu

Fonte: Bombardelli (1985, p. 8)

O estudo das características, que permitem ao objeto natural o cumprimento de suas **funções**, possibilita a criação de produtos que cumpram funções análogas. Por exemplo: a lagartixa possui patas cuja sola apresenta várias fileiras de lâminas que têm a função de garantir a aderência das patas em qualquer superfície. Desta forma ela pode até mesmo escalar paredes de vidro. O estudo das patas deste pequeno animal poderia oferecer soluções para melhorar a aderência das solas dos calçados.



Fig. 1.2- Pata da lagartixa

Fonte: Talento (1993, p.64)

A compreensão dos artificios que os sistemas naturais desenvolveram, para extrair o máximo de eficiência de suas formas e cumprirem suas funções com o mínimo de materiais ou componentes, permite o desenvolvimento de produtos que utilizem de modo mais racional os materiais e recursos naturais, poupando nosso combalido meio ambiente.

Uma aplicação particular da Biônica pode ser vista na cibernética, que se interessa mais pela criação de **comportamentos** análogos aos dos sistemas de recepção, tratamento de informações, coordenação e auto-regulação dos seres vivos. O morcego, por exemplo, evita obstáculos e localiza suas presas utilizando um radar natural. Alguns insetos, habitualmente caçados pelo morcego, são capazes de detectar as ondas sonoras emitidas pelo mesmo e de anulá-las, emitindo vibrações no mesmo comprimento de onda que confundem o morcego. Este comportamento tem sido pesquisado na busca de dispositivos capazes de confundir radares inimigos.

1.2. Delimitação do tema

A Biônica pode contribuir na concepção de produtos, utilizando analogias naturais para estimular projetistas a resolverem, criativamente, problemas da geração de formas, estabelecimento de funções, racionalização do uso de materiais e criação de comportamentos análogos.

Este trabalho se limita a abordar as possibilidades do uso criativo das analogias naturais, relativas à forma, função, ou material, levando em conta as inter-relações entre estes conceitos, uma vez, que tanto na natureza quanto no projeto de produtos, eles dificilmente podem ser dissociados.

1.3. Definição do problema

A aplicação da Biônica está fundamentada em duas atividades complementares: A primeira é a pesquisa básica que parte da natureza, buscando interpretar fenômenos naturais, sem necessariamente visar a aplicações imediatas. A segunda é a pesquisa aplicada que parte de problemas de projeto, e busca, nos sistemas naturais, princípios de solução que possam contribuir para resolver esses problemas.

Na primeira atividade, o pesquisador tenta identificar sistemas naturais que possuam características promissoras do ponto de vista da técnica, ou seja, busca no conjunto de sistemas naturais, elementos que possuam características úteis para serem aplicadas em novos produtos ou em produtos já existentes.

A segunda atividade, a pesquisa aplicada, é uma das etapas da atividade de projeto propriamente dita. Essa atividade tem como objetivo principal, resolver problemas ou atender necessidades que não estão sendo satisfeitas pelos produtos existentes. Por exemplo: O Istituto Europeo di Design de Milano (doravante citado como IED), apud Bombardelli (1985), desenvolveu um braço robótico que visava atender às necessidades não satisfeitas pelo aparelho tradicional, que era composto por um sistema extremamente complexo e antifuncional de juntas e conectores.



Fig. 1.3- Aparelho tradicional.

Fonte: Bombardelli (1985, p. 17)

Os principais problemas, apresentados pelo aparelho tradicional, que deveriam ser resolvidos pelo novo produto eram: A impossibilidade de uso fora do contexto industrial, os cabos e tubos expostos, a presença de zonas mortas muito amplas no campo operativo, e os componentes de transmissão colocados fora do aparelho, constituindo um obstáculo à movimentação do mesmo em espaços reduzidos.

Para resolver problemas como os apresentados no produto acima, a equipe de projetos faz, normalmente, uma análise cuidadosa da situação, tentando identificar quais são as necessidades dos clientes, da produção e da comercialização do produto.

O resultado dessa análise é a definição das características do futuro produto, incluindo aí os requisitos que ele deve atender, e as funções que deve cumprir. A identificação das funções e subfunções que o produto deve cumprir, permite que se passe para a etapa seguinte, que é a procura do princípio de solução, portador da função desejada para o novo produto.

Essa busca de princípios de solução pode se dar em diferentes campos, como por exemplo: os sistemas técnicos existentes, a literatura, a experimentação via construção de modelos, e, em outros campos que podem contribuir para a localização do princípio de solução desejado. Além dessas opções, existe ainda, a possibilidade do uso de soluções obtidas através da análise de sistemas naturais.

No projeto do produto desenvolvido pelo IED, o braço robótico citado anteriormente, o campo de busca de princípios de solução foi centrado nos sistemas naturais. A função principal do produto é a de alcançar objetos em qualquer posição dentro do seu raio de ação. Para cumprir bem essa função principal, deve atender ainda às seguintes subfunções: movimentar em seis graus de liberdade e agarrar objetos.

Para a subfunção movimentar em seis graus de liberdade, foram pesquisadas as possibilidades oferecidas por sistemas naturais, tais como, o dedo humano com seus ossos e articulações movimentadas pelos músculos, a coluna vertebral de um peixe, e a musculatura da tromba do elefante.

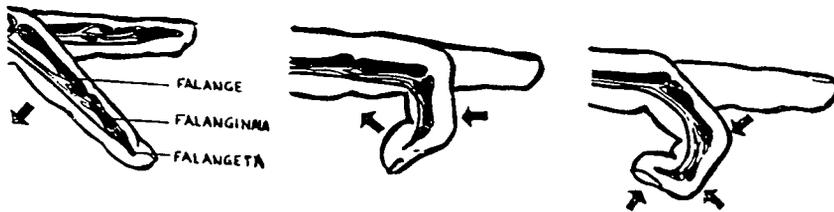


Fig. 1.4- Análise da articulação do dedo humano

Fonte: Bombardelli (1985, p.18)

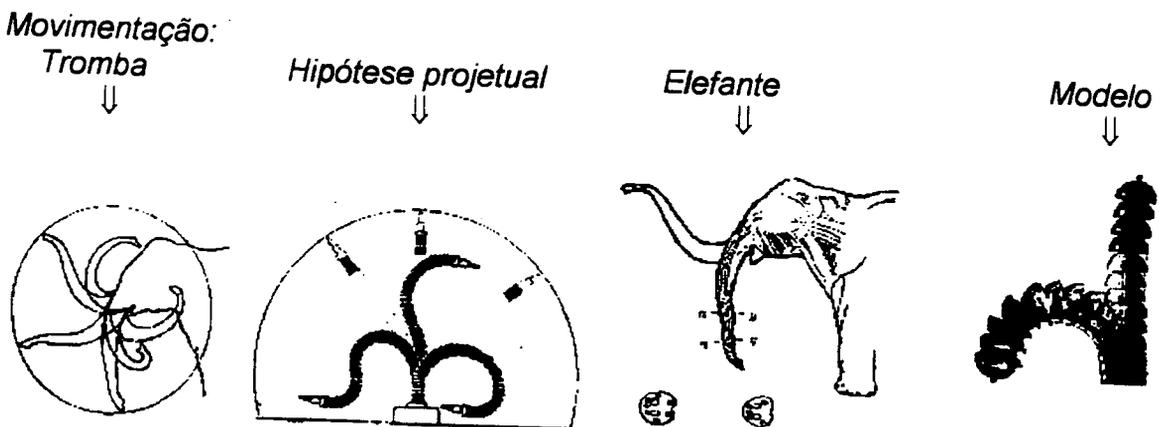


Fig. 1.5- Análise de elementos naturais, hipótese projetual e modelo derivados

Fonte: Bombardelli (1985, p.18)

Para a subfunção agarrar objetos, foram pesquisadas as possibilidades oferecidas por sistemas naturais tais como; os tentáculos do polvo, os dedos dos pássaros e o sistema bico/crânio dos mesmos.

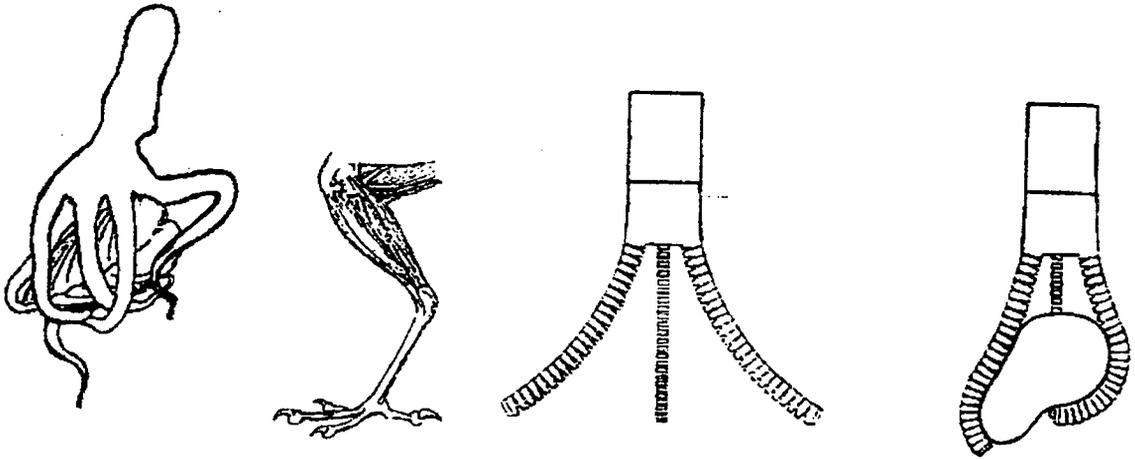


Fig. 1.6- Tentáculos do polvo, pé de pássaro e hipótese projetual derivada
Fonte: Bombardelli (1985, p.19)

Este projeto teve como resultado a construção de dois braços robotizados modulares: O *Naturo Uno*, que é capaz de segurar objetos e prestar serviços em atividades variadas e o *Naturo Due*, destinado a aplicações mais específicas como manobrar uma telecâmera ligada em circuito fechado com um terminal de vídeo.

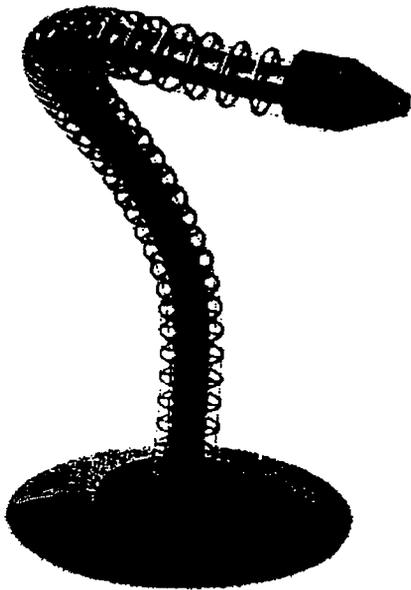


Fig. 1.7- Protótipo de braço robotizado modular *Naturo Due*
Fonte: Bombardelli (1985, p.25)

O projeto citado anteriormente foi desenvolvido em uma instituição especializada em pesquisa e aplicação do conhecimento obtido nos sistemas naturais. Um projetista fora de uma instituição desse gênero, que, diante de um projeto desse tipo, se interesse em buscar soluções na natureza, enfrentará grandes dificuldades. As principais dificuldades são: onde localizar e identificar os sistemas naturais promissores, como pesquisar sistemas específicos sem excluir sistemas importantes, e onde obter informações sobre o assunto.

A tentativa de localizar e identificar quais são os sistemas naturais promissores é um trabalho bastante demorado, uma vez que o *leque* de opções oferecido pela natureza é bastante vasto. Os principais obstáculos para a realização desse trabalho são: o tempo necessário para pesquisar com profundidade cada um dos sistemas identificados e a dificuldade em prever os resultados.

Por outro lado, uma pesquisa centrada em um sistema natural específico, poderia deixar de lado sistemas naturais promissores e dificilmente poderia ser o ponto de partida para resolver um problema de projeto.

A outra opção para a utilização da Biônica em um projeto, é a busca de informações sobre sistemas naturais em trabalhos efetuados pela pesquisa básica. A dificuldade, nesse caso, vem da escassez de publicações sobre o assunto, sendo que as pesquisas existentes são fruto de manifestações esparsas nos Estados Unidos e em países como Alemanha, Itália e França.

Colocando de forma resumida as dificuldades expostas anteriormente, o problema principal que dificulta o uso das analogias naturais no projeto de produtos, é: Onde localizar e como identificar sistemas naturais portadores de funções ou características úteis em produtos técnicos.

Tendo em vista o problema apresentado anteriormente, este trabalho apresenta uma proposta de sistematização do conhecimento existente sobre o uso da Biônica no projeto de produtos na forma, de um banco de dados.

1.4. Formulação dos objetivos

1.4.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo criar e sistematizar a utilização de um banco de dados de soluções e princípios naturais, montado a partir de pesquisas já realizadas, visando facilitar e estimular a utilização das analogias biológicas na atividade projetual em geral e no ensino em particular.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Coletar dados referentes a pesquisas de princípios existentes na natureza, que tenham a possibilidade de virem a ser aplicados na solução de problemas técnicos;
- Registrar esses dados de forma sistemática num banco de dados a ser desenvolvido;
- Estudar procedimentos que facilitem a utilização desses dados no desenvolvimento de produtos;
- Realizar uma aplicação piloto deste banco de dados, em um projeto de produto a nível de ensino;
- Viabilizar a realimentação e atualização do banco de dados com informações obtidas em novas pesquisas.

1.5. Justificativa

Na construção do meio ambiente artificial, os projetistas tentam criar formas e estruturas capazes de cumprir funções que atendam às necessidades físicas e culturais do ser humano. Para atender a essas necessidades, utilizam sua criatividade e conhecimento técnico para planejar o fluxo de materiais, energia ou informação nos produtos.

Tanto a criatividade como o conhecimento técnico, podem ser multiplicados, através da busca de inspiração na natureza, não com o objetivo de copiar, mas sim de apresentar uma nova interpretação para os princípios naturais.

Compreender como a natureza consegue desenvolver sistemas tão eficientes, sem desperdiçar os materiais ou a energia, e aplicar esse conhecimento no desenvolvimento de produtos igualmente eficientes, proporciona uma utilização mais sábia dos recursos naturais, com conseqüências positivas para o meio ambiente e para a sociedade.

Considerando que as formas naturais sempre fizeram parte do *habitat* do homem, são também as mais indicadas para servirem de interface entre o ser humano e objeto técnico, por serem facilmente assimiláveis, já que não entram em choque com a cultura visual da humanidade.

Apesar de todas essas possibilidades que a utilização da Biônica pode proporcionar, a sua aplicação, no ensino e na pesquisa aplicada, é dificultada pela falta de informações sobre o tema, uma vez que existem poucos antecedentes de pesquisas e aplicações da Biônica na área de projetos, aliada à dificuldade de se encontrar, na natureza, uma solução para um problema específico, num determinado momento, entre tantas opções que a natureza oferece.

O reduzido número de pesquisas relacionadas à Biônica, o tempo necessário para realizar tais pesquisas, e a quase ausência de disciplinas dedicadas a esse assunto nos cursos da área de projeto de produtos, têm desestimulado a utilização da Biônica na atividade de projetos dentro das empresas.

O ensino da Biônica, em cursos de projeto de produtos, permitiria uma melhor compreensão das possibilidades oferecidas pela natureza, da inter-relação entre áreas do conhecimento — tais como a Física, a Matemática, e a Biologia — e também do impacto que as decisões de projeto podem ter no nosso meio ambiente.

Este trabalho pretende sistematizar o conhecimento existente sobre o tema, e demonstrar as possibilidades abertas pela utilização da Biônica no ensino, nas disciplinas direcionadas ao projeto de produtos, para o estímulo da criatividade e para a compreensão de princípios naturais e técnicos.

A comprovação das possibilidades oferecidas pelo uso das analogias naturais no projeto de produtos, a nível de ensino, deverá contribuir para estimular a futura utilização dessas analogias dentro da atividade profissional.

1.6. Estrutura da dissertação

Este trabalho está dividido em duas partes principais, a **dissertação** propriamente dita e um **apêndice** contendo um banco de dados sobre a Biônica.

A **dissertação** apresenta, no Capítulo 2, os antecedentes históricos de utilização da Biônica no projeto de produtos, os principais conceitos dessa atividade, as principais ciências relacionadas, as possibilidades do uso criativo das analogias naturais para a otimização de produtos e a influência das forças naturais na configuração das formas dos seres.

No capítulo 3 são demonstrados alguns princípios, existentes na natureza, que têm sido utilizados na técnica.

No capítulo 4 são analisadas os principais procedimentos para aplicação da Biônica no projeto de produtos. São ainda demonstradas as possibilidades da utilização de um banco de dados, sendo definidos os campos e a estrutura desse banco.

No capítulo 5 são apresentados os resultados e as dificuldades encontradas na aplicação da Biônica, com o apoio de um banco de dados, em um projeto de produtos a nível de ensino.

No capítulo 6 são feitas considerações sobre as possibilidades e limitações da aplicação da Biônica no projeto de produtos.

O **apêndice** contém o banco de dados proposto no capítulo 4. Esse banco é dividido em três campos e reúne as informações existentes sobre características e aplicações dos princípios e soluções contidos nos sistemas naturais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Antecedentes

O homem sempre usou a natureza, como fonte de idéias para resolver seus problemas cotidianos. Mesmo a invenção da roda, girando em torno de um eixo, que teria sido a primeira criação humana, realmente original, sem modelo na natureza, poderia ter sido influenciada por elementos existentes na natureza, como por exemplo, o movimento aparente do disco solar (Hertel, 1966).

A utilização proposital de princípios biológicos no projeto de máquinas pode ser vista nos trabalhos de Leonardo Da Vinci (1452-1519) que estudou o vôo dos pássaros, analisando o batimento das asas, o vôo planado, e o vôo em equipe. Com o conhecimento adquirido nestes estudos, projetou, inicialmente, asas movidas por batidas comandadas pelos braços e pernas. Quando concluiu que o homem não teria força suficiente para sustentar o vôo "batido", passou a estudar a possibilidade de aproveitar a força do vento e a resistência do ar para viabilizar a idéia de uma máquina voadora.



Fig. 2.1- A asa de Leonardo da Vinci

Fonte: Nachtigall (1987, p. 75)

Clément Ader, em 1890, seguindo o modelo do morcego, constrói o L'Eole. Este aparelho, segundo testemunhos da época, teria realizado a primeira decolagem de uma máquina mais pesada que o ar, movida a motor (Angelucci, 1982).



Fig. 2.2- A máquina voadora de Clément Ader

Fonte: Angelucci (1982, p. 15)

Em 1850, Paxton projeta o Crystal Palace, inspirado nas folhas da vitória régia. A superfície desta planta aquática atinge, às vezes, dois metros de diâmetro, sendo composta por um disco plano e seco no lado superior, circundado por uma borda de dez centímetros de altura e com o lado inferior submerso, reforçado por nervuras que partem do centro e se dividem várias vezes por bifurcação, gerando 32 nervuras ao atingir a borda. Devido a sua rigidez radial, esta folha gigante, pode até mesmo suportar o peso de uma pessoa, ou ser deslocada sem dano, enquanto flutua.



Fig. 2.3- Folha da Vitoria régia modelo para o Crystal Palace

Fonte: Coineau (1989, p.26)

"O Crystal Palace de Sir Joseph Paxton não era somente o ponto de mudança da arquitetura nos seus conceitos de espaço e luz, mas, essa engenhosa estrutura leve, pensada nos mínimos detalhes, era a precursora dos modernos métodos de construção e montagem pré-fabricada" (Hertel, 1966).



Fig. 2.4- O Crystal Palace

Fonte: Coineau (1989, p. 26)

Sir D'Arcy Wentworth Thompson (1860-1948) foi um dos primeiros a relacionar biologia e engenharia. No seu livro "On growth and form", editado originalmente em 1917, compara estruturas naturais com as estruturas construídas pelo homem. Ele analisa as formas e o crescimento na natureza como fenômenos que têm explicações matemáticas e físicas.

A formalização do uso das analogias biológicas, ocorreu em um simpósio promovido pela força aérea americana, em 1960. Este simpósio, que agrupava matemáticos, físicos, engenheiros, psicólogos e biólogos, marca o surgimento da Biônica.

2.2. Conceitos

A Biônica foi inicialmente conceituada pelo major Jack E. Steele como: "A ciência dos sistemas cujo funcionamento foi copiado de sistemas naturais ou que apresentam características específicas de sistemas naturais ou ainda que lhes são análogos" (Gerardin, 1968).

Uma conceituação mais completa foi formulada por Offner (1974), definindo a Biônica como o estudo dos sistemas vivos com o objetivo de descobrir novos princípios, técnicas e processos para serem aplicados em tecnologia de fabricação humana. A Biônica analisa quantitativamente modelos biológicos, seus princípios e características funcionais com o objetivo de buscar inspiração e novas abordagens para a concepção de sistemas técnicos com características análogas.

Essas duas conceituações se referem unicamente aos seres vivos, sem considerar um possível estudo dos minerais. Isto se deve, provavelmente, ao fato de que a Biônica visava no início, principalmente, as aplicações militares, e neste caso interessavam mais os estudos de problemas relativos a sistemas de controle, de coordenação e de detecção dos seres vivos, que são estudados pela Cibernética, tais como: o sonar, o radar, os termoreceptores entre outros.

A conceituação mais adequada ao estudo dos princípios naturais nos aspectos relativos à forma, à função e aos materiais, é dada por Vanden Broeck como "o estudo dos sistemas e organizações naturais visando analisar e recuperar soluções funcionais, estruturais e formais para aplicá-las na resolução de problemas humanos através da geração de tecnologias e concepção de objetos e sistemas de objetos" (Vanden Broeck, 1989).

2.3. A interdisciplinaridade da Biônica

Nos meados do século 20, para superar as barreiras que a especialização científica criava, para a comunicação entre pesquisadores e para o desenvolvimento científico em geral, começaram a surgir ciências que estabeleciam ligações entre os diferentes ramos do conhecimento. Estas eram chamadas de interciências ou ainda de ciências de encruzilhada.

A Cibernética foi uma das primeiras pontes entre a biologia e a técnica. Norbert Wiener (1894-1963), seu criador, a definia como a ciência do "controle e comunicação no animal e na máquina" (Wiener, 1970). Ele percebeu semelhanças entre os sistemas de comunicação e controle de um animal e os de uma máquina. Propôs, então, reunir o conhecimento dos biólogos no comportamento animal, com o conhecimento dos engenheiros em mecanismos de controle automático, criando uma nova ciência, a Cibernética.

Entretanto, a compreensão dos complexos sistemas de controle e comunicação dos animais, entre os quais o homem, dependia, não somente da Biologia e da Engenharia, mas também das ciências Biomédicas, da Linguística, da Psicologia, da Pedagogia e da Sociologia. Assim, a Cibernética baseia-se tanto nas ciências naturais e matemáticas quanto nas ciências humanas e sociais.

A Biônica e a Cibernética são dois aspectos diferentes de um mesmo ramo, enquanto a Cibernética tem por finalidade estudar os sistemas vivos por analogia com os mecânicos, a Biônica propõe-se a estudar e construir sistema mecânicos por analogias com os seres vivos (Gerardin, 1968).

Outra interciência freqüentemente confundida com a Biônica é a Bioengenharia. A Bioengenharia ou Engenharia Biomédica surgiu da necessidade de novas técnicas e novas aparelhagens para a Medicina. Enquanto médicos ou biólogos se voltam para as necessidades do organismo, os engenheiros aplicam seus conhecimentos para a construção de aparelhos necessários para pesquisas e diagnóstico na Medicina.

Outra aplicação da Bioengenharia, que neste caso é auxiliada pela Biomecânica, é a substituição de partes defeituosas de um organismo. Isso vai desde a construção de próteses com função estrutural como os ossos e ligamentos, até órgãos artificiais para substituir a visão, audição, fala e, até mesmo, o coração.

O quadro a seguir, localiza a Biônica entre as ciências naturais e exatas e demonstra o posicionamento de outras ciências e atividades que, de alguma forma, se relacionam com o assunto.

Quadro 1: A localização da Biônica entre outras ciências e atividades

CIÊNCIAS NATURAIS	CIÊNCIAS EXATAS	CIÊNCIAS HUMANAS
Botânica	Matemática	Psicologia
Zoologia	Física	Sociologia
Biologia	Engenharia	Antropologia
← Bioengenharia / Biomecânica →		
← Biônica →		
← Cibernética →		

A Biônica vem sendo utilizada, principalmente, em atividades voltadas a atividade projetual, como a Engenharia, a Arquitetura e o Desenho Industrial. Apesar dos diferentes enfoques que cada área dá ao assunto, podendo analisar mais aspectos quantitativos ou qualitativos, essas áreas utilizam a Biônica de forma semelhante e "recorrem aos seres vivos e elementos naturais para encontrarem os princípios de soluções de seus problemas projetuais" (Gomes, 1985).

Dependendo dos objetivos do projeto, a Biônica pode ser utilizada mais como uma atividade que contribui para estimular a criatividade, ou mais como uma ciência que visa à compreensão dos fenômenos naturais, com o objetivo de aplicar este conhecimento na otimização de produtos, visando dar maior eficiência para a relação entre forma, função e material nos produtos. Entretanto, é conveniente lembrar aqui, que a eficiência é o resultado que se espera de uma solução criativa.

2.4. A Biônica e a criatividade

Criatividade, segundo Dualibi & Simonsem (1971), é a capacidade de formar mentalmente as idéias, imagens e coisas não presentes ou dar existência a algo novo, único e original, porém com um objetivo.

Entretanto, ninguém é criativo a partir do nada. Um indivíduo só é criativo quando consegue, a partir de suas experiências "associar fatos conhecidos que no entanto eram encarados como estranhos uns aos outros" (Poincaré apud Dualibi & Simonsem, 1971).

Portanto, a criatividade pode ser definida como a capacidade de relacionar fatos ou idéias já conhecidas, produzindo novas interpretações.

A atividade básica da Biônica consiste em relacionar os princípios de solução existentes na natureza, produzindo novas interpretações para esses princípios quando da sua aplicação na configuração do meio artificial. Assim, pode-se dizer que a utilização da Biônica, constitui um excelente exercício de criatividade.

2.4.1. Biônica e criatividade no ensino

Partindo do princípio de que o homem considera como limites do seu mundo os limites do seu próprio campo de visão (Shopenhauer apud Offner, 1974), o ensino pode dar uma grande contribuição para a expansão desses limites, fornecendo referências capazes de expandir e explorar todo o potencial criativo dos estudantes.

A introdução da Biônica no ensino de projetos estimulará o desenvolvimento de habilidades necessárias ao desenvolvimento da criatividade, tais como:

- O poder de observação e a curiosidade, através da busca de novas interpretações para os princípios naturais;
- O pensamento paralelo estabelecendo relações entre o conhecimento de diferentes áreas, como a física, a matemática e as ciências naturais, com efeitos benéficos para a compreensão destas disciplinas.
- A percepção de oportunidades através da prática de ver a natureza como fonte de inspiração para o desenvolvimento de produtos.
- A flexibilidade mental através da liberação da mente para pensar de forma não convencional, relacionando a natureza com o meio artificial.

Criatividade é, também, uma habilidade que não pode ser ensinada, mas que pode ser desenvolvida através de treino e de métodos apropriados. Algumas dessas técnicas, como brainstorming, método 635, sinergia e método Delphi visam incentivar o uso de atitudes e comportamentos criativos.

2.4.2. Semelhanças entre sinergia e Biônica

Segundo Raudsepp (1969), um dos métodos mais promissores para fomentar a criatividade é a sinergia. Os procedimentos desse método imitam o modo de funcionamento da mente humana quando ela está na sua melhor forma. A característica mais importante deste método está no uso repetido de analogias que levem a abordagem do problema, sob novos pontos de vista.

A tentativa analógica é uma tentativa por desvios e consiste em nos afastarmos do problema, relacionando-o com conceitos, idéias e imagens que ele nos inspira para depois retornarmos com todo esse material, confrontando-o com o problema inicial num processo chamado de *cruzamento*, para daí extrairmos soluções.

Tanto a sinergia como a Biônica se utilizam de analogias para resolver problemas de projeto, porém, na sinergia essa busca de soluções se dá em áreas bastante variadas como a literatura, a natureza ou até a arte. Já no caso da Biônica, a busca de soluções acontece exclusivamente na natureza através da compreensão dos fenômenos naturais e da utilização deste conhecimento para resolver problemas de projeto.

2.5. A Biônica e a relação forma, função e material

Tanto como atividade que contribui para estimular a criatividade, quanto como ciência que busca a compreensão dos fenômenos naturais, visando recuperar princípios e soluções para resolver problemas na técnica, a contribuição da Biônica é possível principalmente a nível de:

- **Determinação da forma:** Considerando que o homem faz parte da natureza, as formas nela inspiradas são as mais adequadas para modelar objetos e o seu meio, já que fazem parte da sua memória e cultura. O estudo dos sistemas naturais possibilita a redescoberta de formas que sempre existiram e a utilização dessas formas para configurar o meio artificial trás mais equilíbrio e harmonia para o nosso mundo.

A Biônica utiliza as formas naturais, não por imitação pura e simples, mas com adaptações e com o objetivo desenvolver produtos que atendem determinadas funções, ou de otimizar o uso de materiais nos produtos.

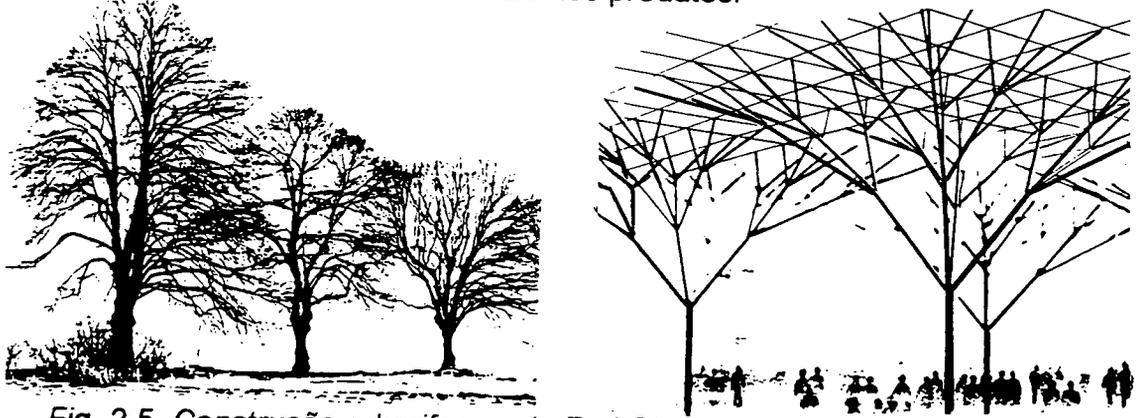


Fig. 2.5- Construção arboriforme de Frei Otto

Fonte: Otto (1982)

▪ **Planejamento de funções:** A compreensão dos princípios de solução, adotados pela natureza para que os sistemas naturais cumpram bem suas funções, permite o desenvolvimento de produtos que cumpram bem as funções necessárias para atender às complexas exigências humanas. Permite ainda, o desenvolvimento de produtos capazes de atender necessidades que não estão sendo satisfeitas pelos produtos existentes. Por exemplo: o *velcro*, sistema de fixação desenvolvido a partir do estudo de sementes espinhudas, é um produto versátil, que atende à um grande número de aplicações.

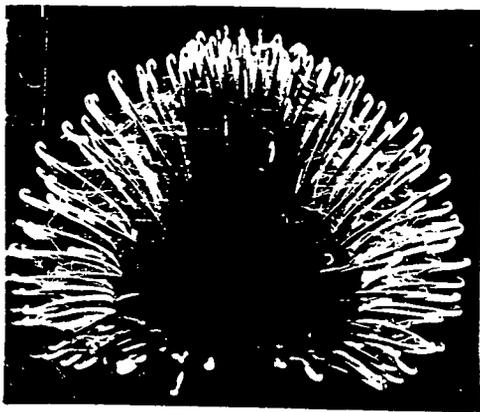


Fig. 2.6- Semente espinhuda e velcro

Fonte: Coineau (1989, p.90)

▪ **Otimização do uso de material:** A natureza sempre utiliza a menor quantidade de matéria, energia e sinal para obter o máximo em desempenho. A compreensão dos *truques* utilizados para obter esse efeito, fornece base para o desenvolvimento de produtos que aproveitem melhor as características dos materiais e processos existentes.



Fig. 2.7- Estrutura interna do osso

Fonte: Di Bartolo (1981, p.48)

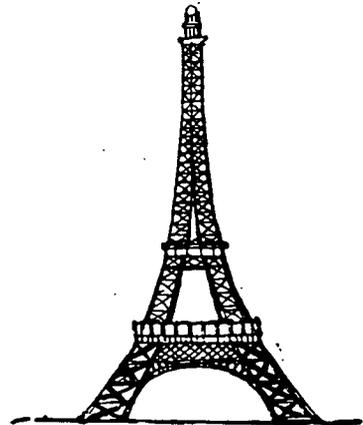


Fig. 2.8- Torre Eiffel

Fonte: Vanden Broeck (1986, p. 22)

É importante destacar aqui, que a atuação da Biônica se dá também nas inter-relações entre esses três níveis (forma, função e material), uma vez que tanto na natureza quanto na técnica, não é possível analisar isoladamente um desses níveis, sem considerar o conjunto.

2.6. Forças naturais determinantes da forma, função e material

Existem diferenças fundamentais entre o objeto natural e o objeto artificial. A principal delas reside no fato de que um objeto natural é basicamente uma unidade onde existe uma íntima relação entre cada uma das partes e o todo, mas este não é apenas a soma das partes.

O objeto artificial pode ser desmontado e dissecado em sistemas, subsistemas, peças ou componentes e, depois disso, ser remontado e posto a funcionar novamente. Já no caso do objeto natural é difícil distinguir a fronteira entre uma parte e outra, e a desmontagem de uma parte sempre afeta cada uma das outras partes e ao conjunto, obedecendo ao que Aristóteles apud Thompson (1969) chamava de "um simples e indivisível princípio de unidade".

Essa unidade vive uma contínua interação entre suas características internas e os fatores ambientais, influenciando e sendo influenciada pelo meio ambiente.

Segundo Pearce (1978), na natureza, a forma de cada estrutura é determinada pela interação de duas classes fundamentais de forças: as forças intrínsecas e as forças extrínsecas.

Forças intrínsecas são aquelas que controlam os fatores que são inerentes a qualquer sistema em particular, isto é, as propriedades do sistema que determinam seu possível arranjo, e a sua performance potencial.

Forças extrínsecas são aquelas que controlam influências que são externas ao sistema em particular, elas são a soma dos fatores ambientais os quais direcionam a configuração do sistema dentro das possibilidades permitidas pelas forças intrínsecas.

O mesmo autor cita, como exemplo da interação na determinação da forma na natureza, o floco de neve. O cristal de neve, examinado ao microscópio, apresenta uma configuração variável, determinada por forças intrínsecas como a sua estrutura molecular, e por forças extrínsecas como a temperatura, a umidade, a velocidade do vento, e a pressão atmosférica, as quais interagem com a estrutura molecular para sintetizar a forma, sendo que a variação na combinação entre essas forças produz uma grande variedade de configurações.

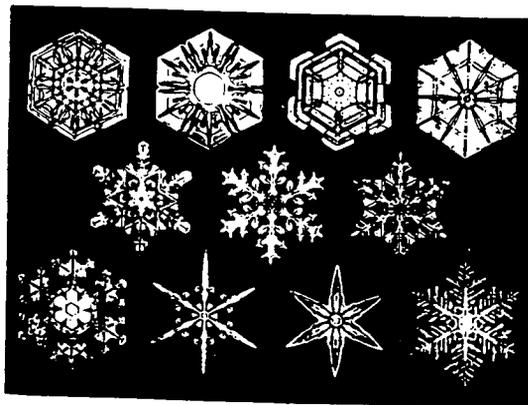


Fig. 2.9- Cristais de neve

Fonte: Pearce (1980, p.104)

No contexto biológico, a distinção entre forças intrínsecas e extrínsecas nem sempre é fácil. Como, normalmente, os organismos ou sistemas biológicos fazem parte de sistemas maiores, uma mesma força considerada extrínseca num organismo em particular, pode ser considerada intrínseca se a referência for o sistema maior.

Nos seres e organismos biológicos, a genética é, sem dúvida, a principal força na determinação da configuração, porém, ao longo do tempo, essa configuração foi afetada por forças do meio ambiente tais como a força da gravidade e outros fatores ambientais como temperatura, pressão e umidade.

2.6.1. A ação da gravidade

Entre as forças extrínsecas que atuam na determinação da forma dos seres, se destaca, sem dúvida, a ação da gravidade. Mesmo entre seres semelhantes do ponto de vista da forma, mas de tamanhos diferentes, existem grandes diferenças quanto às características estruturais, utilizadas para resistir ao confronto com o meio ambiente, particularmente para fazer frente à força da gravidade que atrai cada corpo com intensidade proporcional à sua massa.

A massa de um corpo sólido, de constituição homogênea, cresce na mesma proporção do aumento do seu volume, enquanto que a sua resistência cresce na proporção do aumento da área da secção transversal (perpendicular à direção da carga). Um cubo maciço de aresta igual a 1 m terá uma secção (perpendicular à aresta) de área igual a 1 m² e seu volume será igual a 1 m³. Se dobrarmos o tamanho da aresta teremos uma secção de área quatro vezes maior e um volume oito vezes maior.

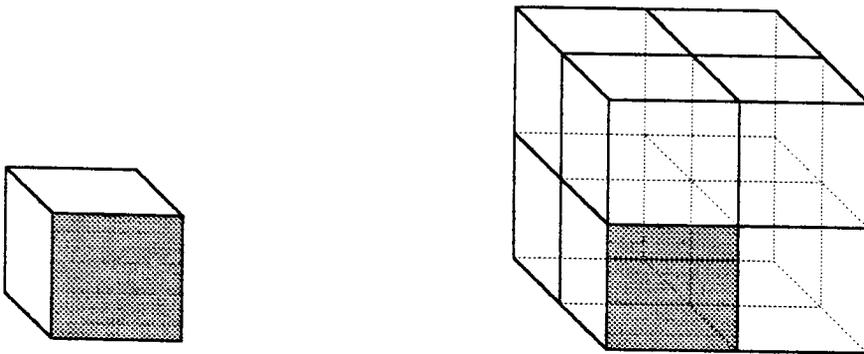


Fig. 2.10- Dobrando a aresta o volume do cubo aumenta oito vezes

Logo, enquanto a aresta cresceu duas vezes, a área da secção e a resistência, aumentaram quatro vezes, porém o volume e o peso aumentaram oito vezes. Daí se pode concluir que, no cubo maior o volume e o peso cresceram muito mais rapidamente que a resistência.

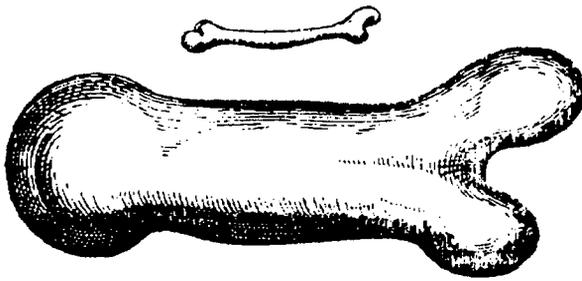


Fig. 2.11- Ossos de resistência proporcional
 Fonte: Steadman (1979, p. 51)

No contexto biológico, Galileu apud Steadman (1979) demonstrou através de um desenho, apresentado na figura anterior, que um osso de tamanho duas vezes maior que outro, deve ser oito vezes mais espesso para ter um aumento de resistência proporcional ao aumento de tamanho. Para Vanden Broeck (1986), isto explica porque dois mamíferos similares, porém de tamanhos diferentes, tenham formas distintas. O maior tem ossos muito mais grossos que o primeiro; as secções tem de ser desproporcionalmente maiores para poder suportar o peso de todo o corpo.

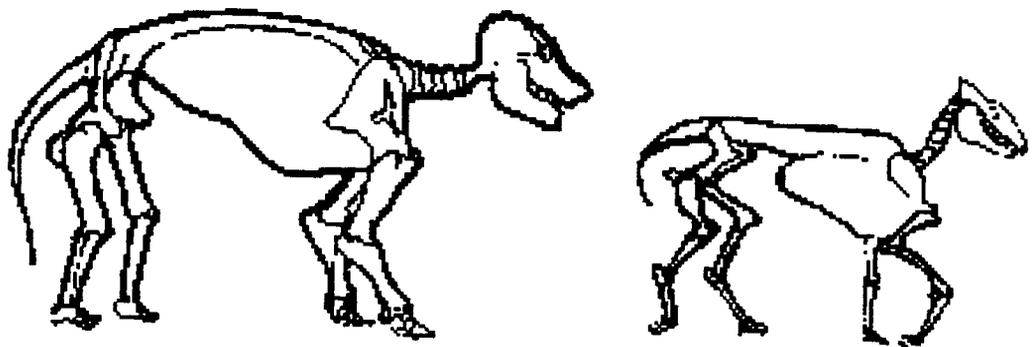


Fig. 2.12- Esqueletos de mamíferos de tamanhos diferentes

Fonte: Vanden Broeck (1986, p. 21)

Mesmo possuindo ossos proporcionalmente mais espessos em relação aos animais menores, os grandes animais são proporcionalmente mais frágeis, uma vez que um aumento de espessura, demonstrado na figura 2.10, seria inviável para a maioria dos seres. Assim, um elefante, apesar de possuir pernas tão gordas, é proporcionalmente muito mais frágil que um gato. O gato pode cair de uma altura várias vezes maior que a sua própria altura sem problemas, enquanto que para um elefante basta cair de sua própria altura para sofrer uma fratura.

Em um objeto grande, a ameaça não vem de cargas externas, mas sim de seu próprio peso. Para Steadman (1979), este fato esclarece porque criaturas terrestres maiores que o elefante teriam dificuldade de suportar seu próprio peso, uma vez que a carga imposta pela caminhada ou corrida exigiria pernas muito espessas e desajeitadas para a ação. Baleias e grandes peixes somente evitam o problema, porque seus corpos são suportados pela água e assim não ficam tão sujeitos a ação da gravidade. O hipopótamo também é ajudado por seus hábitos parcialmente aquáticos (assim como o foram os grandes dinossauros).

2.6.2. As limitações do tamanho

Para Vanden Broeck (1986), os efeitos da ação da gravidade na determinação da forma podem ser mais facilmente compreendidos se observarmos a escala evolutiva dos seres vivos. Nos seres mais elementares, como amebas e outros organismos unicelulares, a forma da membrana externa é determinada pela tensão superficial, que assegura, a esta escala, a coesão do organismo.

À medida que foram aparecendo formas de vida de dimensões maiores, esta membrana foi se endurecendo e diferenciando-se, primeiro guardando uma analogia com a tensão superficial em termos de elasticidade, como podemos constatar em muitos moluscos. O progressivo endurecimento gerou os exoesqueletos dos crustáceos, insetos e outros animais.

A estrutura externa funciona até certa escala, já que, os animais maiores tenderiam a carregar um peso descomunal, sem que houvesse um aumento de resistência na mesma proporção. Assim, no caso dos animais maiores, a natureza utiliza para reduzir o peso e aumentar a resistência, uma complexa e intrincada combinação de estruturas: sob compressão, através de um endoesqueleto, com estruturas sob tração, através dos tendões dos músculos e da própria pele, que aumentam a resistência sem aumentar exageradamente o peso.

As estruturas em tração têm sobre as estruturas em compressão a vantagem da economia de material e de peso. Uma estrutura em tração está baseada no uso de cabos ou membranas, elementos cuja espessura não é significativa e, portanto, consomem relativamente pouco material.

Além disso, a natureza prefere tecidos moles que são flexíveis e difíceis de romper, enquanto que os materiais rígidos como os ossos são geralmente frágeis.

Desta forma se reduz simplesmente a quantidade de material estrutural rígido, reduzindo-se significativamente o peso do animal.



Fig. 2.13- Mamífero

Fonte: Vanden Broeck (1986, p. 21)

Quando o homem tenta aliviar o peso de grandes estruturas através de cabos ou elementos em tração, aproveita, na verdade, princípios de solução largamente utilizados pela natureza.



Fig. 2.14- Pontes pênséis

Fonte: Otto, (1982, p.60)

2.6.3. A solicitação

Thompson (1969) descreve o processo formativo da natureza como efeito da ação de forças, ou ainda: "a forma de um objeto é um diagrama de forças, pelo menos no sentido de que a partir da forma podemos deduzir quais forças agem ou agiram sobre o objeto".

O efeito das forças na determinação da forma pode ser comprovado muito facilmente no corpo de um animal, onde cada osso do esqueleto representa as linhas das forças de compressão a que o animal foi ou é submetido normalmente.

Os músculos, os tendões, as membranas e a própria pele representam as linhas de tração que mantêm o esqueleto em equilíbrio, e ao mesmo tempo, garantem a flexibilidade.

Os ossos oferecem um exemplo bastante completo de como, na natureza, a resistência aparece nos pontos em que ela é necessária, apresentando resistência aos mais variados tipos de esforço.

Resistência a flexão: No meio artificial, para resistir a esse tipo de esforço, são utilizadas vigas em I ou T que reduzem o peso por utilizarem pouco material próximo à zona neutra, locais onde os esforços se anulam.

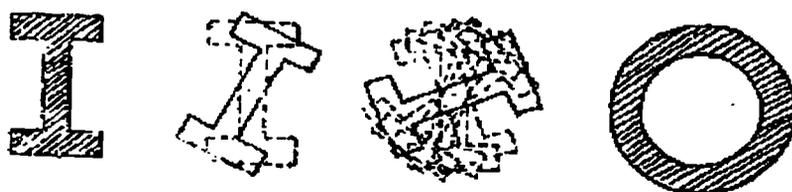


Fig. 2.15- Perfil de viga I + I em rotação

Fonte: Bombardelli (1982, p.408)

As vigas em " I " ou " T " resistem bem, quando a flexão se dá em uma única direção. Para resistir a esforços multidirecionais, o tubo, que pode ser considerado como um " I " em rotação, é o mais indicado.

Os ossos que são submetidos a esforços multidirecionais, além da forma tubular, apresentam uma parede mais espessa na região próxima da metade do seu comprimento, uma vez que a sollicitação é maior neste ponto quando o osso é submetido a um esforço de flexão.

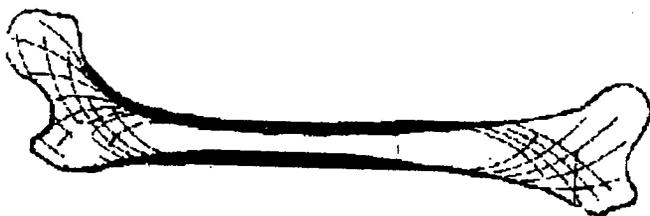


Fig. 2.16- Aumento da espessura da parede na metade do osso

Fonte: Bombardelli (1982, p.408)

Nas pontas do osso existe um achatamento para melhor distribuir o esforço nas junções, mas, o que demonstra com muita clareza, a contínua adaptação da forma em função da ação de forças é a disposição interna do osso. Com exceção

dos pássaros, que têm os ossos ocos internamente para reduzir o peso, os ossos geralmente são preenchidos por um tecido espumoso, composto por pequenos filamentos chamados de trabéculas.



Fig. 2.17- Trabécula óssea

Fonte: Otto (1982, p. 40)

Um osso, é continuamente, submetido a esforços de tração e de compressão que geram forças que poderiam provocar um corte num ângulo de 45 graus. O perigo de rompimento é reduzido pelos pequenos filamentos da trabécula que também estão dispostos num ângulo de 45 graus ao longo das linhas de força que atuam sobre o osso (isostáticas). "A disposição das trabéculas ósseas não é mais nem menos que o diagrama das linhas isostáticas, direção da tração e da compressão da estrutura do osso sob o efeito de cargas" Thompson (1969). O mesmo autor observa que, no caso de fratura com soldagem numa posição incorreta, as trabéculas se reposicionam para fazer frente às novas linhas de esforço geradas pela nova posição. Esse reposicionamento se estende muito longe do ponto de ruptura e não pode ser considerado mera decorrência da cicatrização. Este fato comprova, pelo menos no caso do osso, o princípio de que as formas são o resultado da ação de forças que, atuando ou tendo atuado sobre a estrutura, determinam a forma da mesma.

Thompson cita ainda, como exemplos, a pele do pé que, sob ação da pressão e do atrito constante com o solo, aumenta a espessura, ou ainda o caule do girassol que sendo carregado com o peso de 150 gramas, peso este que fica logo abaixo de seu limite de ruptura, passou a suportar alguns dias depois 400 gramas.

Estes dois exemplos demonstram que, ao contrário das estruturas artificiais, as estruturas naturais vivem em contínua adaptação para fazer frente às solicitações do meio ambiente, robustecendo somente os pontos em que a resistência é necessária.

3. SOLUÇÕES DA NATUREZA UTILIZADAS EM PRODUTOS

3.1. A Redução de material próximo da zona neutra

Quando um elemento de uma estrutura é submetido a um esforço de flexão, sofre também esforços de tração e compressão (figura 3.1). Sob a ação de um esforço de flexão, vindo de cima para baixo, a face superior da viga tende a encolher devido aos esforços de compressão. Nesta situação, a face inferior da viga tende a esticar, devido aos esforços de tração.

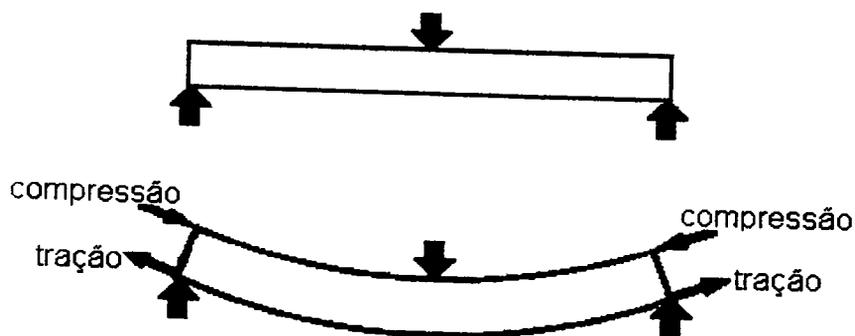


Fig. 3.1- Viga submetida a flexão

Fonte: Pearce (1980, p. 5)

Como a face superior está sob compressão e a inferior sob tração, existe uma zona no interior da viga onde os esforços se anulam, conhecida como zona neutra. Esta zona tem apenas a função de unir as faces superior e inferior, pouco contribuindo para a resistência da viga aos esforços de tração e compressão. A eliminação de material próximo da zona neutra permite reduzir o peso do elemento (ver figura 3.2). Isso explica porque, na natureza, os elementos que são submetidos a flexão são, na maioria das vezes ocos, por exemplo: o caule do bambu, os ossos dos pássaros.

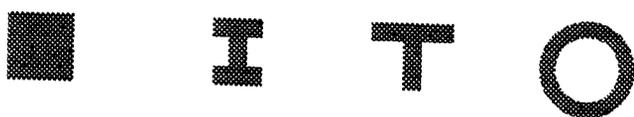


Fig. 3.2- Seção de viga compacta, em I, T e oca

Mas, além de esforços de tração e compressão, os elementos submetidos a flexão, também sofrem esforços de corte horizontais que podem ser compreendidos mais facilmente se imaginarmos uma viga composta por várias camadas independentes.

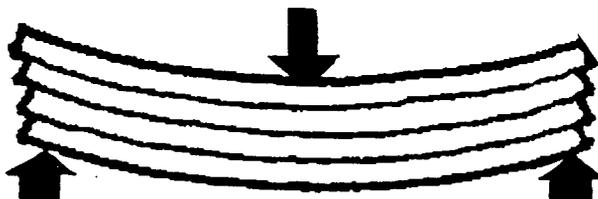


Fig. 3.3- Viga com camadas independentes

Fonte: Vanden Broeck (1986, p.5)

Para aumentar a resistência aos esforços de corte (cizalhamento), o ideal seria unir as duas faces da viga com traves dispostas num ângulo de 45 graus em relação a mesma, uma vez que é neste ângulo que ocorrem os maiores esforços de corte (ver fig. 3.4). Essa solução, bastante utilizada em estruturas metálicas, pode ser observada no interior de alguns tipos de ossos, que possuem trabéculas dispostas neste ângulo.

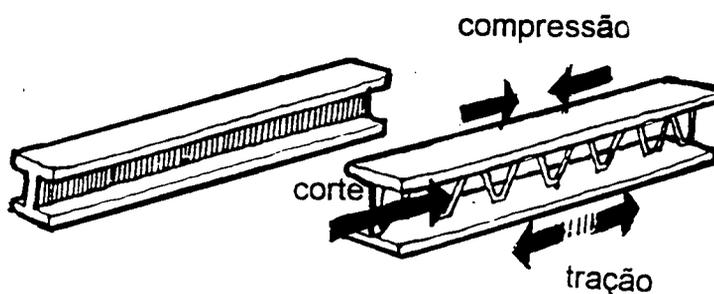


Fig. 3.4- Viga com traves à 45 graus

Fonte: Vanden Broeck (1986, p.42)

3.2. A combinação de materiais sob tração e, sob compressão

Os materiais em geral não apresentam a mesma resistência aos esforços de tração e compressão. O concreto, por exemplo, tem uma resistência à compressão dez vezes maior que a resistência a tração.

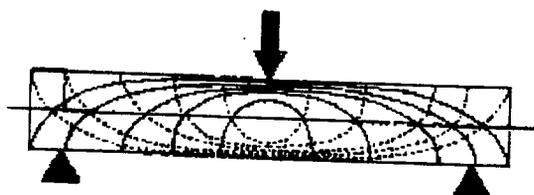


Fig. 3.5- Tração e compressão

Fonte: Bombardelli (1982, p. 409)

Como uma viga de concreto submetida a esforços de flexão também sofre igualmente esforços de tração e compressão, existe a necessidade de aumentar sua resistência à tração, através de um tensor metálico colocado próximo da face submetida à tração.

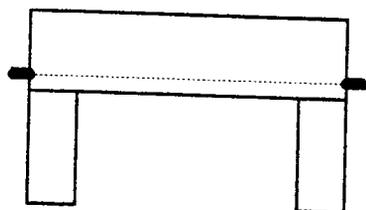


Fig. 3.6- Viga com tensor metálico

Estruturas que combinam materiais resistentes à tração nas linhas em que ela ocorre, e materiais resistentes à compressão somente onde ocorre este tipo de esforço, permitem grandes reduções de peso, principalmente em macro-estruturas.

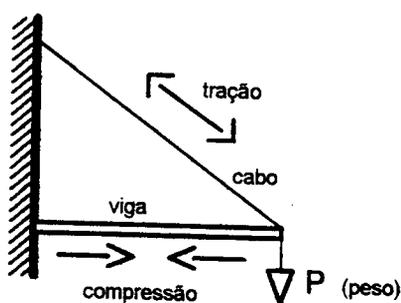


Fig. 3.7- Viga em cantilever

As figuras 3.7 e 3.8 demonstram claramente os esforços a que são submetidas duas vigas em *cantilever* (viga fixa numa das extremidades e cuja outra extremidade se projeta horizontalmente no espaço, sendo que, no exemplo, a extremidade livre é sustentada por um cabo). Ambas possuem elementos comprimíveis e elementos tracionáveis. Os elementos em tração são representados pelos cabos, e os elementos em compressão são representados pelas barras.

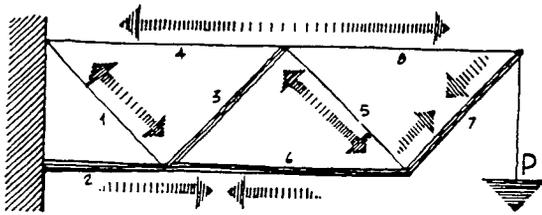


Fig. 3.8- Viga em "cantilever" composta suspensa

Fonte: Vanden Broeck (1986, p.50)

Os elementos em diagonal estão orientados na direção dos esforços de corte, enquanto que os elementos horizontais superior e inferior suportam esforços de compressão e tração, respectivamente.

A utilização da combinação entre elementos em tração e elementos em compressão permite a construção de estruturas leves, sendo largamente utilizada na natureza para viabilizar a existência dos seres maiores.

Thompson (1969) considera que os esqueletos dos quadrúpedes são como pontes articuladas vivas, que para efeito de análise mecânica são constituídos por um duplo sistema de *cantilevers* onde as pernas fazem o papel de pilares, e, coluna, pescoço e cauda representam estruturas em *cantilever*.

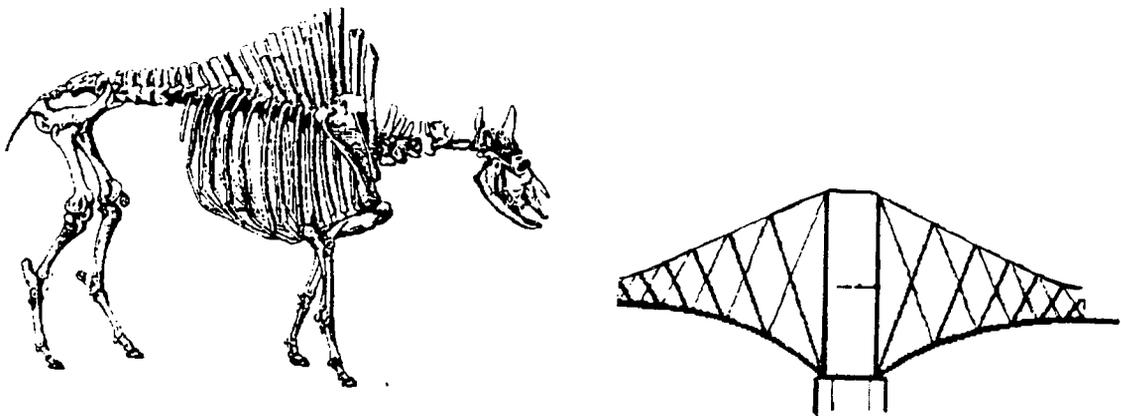


Fig. 3.9.- Esqueleto do bisonte e estrutura de uma ponte

Fonte: Thompson (1969, p. 265)

A principal diferença entre o quadrúpede e a ponte é que, enquanto no primeiro, a flexibilidade é essencial, no outro, ela é totalmente indesejável.

As semelhanças ficam por conta de que no caso da ponte, o elemento principal em compressão se assemelha à espinha dorsal do quadrúpede, enquanto que o membro principal sob tração lembra, de forma simplificada, os ligamentos da nuca e da espinha.

3.3. A utilização de curvas

A natureza prefere sempre as linhas curvas, evitando as retas. A importância das curvaturas como meio de aumentar a resistência de um elemento ou estrutura, pode ser comprovada facilmente tentando fazer parar uma folha de papel plana em pé. Sem pelo menos uma curvatura, ela não pode nem mesmo sustentar o próprio peso. Já com uma curvatura ela não só se mantém em pé como é capaz de suportar um pequeno peso.

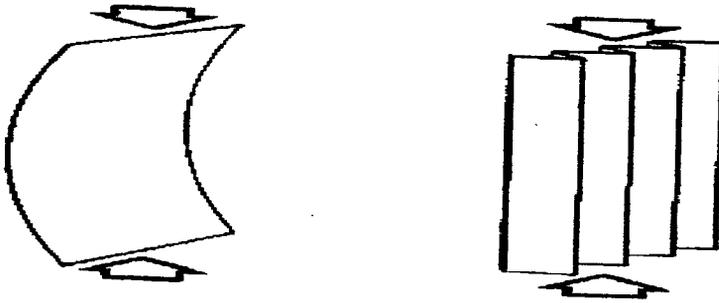


Fig. 3.10- Folha de papel

Fonte: Pearce (1980, p. 3)

Se essa folha for fechada formando um tubo, a resistência aumenta, porém, o tubo que é dado por uma reta em rotação, pode ser achatado dependendo do tipo de esforço.

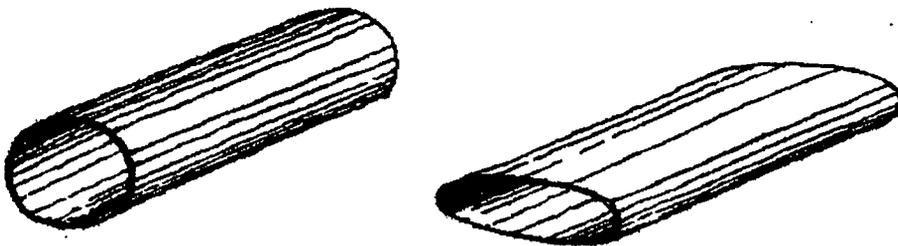


Fig. 3.11- Tubo e tubo achatado

Fonte: Vanden Broeck (1986, p.57)

Para evitar esse problema, a natureza, segundo Vanden Broeck (1986), usa de estratégias que evitam a presença de retas mesmo em elementos tubulares. O osso por exemplo, não tem uma secção contínua, de forma que o perfil nunca é uma reta. É comum encontrar ossos de secção intermediária entre o círculo e o triângulo onde a secção de um extremo está defasada em relação ao extremo oposto.



Fig. 3.12- Osso com secção defasada

Fonte: Vanden Broeck (1986, p.57)

Uma telha ondulada pode ter sua espessura reduzida economizando material e diminuindo seu peso se as suas ondulações forem defasadas. Gaudi apud Vanden Broeck (1986) evita a presença de retas ao projetar uma telha com ondulações defasadas, que reduzem a possibilidade de rachaduras e que permitem reduções na espessura da telha em relação a telha ondulada simples.



Fig. 3.13- Telha ondulada simples e telha com ondulações defasadas

Fonte: Vanden Broeck (1986, p.57)

3.4. A utilização de formas esféricas para conter fluidos

As superfícies com dupla curvatura, como as esferas, são ainda mais estáveis e resistentes do que as de uma única curvatura.

As formas esferoidais são muito utilizadas na natureza e na técnica como *containers*, por terem a forma cuja superfície, para um dado volume é mínima, ou seja, são capazes de armazenar a maior quantidade de material internamente, utilizando a menor quantidade de material possível para construir a superfície externa.

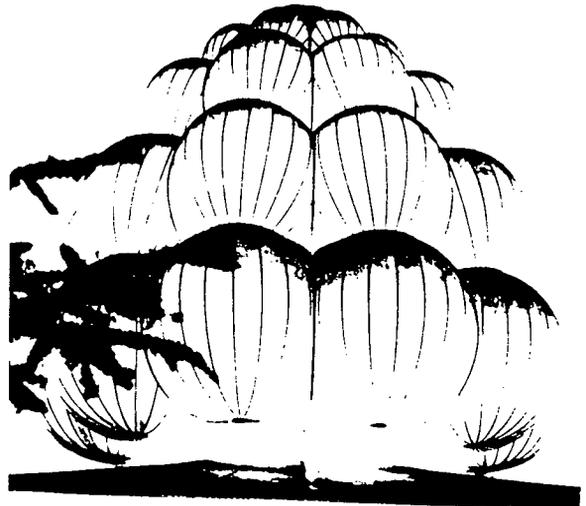
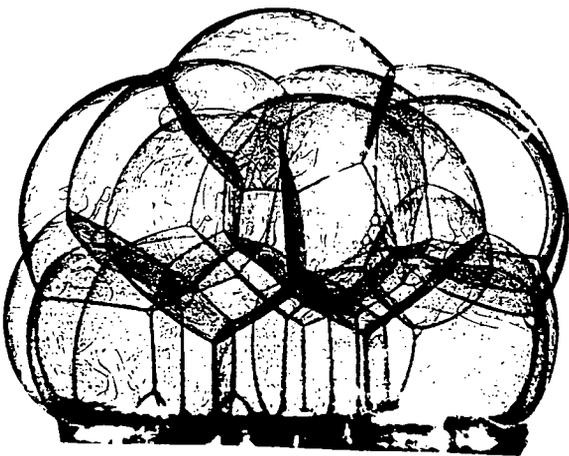


Fig. 3.14- Esferas na natureza e na técnica

Fonte: Otto (1982, p.77)

As construções esféricas ou derivadas da esfera, como a cúpula geodésica de Buckminster Fuller, são vantajosas quando o objetivo é obter grande volume interno conjugado com uma superfície externa mínima, proporcionando uma economia de materiais construtivos.

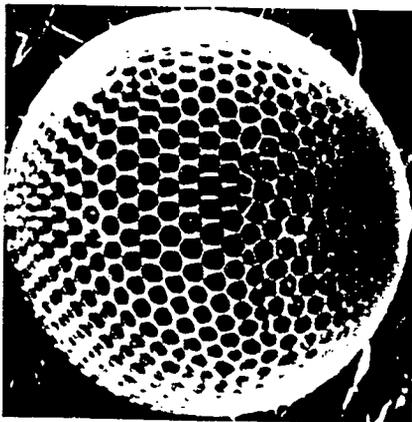


Fig. 3.15- Radiolário e cúpula geodésica

Fonte: Otto (1988, p.73)

Entretanto, em grandes construções como são as cúpulas geodésicas, devido à ação da gravidade, a parte inferior sofre um esforço maior que a superior, exigindo reforços na parte inferior. Segundo Vanden Broeck (1986), para projetar a cúpula geodésica, Fuller se inspirou nos radiolários, que são microrganismos da classe dos protozoários e vivem no fundo do mar, onde a pressão é constante e a ação da gravidade desprezível, devido ao pequeno tamanho destes seres.

Assim, para projetar uma grande estrutura, que concilie o maior volume interno com a menor quantidade de material para formar a superfície contenedora, seria mais interessante estudar formas que sejam influenciadas pela ação da gravidade como à de uma gota d'água, que em contato com uma superfície lisa parece uma esfera achatada.

A gota d'água sobre uma superfície plana, possui uma forma determinada pela ação de coesão da tensão superficial que tende a atrair igualmente toda a superfície externa da gota para o centro e formar uma esfera e pela ação da gravidade que tende a achatá-la.

Portanto, a forma da gota d'água combina: menor superfície externa e maior volume interno com uma distribuição de esforços mais equilibrada, que a da esfera, para fazer frente a ação da gravidade.

Outra solução interessante para a construção de cúpulas, segundo Vanden Broeck (1986), pode ser vista na carapaça da tartaruga. A forma da carapaça é elíptica e não esférica tanto na vista lateral quanto frontal.

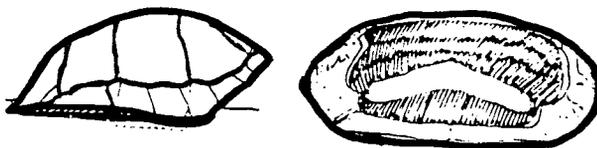


Fig. 3.16- Tartaruga

Fonte: Vanden Broeck (1986, p.35)

A forma da tartaruga é congruente com os esforços que atuam sobre a carapaça da mesma. Ela é dividida em módulos, os maiores na parte superior e os menores e mais numerosos na base, formando um cinturão periférico que tensiona a cúpula.

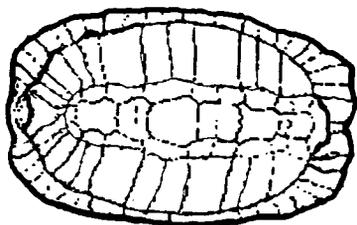


Fig 3.17- Base da carapaça

Fonte: Bionics (1991, p.28)

A cúpula reticulada formada pelos limites dos polígonos que podem ser vistos na carapaça, apresenta uma boa distribuição de esforços. Porém, muitas vezes, devido a limitações de espaço, a estrutura a ser construída deve ser do tipo alongado. A solução, neste caso pode ser encontrada em alguns tipos de vermes, que nada mais são que estruturas formadas por esferas unidas ao longo de uma linha.

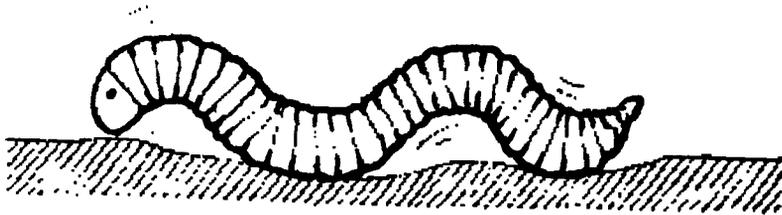


Fig. 3.18- Verme

Fonte: Vanden Broeck (1986, p. 28)

Essa forma alongada tem vantagens sobre a forma cilíndrica. Num cilindro, a distribuição de esforços é desigual, uma vez que o esforço radial é o dobro do esforço axial. Segundo Vanden Broeck (1986), este fato explica porque uma salsicha, quando aquecida em excesso, infla e abre sempre no sentido axial (ou sentido do comprimento).

Para evitar a ruptura no sentido axial, um recipiente cilíndrico, destinado a conter líquidos ou gases sob pressão, deve ser reforçado neste sentido.

Logo, para armazenar materiais sob pressão, os recipientes esféricos são os mais indicados, por terem uma distribuição dos esforços mais homogênea, e em consequência disso, necessitam de menos material construtivo que os recipientes cilíndricos para reter um mesmo volume de líquidos ou gases.

Os mesmos princípios utilizados para projetar recipientes sob pressão, valem também para estruturas sujeitas a pressões devidas ao deslocamento de ar ou de água, tais como: a asa delta, pára-quadras, velas de barco, cataventos e rodas de água.

Na natureza, quando um elemento é submetido à pressão do deslocamento de ar ou da água, adota forma de curva derivada do cilindro, ou de dupla curva derivada da esfera ou ainda, a combinação das duas.

Segundo Vanden Broeck (1986), as asas do morcego da Índia, quando abertas, chegam a ter quase um metro de envergadura e são constituídas por ossos extremamente delgados e leves. Durante o vôo, na fase descendente da batida alar, a membrana da asa se infla para cima em vários pontos, formando bolhas, que distribuem melhor a pressão do ar, absorvem o golpe contra o ar e reduzem, ao mínimo, o esforço sobre os ossos.



Fig. 3.20- Morcego da Índia
Fonte: Coineau (1989, p. 59)

4. A BIÔNICA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

4.1. O uso da Biônica dentro da metodologia projetual

A utilização da Biônica no projeto de produtos tem sido feita dentro das etapas dos métodos convencionais de projeto, apoiando-se nestes métodos para atingir melhores resultados. O uso da Biônica ocorre com mais frequência nas etapas com ênfase na criatividade, como: a procura de idéias de produtos, no caso da criação de novos produtos; ou na busca de princípios de solução, no caso de desenvolvimento de produtos já existentes.

Como recurso de incentivo à criatividade, a Biônica pode contribuir para a procura de idéias de produtos, a etapa 3 do processo de desenvolvimento e planejamento de produtos, segundo Pahl e Beitz apud Sell (1993), oferecendo um poderoso estímulo criativo para que sejam feitas novas interpretações dos sistemas naturais conhecidos, aplicando as idéias geradas a partir dessas leituras no desenvolvimento de produtos inéditos. Essas etapas são vistas a seguir:

Quadro 2: Decurso genérico do planejamento e desenvolvimento de produtos

ETAPAS (Mercado Ambiente Empresa)	RESULTADO
1 Análise da situação	problemas dos clientes
2. Definição de estratégias	
3. Procura de idéias de produtos	proposta de produto
4. Seleção de idéias de produtos	
5. Definição de produtos	
6. Estudo detalhado da proposta de produto	lista de requisitos
7. Identificação e estruturação de funções	concepções alternativas
8. Procura e otimização de princípios de solução, avaliação, seleção	
9. Configuração dos portadores de funções principais e secundárias, avaliação, otimização	projetos preliminares
10. Configuração detalhada, construção de protótipo	projeto detalhado (documentação)
11. Elaboração dos documentos (fabricação, montagem, transporte, operação, manutenção,...)	

Como ciência que pesquisa a relação forma, função e material na natureza, buscando a compreensão dos princípios naturais para futuras aplicações em sistemas técnicos, a Biônica pode dar uma importante contribuição na etapa 8, a procura de princípios de solução, indicando os sistemas naturais que são portadores das soluções procuradas.

Para viabilizar a aplicação da Biônica no projeto de produtos existem alguns procedimentos que podem ser utilizados, de acordo com os objetivos de cada aplicação.

4.2. Procedimentos para o uso da Biônica em projetos

Os procedimentos que têm sido utilizados, segundo Bombardelli (1985), são os seguintes:

Procedimento 1

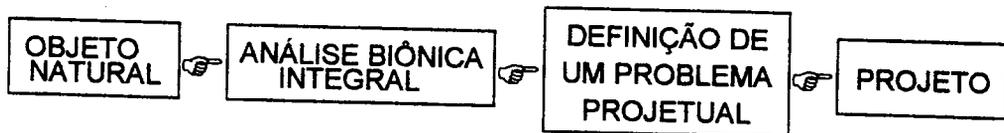


Fig. 4.1- A partir de um objeto natural surge uma idéia para um produto

Fonte: Bombardelli (1985, p. 4)

Neste procedimento, a partir da análise do objeto natural são extraídos os princípios naturais promissores do ponto de vista da técnica, para serem aplicados na resolução de problemas de projeto. Porém, ao analisar este objeto, não se sabe com antecedência, quais os problemas de projeto que podem ser resolvidos a partir dessa análise. Em consequência, este procedimento não pode ser aplicado para resolver um problema projetual específico, já que não se tem controle dos resultados.

Por outro lado, não existem garantias que os princípios de solução contidos no objeto natural sob análise, são aplicáveis na resolução de problemas em um objeto qualquer. Contudo, esse procedimento pode ser útil para a formação de um banco de dados de princípios de solução naturais, aplicáveis na técnica.

Procedimento 2

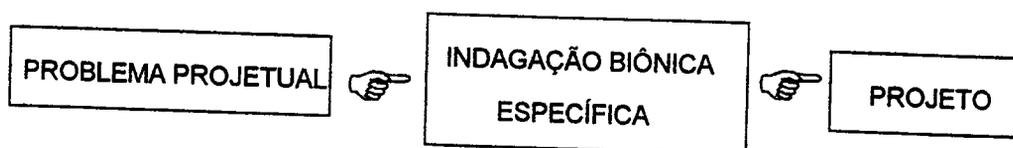


Fig. 4.2- A partir de um problema de projeto são buscadas soluções na natureza

Fonte: Bombardelli (1985, p. 6)

Aqui, o ponto de partida são os problemas gerados por um projeto, e através do estudo do objeto natural, busca-se a compreensão de como a natureza resolve problemas semelhantes, e de como aplicar tal conhecimento para resolver os problemas do projeto. Neste caso, existe um problema definido, porém, os objetos e sistemas naturais oferecem um *leque* de soluções muito amplo, e a primeira dificuldade consiste em encontrar sistemas naturais que possuam soluções promissoras do ponto de vista do projeto. A segunda dificuldade consiste em selecionar um sistema natural para estudos sem excluir sistemas importantes, já que uma análise detalhada de todos os sistemas naturais promissores seria inviável na maioria dos casos.

Procedimento 3



Fig. 4.3- A descoberta de soluções a partir da observação e da intuição

Fonte: Bombardelli (1985, p. 8)

A intuição projetual obtida a partir da observação dos sistemas naturais ou, até mesmo, de sistemas artificiais, ocorre algumas vezes, mas os resultados desse processo mental não são controláveis e não podem ser considerados como um método de trabalho.

Entretanto, a intuição pode ser estimulada por informações, já que é baseada em fatos e informações registradas e aprendidas anteriormente. Assim, o processo intuitivo na atividade de projeto pode ser incentivado pela aquisição de conhecimentos sobre um assunto. O conhecimento adquirido alimenta o sistema cognitivo do projetista com a matéria prima necessária para a produção de inferências que permitem a geração de novas idéias.

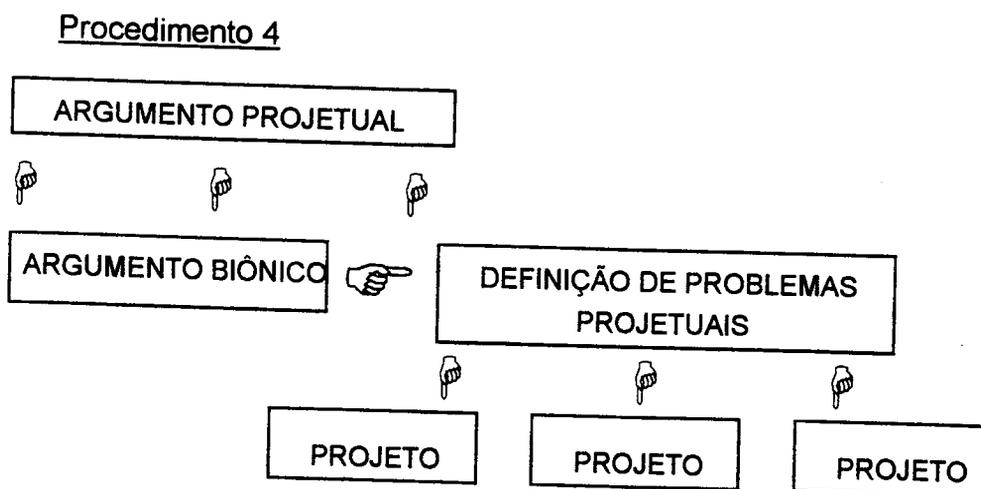


Fig. 4.4- A busca de soluções a partir de um argumento projetual

Fonte: Bombardelli (1985, p. 9)

A definição de um argumento projetual, na forma de uma função que deve ser cumprida por um produto, por exemplo, <<locomover>>, permite uma busca de analogias mais dirigida, centrada em sistemas de locomoção animal. O material recolhido levará a uma base de conhecimento que possibilitará a descoberta de outras aplicações.

A nível profissional, porém, não é possível ter à disposição informações para fazer frente a qualquer problema projetual. Todavia, para a formação de um banco de dados este método pode ser bastante útil, pois a classificação por funções facilita o estabelecimento de analogias entre sistemas naturais e sistemas técnicos.

Como se pode inferir a partir dos quatro exemplos citados anteriormente a viabilidade da aplicação da Biônica no projeto de produtos depende da existência de dois grupos de pesquisadores; um, fazendo pesquisa básica e outro, fazendo pesquisa aplicada, na forma sugerida no procedimento apresentado a seguir.

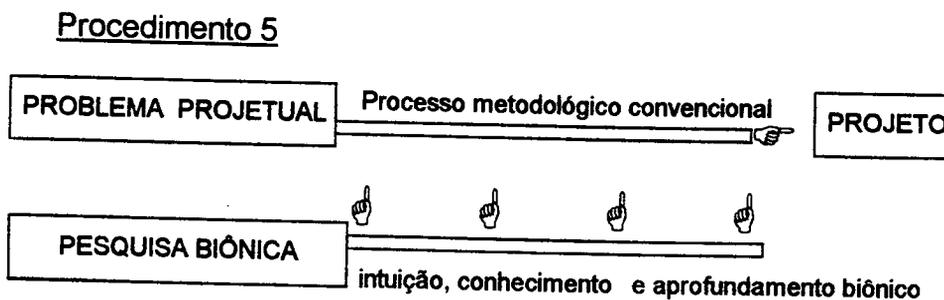


Fig. 4.5- A pesquisa básica fornecendo apoio à pesquisa aplicada

Fonte: Bombardelli (1985, p. 11)

Neste procedimento, o grupo da pesquisa básica estuda com profundidade e passa a conhecer a natureza nos aspectos mais intrínsecos, porém, não aproveita esse conhecimento e sim, transmite para o grupo da pesquisa aplicada (equipe de projeto), que se ocupa da parte projetual e produtiva sem se aprofundar muito em aspectos biológicos. Dessa forma evita-se que a equipe de projeto gaste tempo com a pesquisa básica, atividade que exige dedicação e esforço nem sempre compatíveis com as exigências de um projeto.

Entretanto, em países como o Brasil, com carência de recursos em tantas áreas e, com necessidade de soluções urgentes para tantos problemas, é difícil justificar a existência de um grupo de pesquisadores, dedicados a geração de conhecimentos, sem visar resultados imediatos.

4.3. O uso de um banco de dados

Considerando os custos e as dificuldades inerentes à pesquisa básica, parece oportuna a idéia de, inicialmente, montar um banco de dados reunindo as pesquisas já realizadas e suas aplicações em produtos. A utilização desse banco de dados deverá incentivar a descoberta de novas aplicações e a exploração dessas pesquisas sob novos pontos de vista.

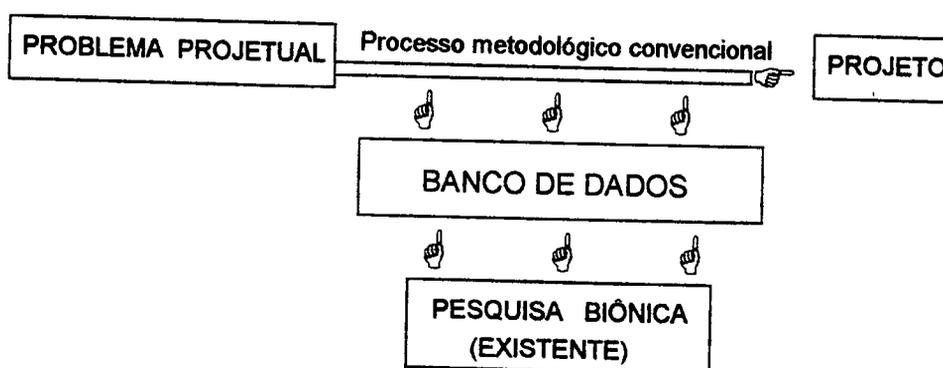


Fig. 4.6- O projeto de produtos com o apoio de um banco de dados contendo os princípios de solução já obtidos através da pesquisa básica

O uso desse banco de dados oferece a possibilidade de testar a própria viabilidade da aplicação das analogias naturais no projeto e desenvolvimento de produtos, sendo que o sucesso dos projetos desenvolvidos por meio dessas analogias poderá estimular investimentos na pesquisa de outros sistemas naturais.

Este banco de dados deverá auxiliar o projetista dentro das etapas do processo metodológico convencional, principalmente nas fases de busca de idéias e na busca de princípios de solução.

Na fase de busca de idéias, o projetista tem definida a função principal que deverá ser cumprida pelo produto, podendo então buscar sistemas análogos que cumpram funções semelhantes.

Na fase de busca de princípios de solução, o projetista após definir a estrutura de funções do futuro produto, passa então a pesquisar quais são os portadores dessas funções. A busca no banco de dados deve indicar quais são os sistemas naturais portadores das funções desejadas.

4.3.1. Estruturação do banco de dados

A questão inicial para a estruturação do banco de dados é como classificar as informações. Arruda (1991), propõe a organização de um banco de dados classificados, inicialmente por argumentos de pesquisa, como por exemplo: sistemas de locomoção, *containers* naturais, estruturas naturais, entre outros. Cada argumento de pesquisa reúne sistemas naturais capazes de cumprir funções análogas, e classificados segundo a taxonomia dos seres vivos, utilizada pela Biologia, ou seja, classificados em sistemas do reino animal ou vegetal e por phylum, classe, ordem.

Já Offner (1974) considera a taxonomia clássica muito restrita e utiliza uma classificação inicial baseada na principal relação do ser com o meio ambiente; *in situ* (I), na água (W), no ar (A) e na terra (L). Uma 5ª categoria foi adicionada, baseada no funcionamento comum para muitas espécies (S). Essas informações são montadas no formato de uma tabela.

No projeto de um produto, tanto na fase de busca de idéias, quanto na procura de princípios de solução, o projetista busca princípios capazes de cumprir determinadas funções. Assim, a classificação mais adequada é aquela que classifica as características e princípios naturais segundo suas funções. A taxonomia, que é importante para a Biologia ou a classificação por habitat, tem para o projetista uma importância secundária.

Se o problema é desenvolver um sistema de locomoção, esse sistema terá a função de locomover e o banco de dados deve informar, dentro da ótica da Biônica, quais são os sistemas naturais que cumprem essa função. Por exemplo, para a função << locomover >> existem sistemas naturais como o golfinho, a medusa, a minhoca, o morcego, os pássaros, os peixes, entre outros.

A seguir, o banco de dados deve informar quais são as características ou princípios que o sistema natural possui para cumprir essa função. Como complemento, deve informar quais foram as aplicações já tentadas para essa característica/princípio e sugestões para futuras aplicações.

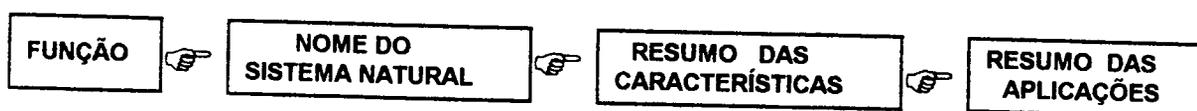


Fig. 4.7- Seqüência de registro das informações no banco de dados

As informações são registradas na seqüência da figura anterior em um quadro, cujo objetivo é o de permitir a localização dos sistemas naturais portadores das funções desejadas para o futuro produto.

O quadro a seguir demonstra, como são registradas as informações, usando a função << locomover >> citada anteriormente e o sistema natural representado pela minhoca. O quadro apresenta também, uma descrição resumida das características desse sistema e aplicações análogas realizadas pela técnica.

Quadro 3- Campo 1: Guia para pesquisa de aplicações de princípios naturais

FUNÇÃO	SIST.NATURAL	CARACTERÍSTICA	APLICAÇÃO:
LOCOMOVER	MINHOCA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Movimento dado pela contração/ alongamento dos músculos longitudinais e circulares, existentes nos segmentos que constituem o corpo do verme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veículos robotizados para locomoção em locais de difícil acesso, por exemplo tubos de diâmetro reduzido, ou locais insalubres como usinas nucleares

O guia para pesquisa possibilita uma consulta rápida e a localização do sistema natural e características portadoras da função desejada. Para informações mais detalhadas, o banco deve contar com uma descrição mais completa, apresentando também, de forma resumida, as pesquisas e os trabalhos desenvolvidos a partir de cada sistema natural. Um exemplo dessa descrição é apresentado no quadro a seguir.

Quadro 4- Campo 2: Descrição de sistemas naturais, características e aplicações

MINHOCA: A minhoca possui um corpo constituído por segmentos na forma de anéis. Ela desliza para a frente esticando a parte dianteira, impelindo-a através da terra, e a seguir puxando a parte traseira. Esse deslocamento para a frente dá-se por meio de movimentos coordenados de contração e alongamento dos segmentos.

Cada segmento possui um músculo circular, sendo ligados entre si por músculos longitudinais. Os segmentos, em forma de anel, contêm um líquido incompressível. Quando o músculo circular se contrai, o segmento se alonga e reduz seu diâmetro; quando os músculos longitudinais se contraem, o segmento encurta e aumenta seu diâmetro, mantendo o mesmo volume.

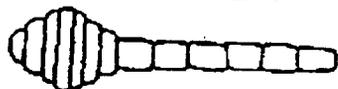


Fig. contração e alongamento de um segmento (Fonte: Lamprea ,1985, p. 9)

Cada segmento possui pêlos que se eriçam quando o mesmo está dilatado, oferecendo numerosos pontos de apoio em contato com cavidades.

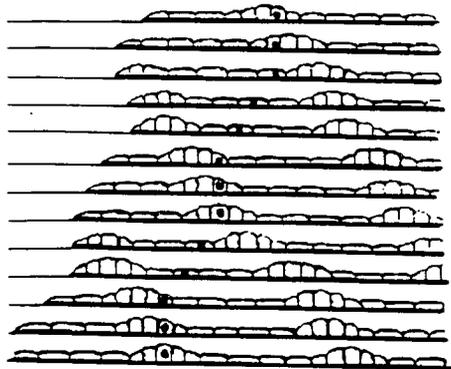


Fig. esquema de locomoção da lombriga por movimentos peristálticos

Fonte: Lamprea (1985, p. 10)

Aplicação: MOVIMENTAR ROBÔS EM LOCAIS DE DIFÍCIL ACESSO

Y. Demarque, M. Lambert e P. Malléjac apud Coineau (1989), projetaram um robô, para deslocamento em locais como galerias e tubos, composto por elementos autônomos e moduláveis, comandados por uma central eletrônica. Cada elemento pode contrair-se ou distender-se longitudinalmente ou ainda curvar em três direções. Os movimentos comandados pela central eletrônica, propagam-se na forma de ondas ao longo dos elementos do robô e permitem que o mesmo se desloque no solo ou em galerias, podendo ainda ser direcionado.

Informações Adicionais:

Coineau (1989)

Lamprea (1986)

Vanden Broeck (1986)

4.3.2. Como usar o banco de dados

Este banco de dados está dividido em três campos descritos a seguir:

Campo 1: Guia para pesquisa de aplicações de princípios naturais

Para usar esse banco de dados, o projetista deve, primeiramente, definir quais são as funções do produto a projetar. Uma vez definidas as funções, passa a procurar no campo 1, o guia para pesquisa, as funções análogas que são cumpridas por sistemas naturais. Os subcampos do campo 1, são descritos a seguir:

O subcampo FUNÇÃO é a entrada do guia para pesquisa. Esta coluna pode ainda ter indicações de onde encontrar funções semelhantes no guia, na forma "Ver Também". As funções são classificadas por ordem alfabética e podem aparecer funções já descritas com outra denominação. Nestes casos, a função já descrita será indicada na forma "Ver função".

O subcampo SISTEMA NATURAL demonstra os sistemas naturais que atendem à função procurada.

O subcampo CARACTERÍSTICAS apresenta, resumidamente, as características e princípios já observados no sistema natural que o tornam portadores das funções.

O subcampo APLICAÇÃO apresenta as aplicações já tentadas e aplicações sugeridas para os princípios observados no sistema natural.

Essas informações servem para orientar a busca de mais informações no campo 2, a Descrição.

Campo 2: Descrição de sistemas naturais, características e aplicações

As entradas desse campo são os nomes de cada sistema natural, sendo classificados em ordem alfabética. A seguir, vêm suas características e aplicações já realizadas. Para maiores informações, a descrição de cada sistema natural vem acompanhada de chamadas, na forma autor, data, que conduzem para o campo 3: Informações Adicionais.

Campo 3: Informações Adicionais

Este campo contém as fontes citadas em cada sistema natural apresentado na descrição, indicando os trabalhos pesquisados e recomendados sobre o assunto.

4.3.3. Como ampliar o banco de dados

1º Alterar o Campo 1, guia para pesquisa. As informações devem ser atualizadas na mesma ordem sugerida para a pesquisa, ou seja, classificar por função, registrar no guia para pesquisa na função correspondente ou incluir a nova função, incluir o nome do sistema natural, as aplicações já realizadas e sugeridas.

2º Alterar o Campo 2, Descrição dos sistema naturais. Cada inclusão deve ser classificada pelo nome do sistema natural e em ordem alfabética, incluindo características, aplicações/função e chamada bibliográfica, para o campo 3, as Informações Adicionais.

3º Incluir as novas fontes bibliográficas no Campo 3: Informações Adicionais.

5. APLICAÇÃO

Este banco de dados, foi aplicado nos trabalhos de projeto desenvolvidos no 3º bimestre da disciplina Metodologia do Projeto, no 1º ano do curso de Desenho Industrial da Pontifícia Universidade Católica do Paraná em 1993.

Os objetivos desta aplicação foram:

- Comprovar a viabilidade do uso de analogias naturais, a partir de um banco de dados, num trabalho de projetos a nível de ensino;
- Demonstrar o potencial da Biônica como recurso capaz de estimular o pensamento criativo e desenvolver a percepção e a capacidade de ver oportunidades, através da formulação pelo aluno, de novas interpretações dos fenômenos da natureza;
- Estimular a curiosidade e o interesse pela pesquisa científica, nos alunos do curso, destacando a interdisciplinaridade da atividade projetual.

Nesta aplicação, inicialmente, foi apresentada uma base teórica sobre a Biônica passando-se, a seguir para um trabalho prático de projeto de um brinquedo, a partir de uma função sem se ater a nenhum produto já existente.

O banco de dados, contendo sistemas naturais organizados por funções, foi utilizado como material de apoio e ponto de partida para pesquisas mais detalhadas.

5.1. Etapas da aplicação

O trabalho foi desenvolvido nos meses de agosto e setembro e transcorreu segundo as etapas descritas a seguir:

- 1º Definição da função principal de um brinquedo;

- 2º Pesquisa de sistemas naturais portadores de funções análogas e busca de idéias promissoras;
- 3º Seleção das idéias obtidas a partir dos sistemas naturais e adaptação das idéias selecionadas visando aplicá-las na concepção do produto (brinquedo);
- 4º Definição do produto a nível conceitual;
- 5º Geração de alternativas para a configuração e funções secundárias;
- 6º Desenvolvimento da alternativa selecionada;
- 7º Construção de modelos;
- 8º Apresentação.

5.2. Constatações e resultados da aplicação

As funções que deveriam ser cumpridas pelos produtos foram o ponto de partida para todos os projetos. Esse procedimento foi adotado com o objetivo de evitar, inicialmente, as associações com produtos já existentes e as soluções preconcebidas.

Quando se trata de um redesenho, essa dificuldade não ocorre com tanta intensidade pois o ponto de partida será sempre a entidade concreta representada pelo produto já existente.

O banco de dados organizado por funções, foi utilizado como base para a pesquisa. As idéias foram geradas a partir de associações entre as funções desejadas para o produto e as funções dos sistemas naturais contidos no banco de dados.

Alguns trabalhos utilizaram mais de um princípio natural para desenvolver o produto. A figura a seguir mostra uma concepção de produto desenvolvida a partir das escamas da serpente e da expansão/contração dos segmentos da minhoca.

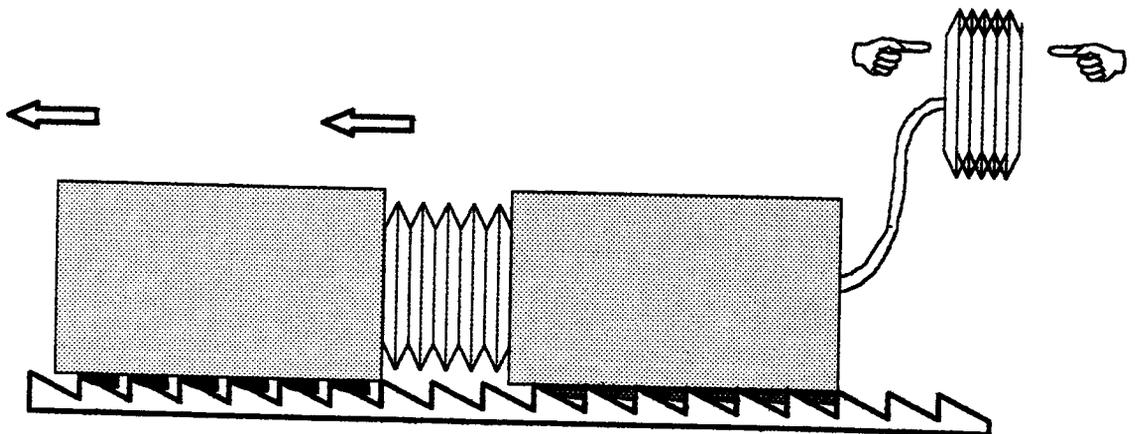


Fig. 5.1- Trem movido a expansão/contração de fole que empurra o vagão da frente e puxa o vagão de trás. O trilho permite deslocar para frente e impede o deslocamento para trás

Fonte: Trabalho da aluna Danielle Ferreira

Outros alunos não conseguiram a compreensão do princípio natural sob estudo e desenvolveram produtos que tinham mais efeitos análogos ao sistema natural, que princípios obtidos a partir do modelo natural. Por exemplo: botas com molas, cujo efeito era o de permitir pulos assim como os princípios contidos no sistema muscular e esquelético do canguru, permitem que este pule.

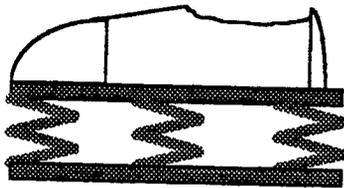


Fig. 5.2- A bota com molas



Fig. 5.3- Salto do canguru e modelo com elástico representando a mecânica do salto do animal

Estes trabalhos podem ser classificados mais como tentativas do que exemplos claros de uso da Biônica. Nestes casos, a grande dificuldade foi a falta de profundidade das pesquisas desenvolvidas. Esta dificuldade ocorreu na maioria dos casos devido a falta de conhecimentos em Biologia, Física e de prática na atividade projetual por parte dos alunos.

Mesmo sem muita profundidade nas pesquisas, alguns trabalhos se destacaram pela criatividade e viabilidade de realização física, comprovando a viabilidade do uso das analogias naturais no projeto. O brinquedo da figura a seguir teve como inspiração o movimento alternado das patas dos quadrúpedes na corrida e se desloca por meio de saltos do condutor sobre o mesmo. Cada vez que o assento é pressionado, as pernas do veículo se abrem e as rodas dianteiras se deslocam para a frente enquanto as rodas traseiras travam. Uma mola empurra o assento e o condutor novamente para cima, a roda de trás é puxada para a frente enquanto que a dianteira trava impedindo o retrocesso.

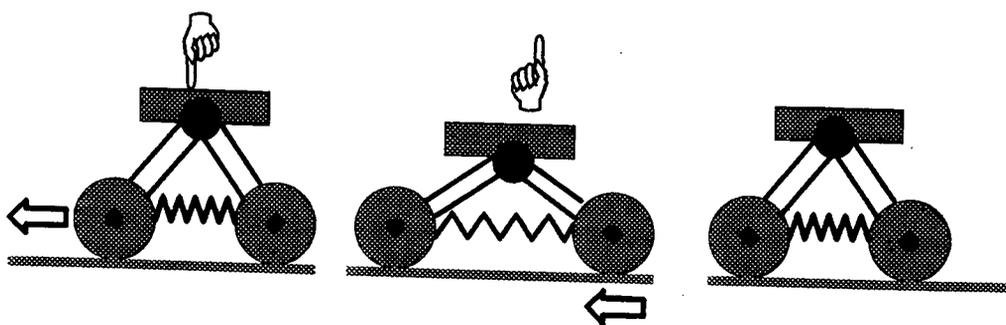


Fig. 5.4- Veículo saltante inspirado no movimento das pernas dos quadrúpedes

Fonte: Trabalho do aluno Ednei Moreno Meliciano

Os trabalhos que não atingiram os objetivos propostos inicialmente, demonstraram a todos a importância e a necessidade da pesquisa para a atividade de projeto e da interdisciplinaridade desta atividade.

A pesquisa em um banco de dados pode ser uma opção válida para a busca de idéias aplicáveis a um produto, porém, não deve ser a única fonte de pesquisa devido à especificidade de cada projeto.

Por ser este um exercício de uso da Biônica a nível acadêmico, a busca de soluções teve, como fonte principal, a natureza. É importante destacar que, em um trabalho prático dentro da atividade profissional, a busca de soluções se dá em qualquer campo e não apenas na natureza. Isso faz lembrar que a Biônica é apenas um dos recursos auxiliares que podem ser utilizadas em um projeto.

6. CONCLUSÃO

As tentativas de sistematização do uso das analogias naturais são ações bastante recentes. Entretanto, a busca de respostas na natureza é um procedimento que vem da pré-história, sendo tão antiga quanto o próprio homem.

A utilização intencional das analogias naturais, como fonte de inspiração para resolver problemas surgidos a partir de uma necessidade específica, tem sido um recurso pouco utilizado devido a multiplicidade de conhecimentos que esta atividade envolve e a falta de informações sobre o assunto.

Com a reunião de exemplos de pesquisas e aplicações já realizadas sobre o tema na forma de um banco de dados pretendeu-se contribuir para organizar e disseminar as informações existentes sobre o assunto e estimular novas pesquisas e aplicações.

O uso de um banco de dados contendo princípios de solução, capazes de cumprir determinadas funções, oferece estímulos que contribuem para desencadear o processo criativo na mente do projetista. Porém, dependendo do grau de dificuldade oferecido pelo problema, a pesquisa no banco de dados serve apenas como ponto de partida para uma pesquisa mais detalhada.

A aplicação no ensino permitiu comprovar as possibilidades da utilização da Biônica. O ineditismo dos trabalhos apresentados demonstrou que o uso da Biônica é vantajoso, principalmente, quando o objetivo é o de desenvolver um produto inovador capaz de atender a necessidades ainda não satisfeitas pelos produtos existentes.

A utilização da Biônica na atividade de projeto no ensino, contribui também para demonstrar a interdisciplinaridade da atividade projetual e o impacto que as decisões de projeto podem ter no meio ambiente.

A importância do trabalho interdisciplinar fica evidenciada quando se verifica que, apesar de existirem milhares de sistemas naturais conhecidos pelos biólogos, são poucos os exemplos de aplicação na técnica, dos princípios contidos nesses sistemas. Isso se deve, em parte, a uma visão compartimentada do conhecimento, que predominou até bem pouco tempo.

É importante ressaltar que nenhum banco de dados, por maior que seja, poderá apresentar todas as possíveis soluções que a mente humana pode conceber para um projeto, nem tampouco substituir a intervenção criativa. O banco de dados é apenas, um dos possíveis pontos de partida para resolver problemas, por meio de analogias, dentro das principais fases criativas de um projeto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELLUCCI, Enzo. Gli Aeroplani. Milano: Arnoldo Mondadori Editori, 1971.
- ARRUDA, Amilton José V. Proposta didattica metodologica: Utilizzo della classificazione naturale come elemento di studio bionico. Master in Industrial Design/Bionica. Milano: Istituto Europeo di Design, 1991.
- BIONICS and Design. Design Dk, Kobenhavn N. 3, p. 25-32, 1991.
- BOMBARDELLI, Carlo. Ossa lunghe: Elementi Naturali resistente a flessione. Milano: Acciaio, n.9, p.408-416, 1982.
- BOMBARDELLI, Carlo et al. Come nasce un prodotto Bionico. Milano: CRSN Istituto Europeo di Design, 1985. 26 p.
- COINEAU, Yves, KRESLING, Biruta. Le invenzioni della natura e la bionica. Torino: Edizioni Paoline, 1989. 97 p.
- DI BARTOLO, C. Strutture naturale e modelli bionici. Milano: Istituto Europeo di Design, 1981.
- DUALIBI, Roberto, SIMONSEN, Harry J. Criatividade formação de alternativas em marketing. São Paulo: Ed. Abril, 1971.
- GERARDIN, Lucien. Bionics. New York: World University Library, 1968.
- GOMES, Luiz A. V. N. Biônica e atividade projetual: textos básicos. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1986, 129 p.
- HERTEL, Heinrich. Structure form and movement. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1966. 251p.
- LAMPREA, Rosa Helena. Esqueleto hidrostático. Milano: Istituto Europeo di Design - CRSN, 1986.
- NACHTIGALL, Werner. La nature réinventée: La bionique. Paris: Librairie Plon, 1987.
- OFFNER, D.H. A creative aid to engineering design. Mechanical Engineering, p. 14-18, july 1974.

- OTTO, Frei. Natürliche Konstruktionen. Stuttgart: Deutsche Verlags- Anstalt, 1982.
- OTTO, Frei. Gestaltwerdung: Zur formentstehung in natur, technik und Baukunst. köln: R. Müller, 1988.
- PEARCE, Peter. Structure in nature is a strategy for Design. Cambridge The MIT Press, 1978.
- PEARCE, Peter, PEARCE, S. Experiments in form. New York: Reinhold, 1980.
- RAUDSEPP, Eugene. Forcing ideas with synectics: a creative approach to problem solving. Machine Design, oct. 1969. p 134-139.
- SELL, Ingeborg. Qualidade Intrínseca de produtos e serviços. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1993, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 1993. v.2, p. 572-576.
- STEADMAN, Philip. The evolution of designs. London: Cambridge University Press, 1979.
- TALENTO Inventivo da Natureza. Revista Super Interessante, n. 4 , Abril de 1993. p. 62-66.
- THOMPSON, D'arcy. W. Crescita e forma: la geometria della natura. Torino: Boringhieri, 1969.
- VANDEN BROECK, F. Fonction, matériau, forme: Le ptérygoide de Python. Lausanne: Ecole contonale des Beaux-Arts et d'Art appliqué, 1981.
- VANDEN BROECK, F. Las estructuras na naturaleza y na técnica. México DF: UAM, 1986.
- VANDEN BROECK, F. O uso de analogias biológicas. Revista Design e Interiores, São Paulo, n.15, p.97-100, 1989.
- WIENER, Norbert. Cibernética. São Paulo: Poligono, 1970.

8. BIBLIOGRAFIA

- BARNES, Sam. Army looks at living vehicles, Machine Design, May 1967.
- BONSIEPE, Gui. Teoria y practica del diseño industrial.-Eiementos para uma manualística crítica. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 1978.
- FRENCH, Michael J. Invention and evolution: design in nature and engineering. New York: Cambridge University Press, 1988.
- LEONARDO Da Vinci: L'Intuizione della natura. Itália: Giunti Barbera Editore, 1983. 96p.
- LITINETSKI, I. B. Iniciacion a la Bionica. Barcelona: Barral Editores, 1974.
- NATUREZA Mestre de Obras. Revista Super Interessante, nº 10, Outubro de 1989. p. 66-72.
- OFFNER, D.H. Ideobics, A creative Conditioning Program. Engineering Education. oct. 1969. p.139-140
- PAPANECK, Victor. Design for real world. New York: Bantan Books, 1971.
- VANDEN BROECK, F. Biodiseño: Una filosofia de proyectacion. Curso de Biônica. Florianópolis: LBDI, 1986.

9. APÊNDICE

"BANCO DE CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DE SISTEMAS NATURAIS"

OBSERVAÇÃO: Este banco está dividido em três campos numerados em seqüência, sendo:

CAMPO 1:

GUIA PARA PESQUISA DE APLICAÇÕES DE SISTEMAS NATURAIS

CAMPO 2:

DESCRIÇÃO DE SIST. NATURAIS, CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

CAMPO 3:

MAIS INFORMAÇÕES OU FONTES DE INFORMAÇÃO

**"BANCO DE CARACTERÍSTICAS E
APLICAÇÕES DE SISTEMAS
NATURAIS"**

CAMPO 1:

**GUIA PARA PESQUISA DE APLICAÇÕES
DE SISTEMAS NATURAIS**

OBSERVAÇÃO: ESTE CAMPO ESTÁ CLASSIFICADO POR FUNÇÕES

FUNÇÃO:**ADERIR**

(ver também: fixar)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
LAGARTIXA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Patas em forma de pás flexíveis que permitem grande aderência em superfícies lisas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solas de sapatos ▪ Dispositivos para melhorar a aderência entre superfícies

FUNÇÃO:**AERODINAMIZAR**

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
GOLFINHO OU DELFIM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A pele desse animal possui um sistema amortizante visco-elástico, que elimina qualquer turbulência que venha a surgir ao longo de seu corpo, durante o deslocamento veloz. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revestimento antiturbulência, na forma de uma pele artificial, aplicável em veículos aquáticos. O objetivo dessa pele é reduzir a resistência que a água oferece ao deslocamento.
GOLFINHO OU DELFIM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O golfinho possui corpo em forma de fuso. Essa forma permite o deslocamento do animal na água com um mínimo de atrito. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desenvolvimento de formas hidrodinâmicas ou aerodinâmicas, aplicáveis à veículos aquáticos, terrestres e aéreos
TRUTA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A pele desses peixes libera um muco que reduz a turbulência provocada pelo seu deslocamento. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Líquidos para reduzir o atrito entre a superfície externa de veículos aquáticos e a água, com o objetivo de reduzir a resistência que a água oferece ao deslocamento de tais veículos

FUNÇÃO: **DESLIZAR** (ver também: movimentar)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
SERPENTES (Escamas)	<ul style="list-style-type: none"> ▪A forma das escamas facilita o deslocamento para a frente e dificulta o deslocamento para trás. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Superfícies com atrito direcional, ou seja, superfícies que facilitem o deslocamento em um sentido e dificultem o deslocamento no outro. Essa solução é aplicável em dispositivos tais como: esquis, trenós, solas, correias transportadoras, entre outros.

FUNÇÃO: **ESTRUTURAR**

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
ABELHA (Colméia)	<ul style="list-style-type: none"> ▪A forma hexagonal do favo de mel da colméia das abelhas contém a maior quantidade de mel, utilizando a menor quantidade de cera e energia para ser construída. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪A forma da colméia é aplicável em estruturas do tipo sanduíche, compostas por células hexagonais, que combinam leveza e resistência mecânica.
ARANHA DA ÁGUA (Argyroneta aquática)	<ul style="list-style-type: none"> ▪Constrói uma teia sob a água, que retém ar dentro de si, servindo de reservatório de ar para o inseto. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Construções subaquáticas capazes de aprisionar uma massa de ar e assegurar, ao mesmo tempo, a tensão da estrutura e o ar para seus ocupantes.

FUNÇÃO:

ESTRUTURAR

(continuação)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
ARANHA (Teia)	▪A aranha constrói sua teia, combinando estruturas em tração com estruturas em compressão.	▪Os princípios construtivos observados na teia da aranha são aplicáveis na construção de estruturas tênses. Esse tipo de construção apresenta resistência, leveza e flexibilidade.
ÁRVORES (Tronco)	▪O tronco de algumas árvores apresenta saliências que partem do cilindro do tronco, reforçando sua base.	▪Pilares com secção de diâmetro maior na base, com saliências na mesma, e secção circular no topo
COLUNA VERTEBRAL	▪A coluna dos animais vertebrados apresenta uma combinação de elementos em tração (os músculos e os ligamentos), com elementos em compressão (as vértebras).	▪Construção de estruturas tênses e articuladas, tais como: pilares flexíveis e braços robotizados capazes de atingir qualquer posição
CONCHA	▪Ondulações longitudinais reforçadas por ondulações menores na mesma direção e por ondulações perpendiculares às anteriores, que garantem a resistência às forças de tração e compressão, com um mínimo de material	▪Construção de painéis e de coberturas
ESPONJA	▪Poros, canais e cavidades que permitem a passagem de água	▪Construção de estruturas leves, capazes de resistir à cargas perpendiculares à sua superfície

FUNÇÃO:

ESTRUTURAR

(continuação)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
ESQUELETO	<ul style="list-style-type: none"> ▪O esqueleto dos vertebrados é uma estrutura leve, resistente e versátil; a disposição dos ossos, músculos e tendões é a melhor resposta aos tipos de esforço que o animal suportou ou suporta. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Estruturas compostas por elementos submetidos à tração e à compressão ▪Articulações de dispositivos técnicos ▪Mecanismos com movimentos análogos aos do esqueleto, inclusive próteses
MINHOCA	<ul style="list-style-type: none"> ▪O corpo da minhoca é constituído por segmentos quase esféricos, dispostos ao longo de uma linha. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Construções de recipientes alongados, destinados a conter líquidos ou gases, com maior capacidade interna, menor superfície externa e forma alongada
OVO	<ul style="list-style-type: none"> ▪A casca do ovo atende a duas exigências antagônicas: deve ser resistente para proteger o pássaro e deve ser quebrável para facilitar a saída do mesmo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Embalagens para alimentos
OSSO	<ul style="list-style-type: none"> ▪O osso apresenta resistência a esforços de tração e compressão, graças à sua forma externa e à sua configuração interna. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Construções reticuladas, tais como, coberturas, pontes, torres, vigas
PÍTON	<ul style="list-style-type: none"> ▪Graças a articulação da sua mandíbula e a resistência e flexibilidade proporcionada pela forma helicoidal do osso pterigóide, que compõe essa articulação, a serpente é capaz de engolir presas de diâmetro maior que o da própria cabeça. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Estruturas resistentes e flexíveis

FUNÇÃO:

ESTRUTURAR

(continuação)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
RADIOLÁRIOS	▪Esses minúsculos organismos marinhos possuem um esqueleto na forma de gaiola esférica, sendo formados por pequenas pirâmides de silício.	▪Construção de cúpulas geodésicas ▪Construção de coberturas auto-sustentadas
SÂMARA	▪Essa semente em forma de asa possui um feixe de nervuras, que partem do núcleo da mesma, e se dirigem até a borda, garantindo a resistência a esforços de torção e flexão.	▪Construção de superfícies leves com a utilização de nervuras orientadas
TARTARUGA (Carapaça)	▪A carapaça da tartaruga apresenta forma de esfera achatada, com junções, e grande resistência a esforços.	▪Construção de estruturas derivadas da esfera, destinadas a cobrir ou proteger superfícies
TRAQUÉIA	▪A traquéia apresenta um reforço em espiral no interior da parede do tubo. Esse reforço evita o aparecimento de dobras e obstruções no tubo caso ele seja curvado.	▪Reforço em espiral para tubos com o objetivo de evitar obstruções provocadas pela dobragem dos mesmos e para garantir a circulação de fluidos
VITÓRIA-RÉGIA	▪A vitória-régia possui uma estrutura reforçada com nervuras, que partem do centro da folha e se bifurcam várias vezes até atingir a borda.	▪Construção de estruturas leves, tais como coberturas

FUNÇÃO: FIXAR

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
CARRAPICHO (<i>Arctium lappa</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪Ganchos que se fixam nos pêlos dos mamíferos ou na roupa de humanos, que carregam a semente para um outro local, contribuindo para dispersá-la. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Dispositivos de fixação de peças que devam ser unidas e separadas várias vezes com facilidade ▪Velcro: fechamento de roupas, calçados e união de objetos

FUNÇÃO: LOCALIZAR

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
GOLFINHO OU DELFIM	<ul style="list-style-type: none"> ▪Eco-localizador biológico, que pode emitir impulsos com frequência variável de 4 a 170 kilohertz. As frequências baixas permitem explorar o ambiente e as frequências altas permitem identificar e localizar presas com precisão. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Aperfeiçoamento de dispositivos de detecção subaquática

FUNÇÃO: MOVIMENTAR

(ver também: puxar, deslizar)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
GOLFINHO OU DELFIM	<ul style="list-style-type: none"> ▪A nadadeira caudal do golfinho é altamente flexível e aproveita ao máximo a potência muscular do animal. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Dispositivos para o deslocamento de veículos aquáticos ▪Dispositivos para deslocamento ou agitação de fluidos ▪Mononadadeiras para natação

FUNÇÃO:

MOVIMENTAR

(continuação)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
MEDUSA	<ul style="list-style-type: none"> ▪A medusa desloca-se por meio de propulsão a jatos de água. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Dispositivos para propulsão e direção de veículos aquáticos
MINHOCA	<ul style="list-style-type: none"> ▪A minhoca movimenta-se pela contração e alongamento dos músculos longitudinais e circulares, existentes nos segmentos que constituem seu corpo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Veículos robotizados para locomoção em locais de difícil acesso, por exemplo, tubos de diâmetro reduzido, ou locais insalubres, p. ex., usinas nucleares
MORCEGO	<ul style="list-style-type: none"> ▪Asa dobrável, constituída por ossos delgados recobertos por uma membrana flexível. Essa membrana infla, formando pequenas bolhas de formato semi-esférico, que absorvem o impacto da batida contra o ar durante o vôo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Velas (para veículos movidos pela força do vento), em material flexível, capaz de absorver os golpes decorrentes de deslocamentos repentinos do ar, diminuindo o esforço sobre a estrutura de sustentação
PÁSSAROS (Asa assimétrica)	<ul style="list-style-type: none"> ▪A asa dos pássaros apresenta um perfil assimétrico, onde o ar passa mais rapidamente na face superior, gerando diferenças de pressão que permitem a sustentação da asa. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Dispositivo para aproveitar a força do vento, tais como, velas e cataventos

FUNÇÃO:

MOVIMENTAR

(continuação)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
PÁSSAROS (Asa flexível)	<ul style="list-style-type: none"> ▪A flexibilidade da asa dos pássaros permite que estes adaptem, continuamente, o perfil da mesma. Assim, eles podem usar o perfil mais adequado às condições de deslocamento do ar. Isso lhes permite obter a melhor sustentação possível para cada velocidade. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Velas e cataventos com perfil adaptável para as condições de vento de cada momento, aproveitando ao máximo a força do mesmo
PÁSSAROS (Asa do albatroz)	<ul style="list-style-type: none"> ▪Ponta das asas afiladas e em forma de flecha para reduzir a turbulência marginal ▪Asas compridas e estreitas que permitem pairar por muito tempo sem a necessidade de batê-las 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Dispositivo para aproveitar a força do vento, tais como, velas e cataventos
PEIXES (Cauda)	<ul style="list-style-type: none"> ▪As barbatanas da cauda dos peixes fornecem os movimentos necessários à propulsão, com ótimo aproveitamento da energia. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Dispositivos para o deslocamento de veículos aquáticos ▪Dispositivos para deslocamento ou agitação de fluidos
PEIXES (Barbatanas peitorais)	<ul style="list-style-type: none"> ▪As barbatanas peitorais dos peixes direcionam e dão estabilidade durante o deslocamento dos mesmos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Dispositivos de direção de veículos aquáticos

FUNÇÃO: MOVIMENTAR (continuação)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
PERNAS (bípedes/ quadrúpedes)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Movimento alternado de elevação e avanço das pernas para uma nova posição, sendo que o peso é apoiado pela (s) outra (s) perna (s) a cada movimento. A cada movimento, o centro de gravidade é alterado, exigindo coordenação e equilíbrio. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Máquinas que caminham de modo análogo aos bípedes ▪ Máquinas que caminham de modo análogo aos quadrúpedes
PERNAS (Insetos)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Os insetos possuem três pares de patas que permitem o deslocamento, sem problemas de equilíbrio. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Robôs que caminham de modo análogo aos insetos
SÂMARA (<i>Acer campestre</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A sâmara é uma semente voadora, de perfil aerodinâmico. Quando cai da árvore, essa semente gira em alta velocidade e se desloca até 200 m. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dispositivos propulsores tais como hélices

FUNÇÃO: PUXAR (ver também: movimentar)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
ELEFANTE (Tromba)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A tromba do elefante é capaz de alcançar objetos em qualquer direção. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Braços robotizados

FUNÇÃO:**PUXAR**

(continuação)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
MÚSCULOS (Braço)	<ul style="list-style-type: none"> ▪A contração /distensão dos músculos, somada à combinação de movimentos entre músculos que trabalham em oposição, permite movimentos precisos em todas as direções. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Músculos artificiais que incham (encolhendo) ou desincham (esticando), para serem utilizados em máquinas em geral, inclusive robôs e próteses

FUNÇÃO:**PLANAR**

(ver também: aerodinamizar)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
MORCEGO	<ul style="list-style-type: none"> ▪Asa dobrável, constituída por ossos delgados recobertos por uma membrana flexível. Essa membrana infla, formando pequenas bolhas de formato semi-esférico, que absorvem o impacto da batida contra o ar durante o vôo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Asas voadoras recobertas por material flexível, capaz de absorver os golpes decorrentes de deslocamentos repentinos do ar
PÁSSAROS (Asa do albatroz)	<ul style="list-style-type: none"> ▪Ponta das asas afiladas e em forma de flecha para reduzir a turbulência marginal ▪Asas compridas e estreitas que permitem pairar por muito tempo sem a necessidade de batê-las 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Asas de planadores, aviões e outros dispositivos capazes de planar
PÁSSAROS (Asa assimétrica)	<ul style="list-style-type: none"> ▪A asa dos pássaros apresenta um perfil assimétrico, onde o ar passa mais rapidamente na face superior, gerando diferenças de pressão que permitem a sustentação da asa. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Asas de planadores, aviões e outros dispositivos capazes de planar

FUNÇÃO:**PLANAR**

(continuação)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
PÁSSAROS (Asa flexível)	▪A flexibilidade da asa dos pássaros, permite que estes adaptem, continuamente, o perfil da mesma. Assim, eles podem usar o perfil mais adequado às condições de deslocamento do ar. Isso lhes permite obter a melhor sustentação possível para cada velocidade.	▪Asas de planadores, aviões e outros dispositivos capazes de planar com perfil adaptável para as condições de voo de cada momento
SÂMARA (<i>Acer campestre</i>)	▪Semente voadora de perfil aerodinâmico que, quando cai da árvore, gira em alta rotação e se desloca até 200 m	▪Dispositivos capazes de planar ▪Dispositivo para distribuição de alimentos em zonas atingidas por catástrofes
ZANÔNIA (<i>Zanonia macrocarpa</i>)	▪Semente em forma de asa, que plana ao cair da árvore, podendo assim espalhar-se por uma área maior e germinar mais longe.	▪Planadores ou asas voadoras

FUNÇÃO:**TEXTURIZAR**

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
MORANGO	▪O morango possui uma superfície externa coberta por sementes de forma esferoidal.	▪Superfícies de interface tátil (homem/objeto técnico)

FUNÇÃO:**UNIR**

(ver também: estruturar)

SIST. NATURAL	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÃO
CRÂNIO HUMANO	▪O encaixe das partes da calota craniana dá-se por meio de linhas sinuosas, cujas irregularidades externas não coincidem com as internas.	▪União de materiais sólidos na forma de placas ▪Pisos de concreto ▪Pisos de estradas

**"BANCO DE CARACTERÍSTICAS E
APLICAÇÕES DE SISTEMAS
NATURAIS"**

CAMPO 2:

**DESCRIÇÃO DE SISTEMAS NATURAIS,
CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES**

OBSERVAÇÃO: ESTE CAMPO ESTÁ ORGANIZADO EM ORDEM ALFABÉTICA

ABELHA, Colméia da

Karl Von Frisch, apud Coineau (1989) ilustra as vantagens da forma hexagonal e demonstra que, se a abelha utilizasse as formas circulares, pentagonais ou octagonais na construção da colméia, ao invés da forma hexagonal, haveria desperdício de cera.

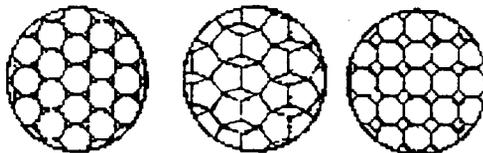


Fig. 1- Favos de forma circular, pentagonal e octagonal

Fonte: Coineau (1989, p.19)

Se a forma utilizada fosse a triangular, quadrada ou hexagonal esse inconveniente seria eliminado, mas, é a forma hexagonal que combina melhor aproveitamento do material construtivo com resistência mecânica.

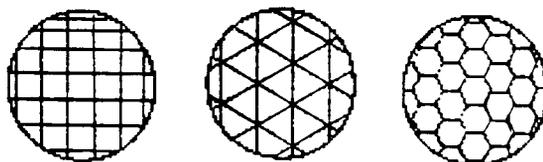


Fig. 2- Favos de forma triangular, quadrada e hexagonal

Fonte: Coineau (1989, p.19)

Assim, a colméia da abelha fornece um ótimo exemplo de construção leve, que combina baixo peso com elevada resistência mecânica.



Fig. 3- Favos de uma colméia

Fonte: Coineau (1989, p.21)

Aplicação 1: ESTRUTURAR PAINÉIS RÍGIDOS

Estruturas de forma semelhante a da colméia das abelhas constituem a camada intermediária dos materiais modernos, definidos como estruturas sanduíche. As estruturas sanduíche são empregadas na construção de painéis, particularmente em painéis da indústria aeronáutica, pela sua leveza e rigidez. Estes painéis são compostos por uma camada intermediária na forma de colméia e duas lâminas cobrindo as superfícies externas.



Fig. 4- Painel sanduíche

Fonte: Coineau (1989, p. 21)

Aplicação 2: ESTRUTURAR PAINÉIS FLEXÍVEIS

Outro exemplo de aplicação de enchimentos na forma de colméia, pode ser visto na sola de um calçado esportivo. A camada intermediária da sola desse sapato é composta por um material plástico flexível, com forma adaptada a partir da colméia das abelhas. Graças a sua flexibilidade, o material absorve choques, sendo leve e resistente.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Pearce (1980)

Coineau (1989)

ARANHA DA ÁGUA (Argyroneta aquática)

A aranha da água vive em águas calmas e entre plantas aquáticas. Ela monta sua teia sob a superfície da água e entre a vegetação submersa. Essa teia retém uma bola de ar, alimentada pelo inseto, que traz ar em seus pêlos cada vez que retorna da superfície. Esse ar permite que o inseto passe longos períodos sob a água.



Fig. 1- Aranha da água e projeto de vila submarina de Rougerie

Fonte: Coineau (1989, p.39)

Aplicação: ESTRUTURAR CONSTRUÇÕES TÊNSEIS SUBMERSAS

O arquiteto Jacques Rougerie projetou uma vila submarina constituída por estruturas em material flexível, ancoradas ao terreno. O ar aprisionado sob essa estrutura, garante, ao mesmo tempo, a tensão da mesma, mantendo-a em pé, e o oxigênio para os seus ocupantes.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

COINEAU (1989)

ARANHA, Teia da

A teia da aranha é constituída por fios simples, unidos em vários pontos por adesão. O material dos fios possui resistência e elasticidade superior à maioria dos materiais tecnológicos. A teia possui fios secos e fios pegajosos. Sua função é a de proteger o inseto e capturar presas que são seu alimento.

*Fig. 1- Teia da aranha,
ampliação de uma secção de
0,8 x 1,2 mm*

Fonte: Otto (1982, p. 59)

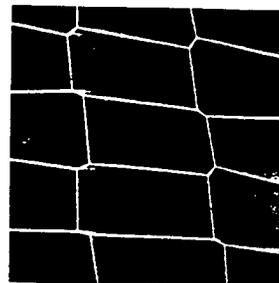


Fig. 2- Fios pegajosos para capturar presas

Fonte: Otto (1982, p. 59)



Os elementos em tração (dados pela rede da teia propriamente dita), e os elementos em compressão (plantas usadas para ancorar a teia), combinados com a disposição dos fios, conferem grande resistência a essa estrutura.



Fig. 3- Teia da aranha

Fonte: Otto (1982, p. 59)

Aplicação: ESTRUTURAR CONSTRUÇÕES TÊNSEIS

O uso de tensores nas grandes construções traz, como vantagem principal, a redução do peso das grandes estruturas. Os exemplos mais comuns do uso de estruturas tênses podem ser vistos em pontes e grandes coberturas.

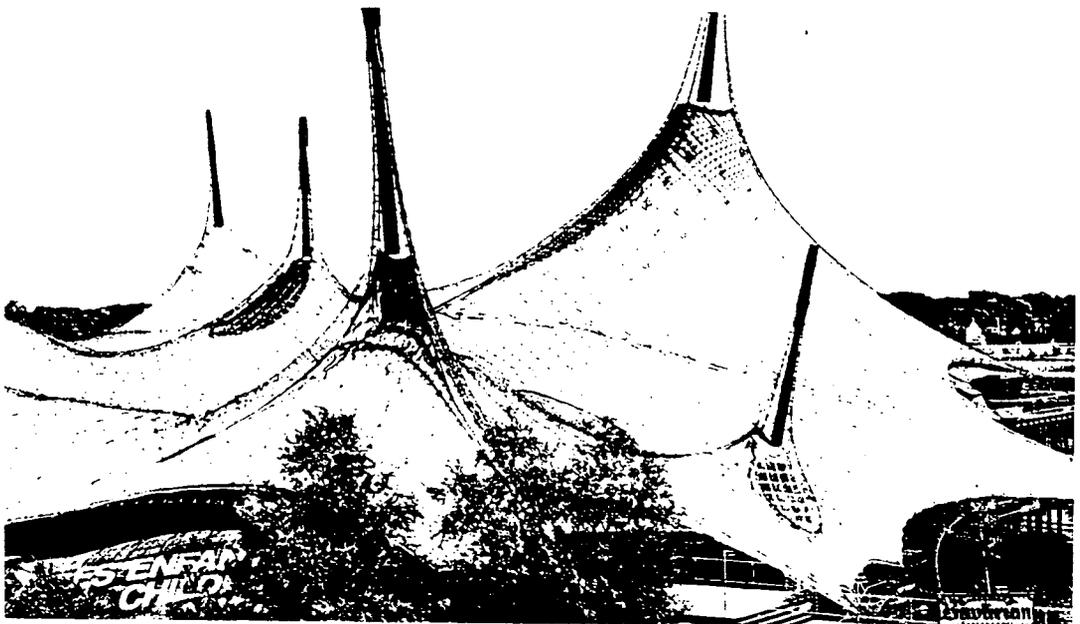


Fig. 4- Pavilhão alemão da Expo 67 em Montreal

Fonte: Otto (1982, p.66)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Otto (1982)

Coineau (1989)

ÁRVORES

O tronco de algumas árvores equatoriais, apresenta saliências na base, que diminuem de tamanho à medida que a altura aumenta. Essas saliências aumentam a área da secção transversal do tronco e, como a resistência é proporcional a área da secção, contribuem para reforçar a planta.

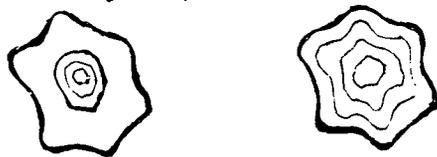


Fig. 1- Secção transversal da base e da parte superior do tronco

Por outro lado, o diâmetro do tronco é proporcional à carga que ele deve suportar. Assim, o maior peso está concentrado na base, sendo menor no topo, onde o diâmetro também é menor. As ramificações continuam com diâmetro decrescente até atingirem as folhas.

Aplicação: ESTRUTURAR COLUNAS

O arquiteto Pier Luigi Nervi aplicou no projeto do Palácio do Trabalho de Torino, em 1961, uma estrutura inspirada no tronco das árvores. Essa estrutura composta por pilares, cuja secção da base tem a forma de cruz, muda, gradativamente, para a forma circular na parte superior. Na parte superior, o pilar se divide em várias vigas que dão sustentação ao teto, imitando, de certo modo, as ramificações existentes na parte superior de uma árvore.

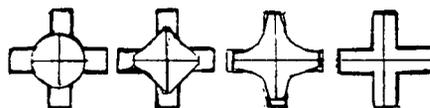


Fig. 2- Secções do pilar do Palácio do Trabalho

Fonte: Coineau (1989, p. 30)

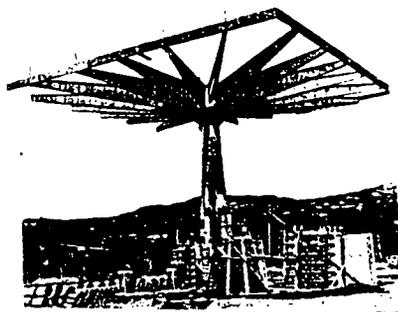


Fig. 3- Construção do Palácio do Trabalho de Torino

Fonte: Otto (1982, p. 40)

O engenheiro Frei Otto também projetou estruturas, inspirando-se nas ramificações do tronco das árvores, para uma construção na Arábia Saudita. A estrutura é composta por pilares formados por feixes de tubos que se ramificam próximo ao teto.

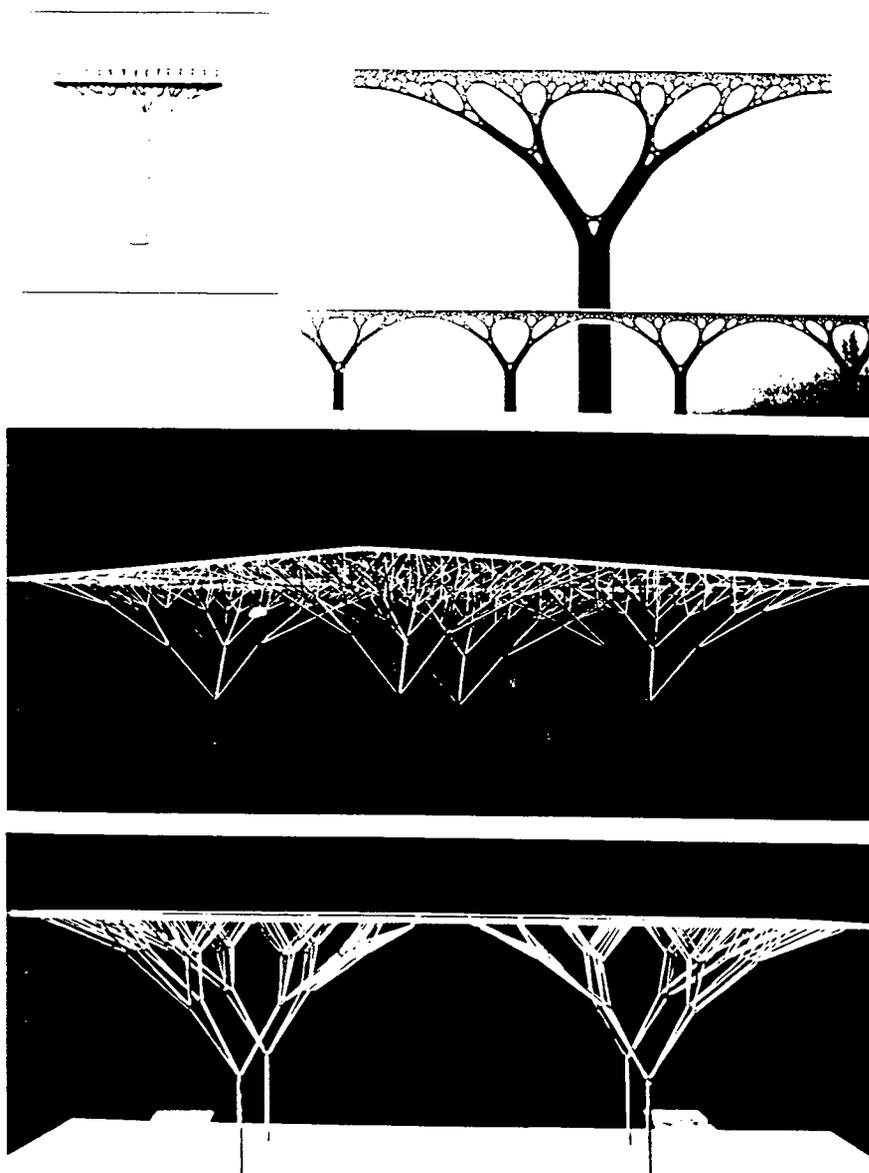


Fig. 4- Projeto de uma estrutura arboriforme de Frei Otto

Fonte: Otto (1982, p. 41)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

Otto (1982)

CARRAPICHO (*Arctium lappa*)

Esta semente é bastante conhecida por grudar na roupa de humanos ou nos pêlos de animais, que as carregam e as distribuem amplamente pelas áreas em que circulam. Esse mecanismo permite à planta conquistar novos espaços. O engenheiro suíço Georges Mestral, apud Coineau (1989) teve a idéia de examinar esta semente no microscópio e verificou que era composta por vários ganchos, que se fixavam com muita facilidade em superfícies ásperas. Mas, se o esfregamento fosse mais forte, os ganchos, devido à sua flexibilidade, soltavam da superfície sem dano.

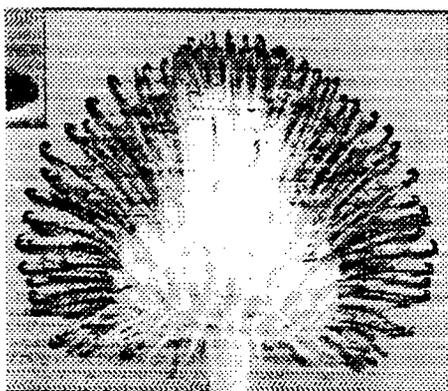


Fig. 1- Semente espinhuda

Fonte: Talento (1993, p.62)

Aplicação: FIXAR OBJETOS

Georges percebeu, imediatamente, a possibilidade de desenvolver, a partir do estudo do carrapicho, um sistema de fixação flexível que pudesse ser conectado e desconectado várias vezes, sem a necessidade de reguiagens ou apertos. O aperfeiçoamento desse sistema, para a produção industrial, exigiu 8 anos de trabalho e muita persistência por parte do inventor.

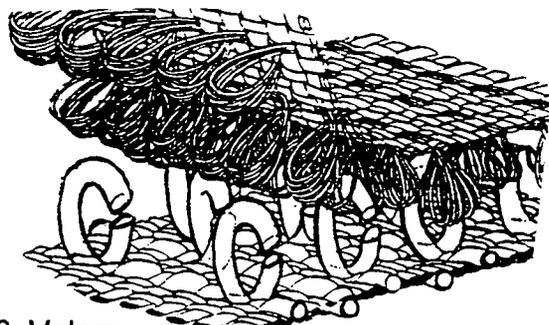


Fig. 2- Velcro

Fonte: Coineau (1989, p.90)

O sistema *velcro* é composto por duas faixas que podem ser unidas e separadas de novo, uma faixa é coberta por pequenos anéis seccionados de nylon e a outra, por pequenos ganchos do mesmo material. Com uma pequena pressão os ganchos prendem nos anéis formando uma excelente união.

O *velcro* é hoje utilizado amplamente como fecho para roupas, calçados, bolsas, pára-quadras e, até mesmo, como fixador de objetos.

Sistemas naturais de fixação e enganchamento podem ser vistos também nas farpas das penas das aves e em outras plantas e sementes além do carrapicho.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Hertel (1966)

Coineau (1989)

Talento (1993)

COLUNA VERTEBRAL

A coluna vertebral é composta por elementos articulados rígidos (vértebras), unidos pelos ligamentos e articulados pelos movimentos da musculatura. Os elementos rígidos são mantidos sob compressão, e os ligamentos e a musculatura fazem o papel de tensores.

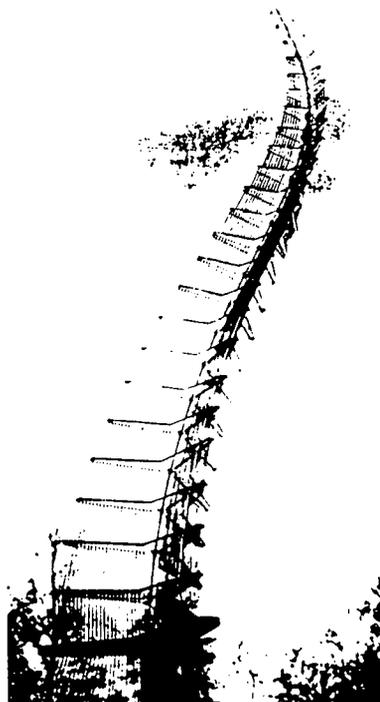


Fig. 1- Pilar flexível projetado

por Frei Otto

Fonte: Otto (1982, p.30)

Aplicação: ESTRUTURAR COLUNAS FLEXÍVEIS E ARTICULADAS

Otto (1982) propôs a construção de um pilar flexível baseado na combinação de elementos em tração com elementos em compressão, existentes na coluna vertebral.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Otto (1982)

Vanden Broeck (1986)

CONCHA

A forma das conchas sempre chama a atenção pela beleza e harmonia das formas. Além da beleza, a forma da concha oferece uma resistência muito elevada graças à combinação de curvas e contracurvas.



Fig. 1- Conchas bivalves

Fonte: Coineau (1989, p.37)

Na conchas bivalves da figura anterior, as ondulações no sentido longitudinal são reforçadas por pequenas ondulações secundárias também longitudinais, que potencializam as suas qualidades mecânicas. Le Ricolais apud Coineau (1989), observou que, a resistência a esforços é praticamente igual neste tipo de concha, em todos os seus pontos, independentemente do seu tamanho.



Fig. 2- O mercado de Royan na França

Fonte: Coineau (1989 p.37)

Aplicação 1: ESTRUTURAR COBERTURAS ONDULADAS

As ondulações longitudinais da concha serviram de inspiração para Louis Simon e André Morisseau projetarem o mercado de Royan na França.

Aplicação 2: ESTRUTURAR PAINÉIS

Além das ondulações principais e secundárias no sentido longitudinal, a concha possui pequenas ondulações perpendiculares às primeiras, que serviram de inspiração para Ricolais projetar um painel composto por duas lâminas onduladas, cujas ondulações se cruzam num ângulo reto, obtendo uma resistência sete vezes maior que a da lâmina plana.

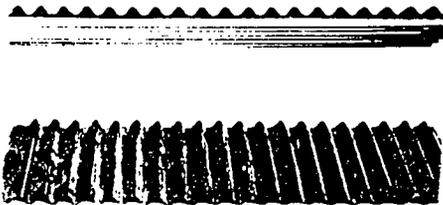


Fig. 3- Painel isoflex

Fonte: Coineau (1989, p 36)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

CRÂNIO

A junção das partes da calota craniana dá-se por meio de linhas sinuosas, com irregularidades no lado externo, que não coincidem com as irregularidades do lado interno. Esse tipo de junção aumenta, consideravelmente, a área de contato entre as partes, e reforça a união entre as mesmas, impedindo o deslocamento relativo das partes em caso de choque.



Fig. 1- Crânio humano

Fonte: Coineau (1989, p. 44)

Aplicação: UNIR BLOCOS, PLACA ETC..

O arquiteto Jacques Couëlle, apud Coineau (1989) patenteou uma junta de dilatação sinuosa para concreto inspirado na união do crânio. Essa união permite a dilatação normal do concreto, e ao mesmo tempo impede a separação das placas. Couëlle aplicou esse tipo de união na construção de reservatórios e de pisos de estrada resistentes às freiadas dos veículos.

O tipo de união desenvolvido por Couëlle é ideal para construções com forma derivada da esfera, ou ainda em forma de arco. O sistema de montagem pode ainda ser pré-fabricado ou moldado no local.

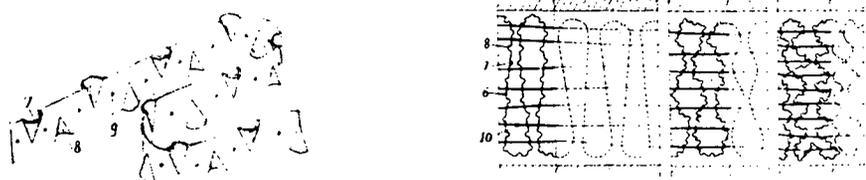


Fig. 2- Junta de dilatação sinuosa de J. Couëlle (1943)

Fonte: Coineau (1989, p.44)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

ELEFANTE (tromba)

A tromba ou probóscide do elefante é dotada de uma musculatura, que permite movimentos em praticamente qualquer direção.

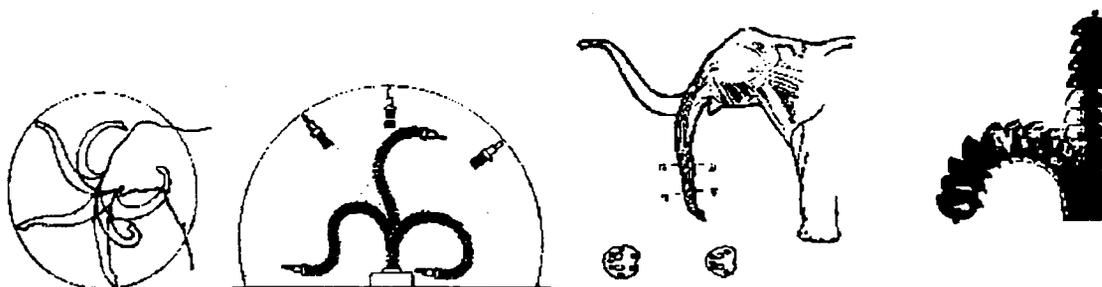


Fig. 1- Análise da movimentação da tromba e hipótese projetual derivada .

Fonte: Bombardelli (1985, p.18)

Aplicação: PUXAR MECANISMOS

O estudo do modelo natural serviu de base para a construção de dois braços robotizados modulares: O *Naturo Uno*, que é capaz de segurar objetos e prestar serviços em atividades variadas, e o *Naturo Due* destinado a aplicações mais específicas como manobrar uma telecâmera ligada em circuito fechado com um terminal de vídeo.

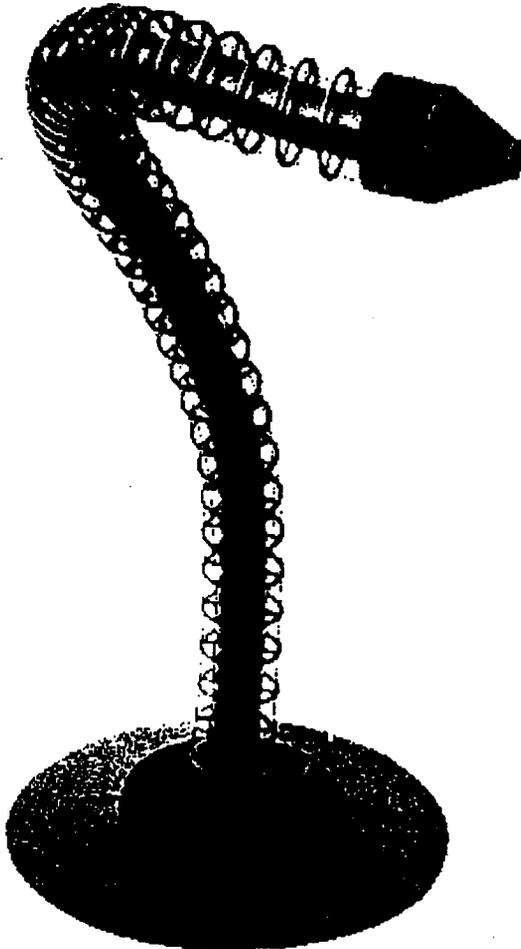


Fig. 2- Protótipo de braço robotizado modular Naturo Due

Fonte: Bombardelli (1985, p.25)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Bombardelli (1985)

Bionics (1991)

ESPONJA

A esponja é um animal aquático que vive preso ao fundo do mar e que pertence ao filo *Porifera*, que significa, portadores de poros. Sua superfície é coberta por pequeninos poros.

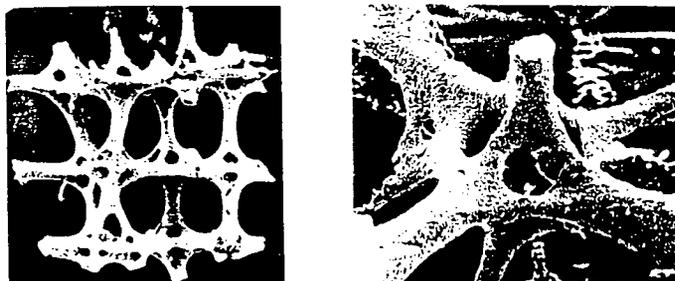


Fig. 1- Estrutura da esponja

Fonte: Otto (1982, p.35)

Esses poros permitem a passagem de uma corrente de água nutritiva, que é conduzida por canais para pequenas câmaras. Estas câmaras possuem uma espécie de flagelo que faz a água circular pelos minúsculos canais. A água leva consigo o oxigênio e as pequenas partículas alimentares que são digeridas quando chegam às câmaras.

Aplicação: ESTRUTURAR COBERTURAS AUTOPORTANTES

A esponja é uma estrutura muito leve. A partir do estudo da mesma Otto (1982) construiu uma estrutura chata autoportante, para suportar cargas aplicadas perpendicularmente à essa superfície. Essa estrutura é reticulada e formada por barras, cuja configuração permite construções leves e muito resistentes, que utilizam um mínimo de material.



Fig. 2- Estrutura desenvolvida a partir do estudo da esponja

Fonte: Otto (1982 p.35)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

Otto (1982)

ESQUELETO (ver também: osso, coluna vertebral, músculo)

O esqueleto de um animal vertebrado representa claramente as linhas de compressão a que o animal foi ou é normalmente submetido. As linhas de tração são representadas pelos músculos e tendões. Assim, a forma do objeto natural é determinada pelas forças que atuam ou atuaram sobre ele, utilizando para confrontar essas forças, as menores quantidades de material e energia possíveis.

Thompson (1969), compara o esqueleto dos quadrúpedes com a estrutura das pontes. A principal diferença é que o corpo do animal é articulado e flexível, característica totalmente indesejável no caso das pontes.

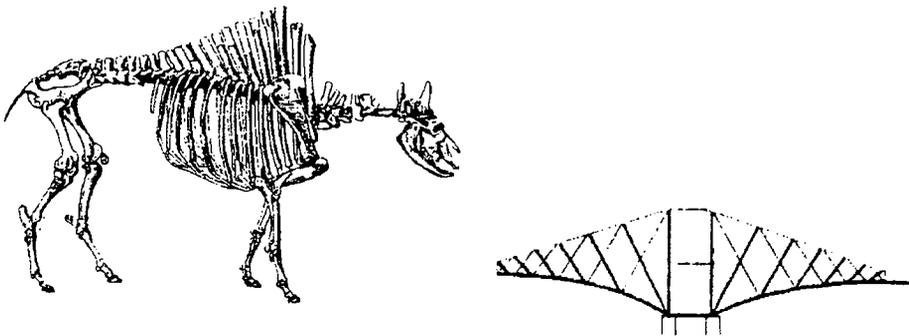


Fig. 1- Esqueleto de um quadrúpede e esboço de uma estrutura de ponte

Fonte: Steadman (1979 p.15)

Aplicação: ESTRUTURAR CONSTRUÇÕES TÊNSEIS

A combinação de estruturas em compressão com estruturas em tração, como acontece nos vertebrados ou em objetos técnicos tais como uma ponte pênsil, traz, como vantagens, a redução do peso e a economia de material.

A aplicação dessa combinação consiste em definir quais são as linhas onde ocorrem as forças de tração e em quais ocorre a compressão, dispondo os materiais resistentes a um ou outro esforço, segundo essas linhas.

Além de estruturas tênses, os princípios existentes nos esqueleto dos vertebrados podem ser aplicados para a construção de articulações, braços mecânicos, e outros dispositivos que possuem funcionamento análogo.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Thompson (1969)

Vanden Broeck (1986)

Coineau (1989)

Steadman (1979)

GOLFINHO ou DELFIM (*Delphinus delphis*)

O golfinho desenvolveu várias características para adaptar-se ao meio aquático, o que o torna um excelente modelo para a Biônica. Suas características já utilizadas em projeto são: a forma hidrodinâmica, a pele visco-elástica com características hidrodinâmicas, o sistema de propulsão e o sistema eco-localizador.

A FORMA HIDRODINÂMICA- Entre os seres que vivem no meio aquático, o golfinho é, possivelmente, quem possui a forma mais hidrodinâmica. Esta forma permite-lhe alcançar velocidades de até 64 km por hora. Para atingir tal velocidade na água um animal deve ter uma forma hidrodinâmica próxima do ideal, músculos poderosos e sistema de propulsão que aproveite, ao máximo, a energia desses músculos. Como a potência muscular cresce proporcionalmente ao acréscimo do diâmetro dos músculos, a forma ideal deve conciliar o maior espaço possível para a musculatura dentro de um perfil hidrodinâmico que apresente a menor superfície possível.

A forma que permite acondicionar o maior volume com a menor superfície é a da esfera, porém, em deslocamento no ar e moldada por forças aerodinâmicas, essa forma ideal é dada por uma gota de água em queda.

Além das exigências hidrodinâmicas, o animal tem que se alimentar, respirar, e reproduzir, Para isso, o golfinho alia a forma de uma gota de água em queda com a forma do fusão.

O perfil do golfinho visto de cima é quase simétrico em relação ao seu perfil lateral. Esse perfil é adequado para estudos teóricos de perfis laminares, ou seja, capazes de se deslocar na água ou no ar com o mínimo de turbulência.

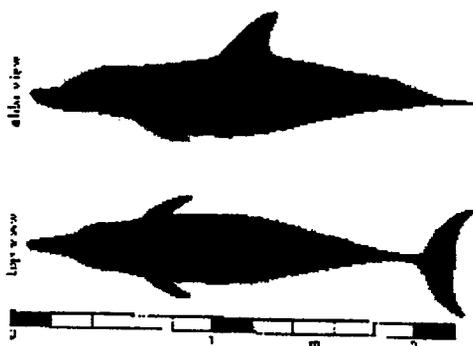


Fig. 1- Silhuetas do golfinho, lateral e vista de cima

Fonte: Hertel (1966 p.126)

Aplicação: AERODINAMIZAR/HIDRODINAMIZAR OBJETOS

A comparação do perfil do golfinho com o perfil ideal de uma asa laminar demonstra uma surpreendente semelhança. A relação entre a espessura e o comprimento do golfinho é a mesma do perfil da asa, desenvolvido através de testes em túnel de vento.

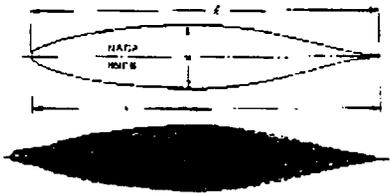


Fig. 2- Comparação entre perfil de asa e perfil do golfinho

Fonte: Hertel (1966 p.127)

O sistema de propulsão do golfinho, a sua nadadeira caudal, encontra-se na zona de turbulência posterior e não perturba o fluxo laminar da água ao longo da maior parte do corpo animal na fase de aceleração, Hertel apud Coineau (1989) propõe em consequência desta observação, a colocação dos reatores dos aviões na parte traseira, de modo a preservar a laminaridade do fluxo de ar ao longo da fuselagem.



Fig. 3- Projeto de um avião, visando otimizar a relação maior volume interno menor arrasto aerodinâmico, de perfil inspirado no golfinho

Fonte: Coineau (1989, p.16)

A testa do golfinho possui uma cavidade que aloja o sonar, e logo atrás a abertura do respirador que corrige a turbulência provocada pela cavidade que forma a testa. Hertel ibid propõe depressão similar para a parte posterior da cabine de pilotagem dos aviões para corrigir a turbulência provocada pelo relevo do parabrisas.

A PELE VISCO-ELÁSTICA- A forma do golfinho não é a única característica utilizada por este mamífero para vencer mais facilmente a resistência da água. Max O. Kramer apud Natchtigall (1987) descobriu que a pele deste animal é composta por um sistema amortizante visco-elástico, que elimina a turbulência, que tende a se criar em torno do corpo do animal, durante o deslocamento veloz.

Esta pele é composta por 3 camadas:

- uma camada externa lisa e flexível;
- uma camada intermediária de tecido espumoso cujo interior é preenchido com líquido;
- uma camada profunda e dura que introduz na camada intermediária uma grande quantidade de colunas mais ou menos irregulares;

Quando o golfinho aumenta a sua velocidade, o fluxo de água que passa pelo seu corpo tende a ficar turbulento. A turbulência produz vibrações que provocam variações locais de pressão. Assim, sob o efeito da pressão, a epiderme cede e comprime a camada espumosa contra a camada dura composta por colunas e assume a forma desta última. As irregularidades que surgem na epiderme passam a absorver a turbulência, evitando que esta passe a freiar o movimento do animal.

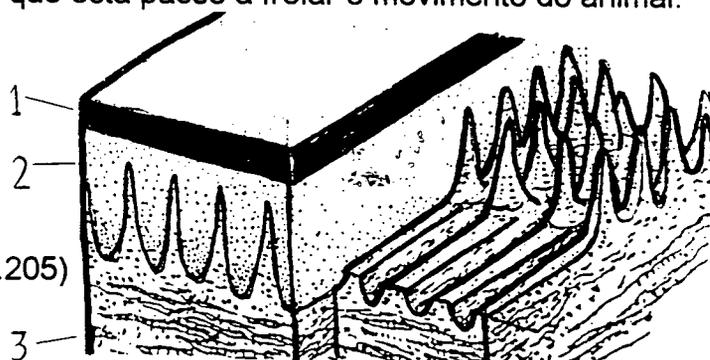


Fig. 4- Pele do golfinho

Fonte: Nachtigall (1987, p.205)

Aplicação: AERODINAMIZAR/HIDRODINAMIZAR OBJETOS

Kramer apud Nachtigall (1987) aproveitou este princípio desenvolvendo uma pele artificial para revestimento de submarinos, a qual é formada por duas folhas de material flexível, mantidas à distância uma da outra por meio de pequenos cilindros do mesmo material, e aderentes à folha externa. Cada interstício é preenchido com um líquido de viscosidade adequada.

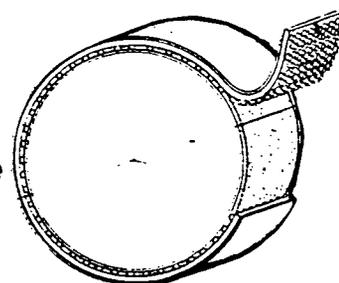


Fig. 5- Revestimento desenvolvido a partir da pele

Fonte: Nachtigall (1987, p.205)

O laminflor, nome do revestimento desenvolvido por Kramer, foi testado com sucesso em torpedos, proporcionando uma redução na resistência da água com o conseqüente aumento da velocidade. Entretanto, as pesquisas para viabilizar outras aplicações para este princípio continuam, sendo que em alguns casos em segredo, devido às aplicações militares da idéia.

O SISTEMA DE PROPULSÃO- A nadadeira caudal do golfinho, e também a dos peixes, é responsável pela propulsão, enquanto que as nadadeiras peitorais servem para estabilização e direção do animal.

A velocidade alcançada pelo golfinho na água permite concluir que o rendimento do seu sistema propulsor é excelente. Para mover-se adiante, o golfinho, graças aos seus potentes músculos dorsais, levanta a sua nadadeira e dá um golpe que o empurra à frente.

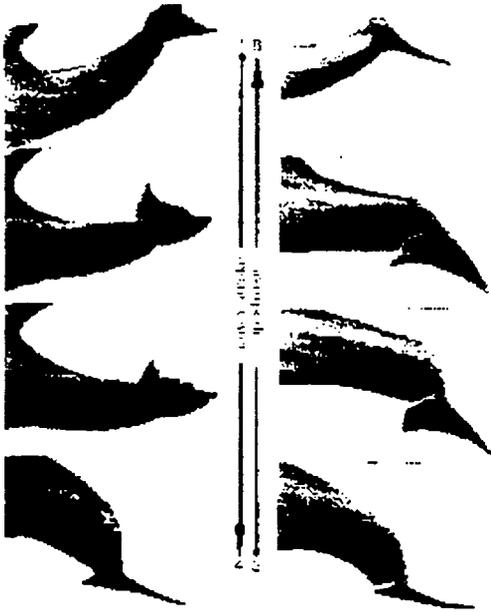


Fig. 6- Seqüência do nado do golfinho

Fonte: Hertel (1966, p.169)

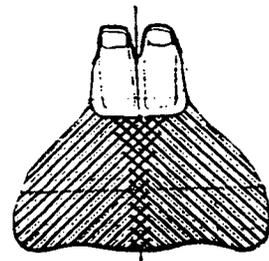
Aplicação: MOVIMENTAR NA ÁGUA OU A ÁGUA

A partir da década 70, foram desenvolvidas mononadadeiras que se assemelham à cauda dos cetáceos e que permitem ótimo desempenho na água. O nado com este equipamento assemelha-se ao do golfinho, os braços não participam dos movimentos de propulsão, ficam distendidos e servem para melhorar o desempenho hidrodinâmico do nadador.



Fig. 7- Cauda do golfinho e mononadadeira

Fonte: Coineau (1989, p.16)



Segundo Coineau (1989), apesar de apresentar uma excelente distribuição de esforços, a mononadadeira moderna é um instrumento primitivo se comparada à nadadeira caudal do golfinho. Esta última flexiona-se, opondo a menor resistência quando retorna de sua posição baixa, distendendo-se de modo completo e estável para garantir o máximo de potência quando se levanta.

LOCALIZAÇÃO PELO ECO- O golfinho possui um sistema de eco-localização que faz o papel de visão, e que permite ao animal localizar objetos à distância de até 350 m, escutando o eco dos sinais que ele emite. Esses sinais são de dois tipos: os de baixa frequência servem para o animal explorar o ambiente e os de alta frequência servem para localizar e identificar com precisão presas ou predadores.

Aplicação: LOCALIZAR PELO ECO

O sonar do golfinho é conhecido a bastante tempo, mas seu princípio de funcionamento só foi melhor compreendido depois da invenção do sonar (Sound Navigation and Ranging). Apesar de não ter contribuído para o desenvolvimento do sistema técnico, (o sonar), o eco-localizador do golfinho, graças à sua versatilidade e qualidade, pode contribuir para o aperfeiçoamento desses sistemas.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

Nachtigall (1987)

LAGARTIXA

Uma lagartixa do sul da França tem as patas em forma de pás flexíveis. Com essa característica, o animal pode agarrar-se em superfícies escorregadias e subir, até mesmo, em paredes de vidro.



Fig. 1- Pata da Lagartixa

Fonte: Talento (1993, p.62)

Aplicação: ADERIR SUPERFÍCIES

A forma de pás flexíveis tem sido utilizada na sola de alguns tipos de sapatos. Essa mesma forma pode ser aplicada em dispositivos para fixar ou melhorar a aderência entre superfícies.



Fig. 2- Sola de sapato

Fonte: Talento (1993, p.62)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Talento (1993)

MEDUSA

As medusas deslocam-se expandindo seu corpo, como se fosse um guarda-chuva que abre e fecha rapidamente. Ao inflar, ela aprisiona uma certa quantidade de água no seu interior, ao contrair ela expelle um jato de água com uma força que gera uma outra equivalente na mesma direção, mas em sentido contrário sobre ela própria, permitindo o seu deslocamento.



Fig. 1- Medusa

Fonte: Coineau (1989, p.8)

Aplicação: MOVIMENTAR POR MEIO DE JATOS DE ÁGUA

Costeau apud Coineau (1989) utilizou um princípio semelhante ao do sistema propulsivo da medusa, ao desenvolver um disco submarino movido por dois jatos orientáveis, que garantem, ao mesmo tempo, a propulsão e a direção do disco.

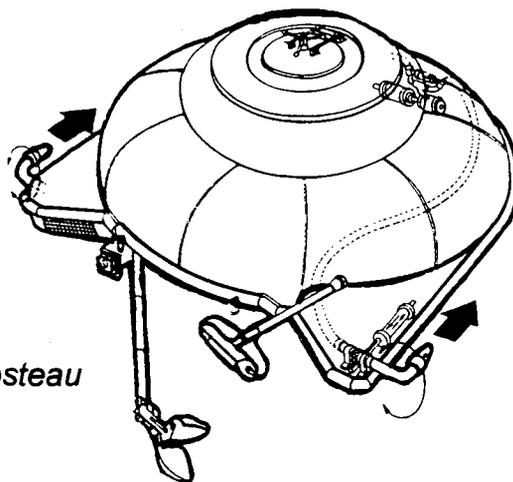


Fig. 2- Disco submarino de J. Y. Costeau

Fonte: Coineau (1989, p.8)

O sistema propulsivo por reação da medusa e de outros animais aquáticos, pode ser aplicado em veículos que tenham que se movimentar na água ou em dispositivos para movimentar fluidos, tais como bombas ou agitadores.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

MINHOCA

A minhoca possui um corpo constituído por segmentos na forma de anéis. Ela desliza para a frente esticando a parte dianteira, impelindo-a através da terra, e a seguir, puxando a parte traseira. Esse deslocamento à frente dá-se por meio de movimentos coordenados de contração e alongamento dos segmentos.

Cada segmento possui um músculo circular, sendo ligados entre si por músculos longitudinais. Os segmentos, em forma de anel, contêm um líquido incompressível. Quando o músculo circular se contrai, o segmento se alonga e reduz seu diâmetro, quando os músculos longitudinais se contraem, o segmento encurta e aumenta seu diâmetro mantendo o mesmo volume.

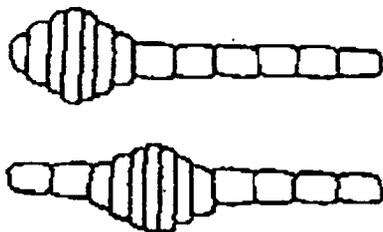


Fig. 1- Contração e alongamento de um segmento

Fonte: Lamprea (1986, p.9)

Cada segmento possui pêlos. Quando os segmentos se dilatam, os pêlos se eriçam, oferecendo numerosos pontos de apoio em contato com cavidades.

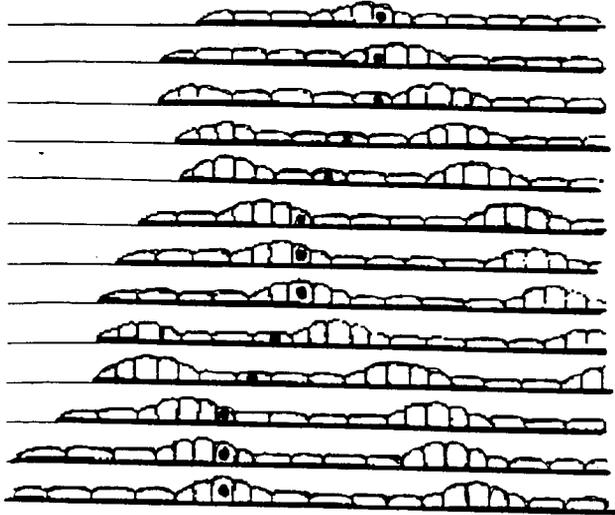


Fig. 2- Esquema de locomoção da minhoca por movimentos peristálticos

Fonte: Lamprea (1986, p.10)

Aplicação: MOVIMENTAR ROBÔS EM LOCAIS DE DIFÍCIL ACESSO

Y. Demarque, M. Lambert e P. Malléjac apud Coineau (1989) projetaram um robô para deslocamento em locais como galerias e tubos, composto por elementos autônomos e moduláveis, comandados por uma central eletrônica. Cada elemento pode contrair-se ou distender-se longitudinalmente ou ainda curvar-se em três direções. Os movimentos comandados pela central eletrônica propagam-se na forma de ondas ao longo dos elementos do robô e permitem que o mesmo se desloque no solo ou em galerias, podendo ainda ser direcionado.

Aplicação: ESTRUTURAR RECIPIENTES LONGADOS

A forma esférica é a que permite armazenar o maior volume com a menor superfície, sendo ideal para armazenar líquidos e gases. Muitas vezes, quando a construção deve ser alongada, o corpo da minhoca, constituído por segmentos quase esféricos dispostos ao longo de uma linha, pode ser um bom modelo.

Essa forma alongada oferece vantagens em relação à forma cilíndrica, por possuir uma distribuição de esforços mais homogênea, sendo, por consequência, capaz de resistir a esforços maiores. Além disso utiliza menos material para configurar a superfície externa que uma forma cilíndrica.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Lamprea (1986)

Coineau (1986)

Vanden Broeck (1986)

MORANGO

O fruto do morangueiro possui a superfície externa coberta por sementes de forma esferoidal.

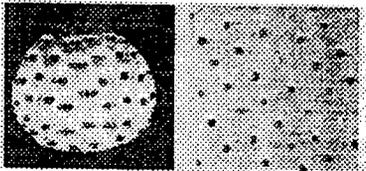


Fig. 1- Morango e superfície desenvolvida a partir do modelo natural

Fonte: Bionics (1991, p.30)

Aplicação: TEXTURIZAR SUPERFÍCIES

A superfície externa do morango foi pesquisada por Carlo Bombardelli e equipe, do Instituto Europeo di Design em Milão, como um dos modelos naturais para superfícies de interface tátil.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Bionics (1991)

MORCEGO

O vôo do morcego inspirou muitas construções aeronáuticas. Ao contrário dos pássaros que podem controlar a passagem do ar entre suas penas, as asas do morcego são membranosas e não permitem tal passagem de ar através delas. Essa característica permite as manobras acrobáticas necessárias à caça, como o mergulho.

O esqueleto das asas do morcego é dotado de articulações que as tornam totalmente dobráveis.

As asas de um morcego originário da Índia, quando abertas, podem atingir mais de um metro de envergadura e possuem uma membrana flexível, reforçada por tendões e fibras musculares. Durante a fase descendente da batida alar, para reduzir ao mínimo o esforço sobre os ossos, essa membrana infla de baixo para cima, formando bolhas semicirculares que distribuem o esforço e evitam a sobrecarga da estrutura.

Aplicação: PLANAR APARELHOS COM ASAS DOBRÁVEIS

Clément Ader (1841-1925) construiu uma máquina voadora, com a qual realizou o primeiro vôo tripulado motorizado. Foi um vôo rasante em linha reta, de aproximadamente 50 metros. As asas desse aparelho imitavam fielmente as asas do morcego.

Sua estrutura era articulada da mesma forma que as asas do morcego e podia ser dobrada e desdobrada. As costuras do tecido, esticado pela armação, apresentavam a mesma distribuição das fibras dos músculos e tendões da membrana do morcego. O conjunto era movido por meio de uma hélice de quatro pás, girada por um motor a vapor.



Fig. 2- Aparelho para navegação aérea, patente requerida em 1890 por Clément Ader

Fonte: Angelucci (1971, p.15)

O mesmo princípio observado no morcego, para distribuir a pressão do ar e reduzir o impacto das batidas alares sobre a delicada estrutura óssea, pode ser aproveitado em aeroplanos ou planadores do tipo ultra leve, asas delta, pára-quedas, velas de barco e outros dispositivos cobertos de tecido, que necessitem resistir a pressões para cumprir suas funções.

Para diminuir o esforço sobre a estrutura desses aparelhos, podem ser utilizados tecidos flexíveis, capazes de formar bolhas quando submetidos a pressões repentinas, distribuir melhor a pressão e reduzir impactos sobre a estrutura.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

MÚSCULOS

Os músculos são compostos por pequenos filamentos. Durante a contração de um músculo do tipo estriado, os filamentos menores deslizam para dentro dos maiores como se fossem pistões. Esse movimento reduz o comprimento do músculo e aumenta o seu diâmetro.

Os músculos, em conjunto com os ossos e articulações, formam diversas alavancas no corpo dos animais vertebrados. Para cada movimento, há pelo menos dois músculos que trabalham em oposição: quando um se contrai o outro se distende. Essa característica permite a realização de movimentos suaves e precisos.

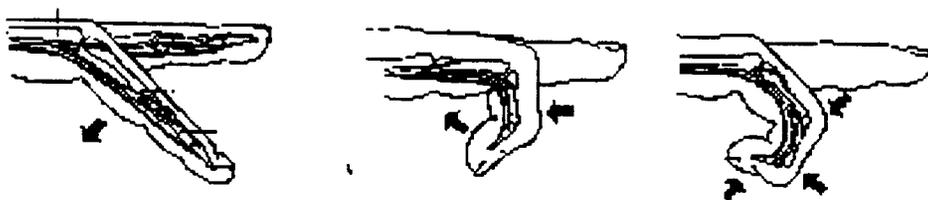


Fig. 1- Movimentos antagônicos dos músculos do dedo

Fonte: Bombardelli (1985, p. 18)

Aplicação: PUXAR ALAVANCAS

A empresa Exameca Monédi de Pau (França), apud Coineau (1989), desenvolveu em 1983 um braço robótico, cujos movimentos eram executados por músculos artificiais. Como os músculos dos vertebrados, o braço robótico é constituído por elementos que se distendem e contraem. Esse músculo artificial é composto por um tubo inflável cheio de fluido. Sua contração é obtida pela injeção de mais fluido, cuja pressão pode ser controlada, e sob o efeito da qual o músculo incha e encolhe ou desincha e distende.

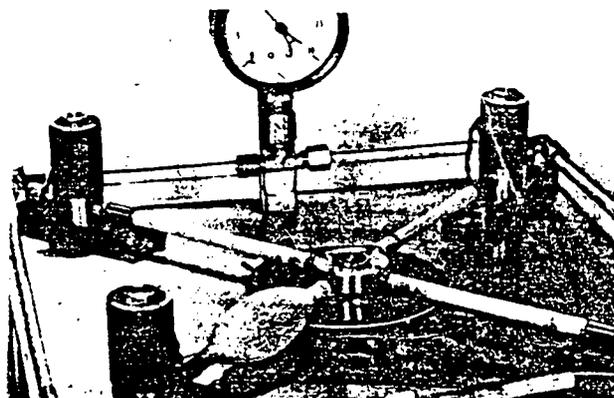


Fig. 2- Músculo artificial inflado

Fonte: Barnes (1963)

O uso combinado de músculos artificiais, trabalhando em oposição, permite, —como ocorre, por exemplo, no braço humano—, a harmonia dos movimentos e elevada sensibilidade.

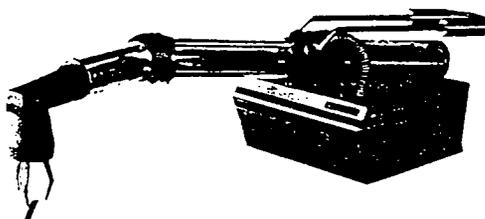


Fig. 3- Braço robótico mionédico da Exameca Monédi

Fonte: Coineau (1989, p.51)

Esse sistema muscular artificial oferece custo reduzido, não produz fagulhas, podendo ser utilizado em locais com materiais inflamáveis, não emite calor, evitando detectores infravermelhos, sendo esta última característica interessante para equipamentos militares.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

lida (1990)

OSSO

Os ossos oferecem um exemplo bastante completo de como, na natureza, a resistência aparece nos pontos em que ela é necessária. Como os ossos são submetidos a esforços multidirecionais, a natureza além da forma tubular, aumenta a espessura próximo do meio do osso, uma vez que a solicitação é maior neste ponto quando o osso é submetido a um esforço de flexão.

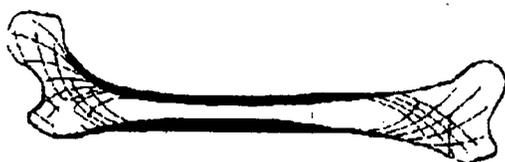


Fig. 1- Aumento da espessura na metade do osso

Fonte: Bombardelli (1982, p.408)

Já nas pontas do osso existe um achatamento para melhor distribuir o esforço nas junções. Mas o que demonstra com muita clareza a contínua adaptação da forma em função da ação de forças é a disposição interna do osso. Com exceção dos pássaros, que têm os ossos ocos internamente para reduzir peso, os ossos geralmente são preenchidos por um tecido espumoso, composto por pequenos filamentos chamados de trabéculas.



Fig. 2- Trabécula óssea

Fonte: Steadman (1979, p.14)

Um osso é continuamente submetido a esforços de tração e de compressão que geram forças que poderiam provocar um corte num ângulo de 45 graus. O perigo de rompimento é reduzido pelos pequenos filamentos da trabécula que também estão dispostos num ângulo de 45 graus ao longo das linhas de força que atuam sobre o osso (isostáticas). "A disposição das trabéculas ósseas não é mais nem menos que o diagrama das linhas isostáticas, direção da tração e da compressão da estrutura do osso sob o efeito de cargas" Thompson (1969).

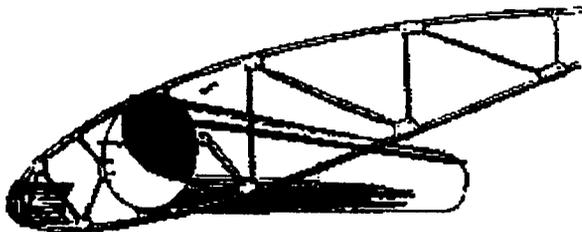


Fig. 3- Estrutura interna de uma asa e reforços internos

Fonte: Nachtigall (1987, p.19)

Aplicação: ESTRUTURAR CONSTRUÇÕES

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Bombardelli (1982)

Steadman (1979)

Thompson (1969)

Vanden Broeck (1986)

Nachtigall (1987)

OVO

O ovo é um exemplo de estrutura natural que atende, ao mesmo tempo, exigências antagônicas: deve ter resistência suficiente para proteger o pássaro e deve ser capaz de ceder no momento da saída do mesmo.

A casca de um ovo de ave é constituída por formações de cristais de cálcio. O alinhamento imperfeito entre um cristal e outro dá origem a poros microscópicos. Ela possui uma membrana interna, constituída de fibras orgânicas, e uma membrana externa finíssima, que serve para revestir e alisar a superfície externa do ovo.

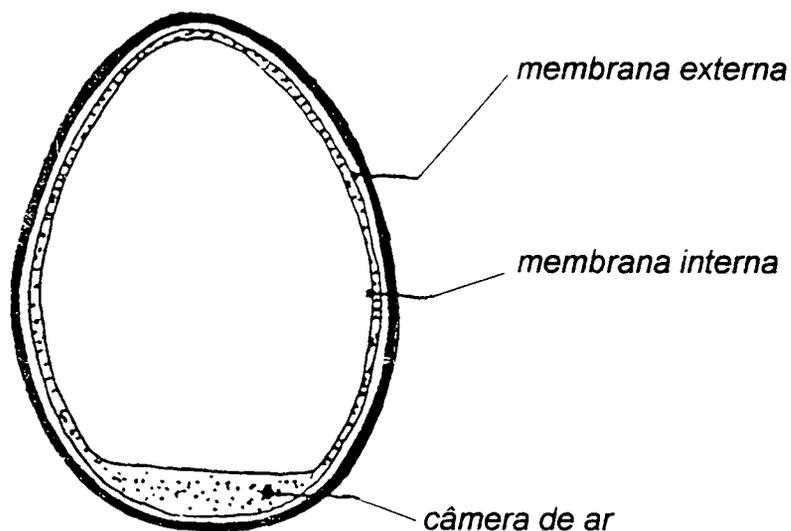


Fig. 1- Corte de um ovo de galinha

Fonte: Di Bartolo (1985)

Aplicação: ESTRUTURAR EMBALAGENS DE ALIMENTOS

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Di Bartolo (1985)

PÁSSAROS

Asa assimétrica dos

O perfil da asa dos pássaros guarda grande semelhança com o perfil da asa dos modernos aviões. Na face inferior é levemente côncava e na face superior é convexa com uma curvatura mais pronunciada. Essa assimetria faz com que o ar percorra um caminho maior na face superior.

Como o fluxo de ar leva o mesmo tempo para percorrer ambas as faces, resulta que a velocidade do ar é maior na face superior. Essa diferença de velocidade, gera uma redução da pressão na face superior da asa, que de certa forma, é aspirada para cima. Tal redução de pressão é responsável pela sustentação da asa.



Fig. 1- Perfil da asa e fluxo do ar

Fonte: Coineau (1989, p.64)

O vôo planado é possível quando há equilíbrio entre a força de sustentação e o peso do aeroplano ou pássaro. O fluxo de ar que gera a força de sustentação pode vir do deslocamento da asa no ar ou do deslocamento do ar contra a asa, isto é, do vento relativo.

Aplicação: PLANAR, VELEJAR

O perfil assimétrico da asa dos pássaros tem sido aplicado em asas de planadores, aviões e outros dispositivos capazes de planar.

Outra aplicação desse mesmo perfil pode ser vista nas velas de barco. Quando o vento circula ao redor de uma vela, esta se infla gerando uma espécie de depressão que puxa a vela para frente de modo análogo ao da asa.

O *Bird's Sail* ou vela de pássaro aproveita essa analogia. Essa vela foi desenvolvida para aproveitar o vento e impelir uma pessoa sobre uma prancha de *wind surf*. Sua forma lembra a asa de um pássaro.



Fig. 2- Vela de pássaro (Bird's Sail)

Fonte: Coineau (1989, p.63)

Mantendo a vela sobre a cabeça, com vento contrário, o surfista pode obter uma decolagem horizontal. O deslocamento de ar e as diferenças de pressão geradas pelas curvaturas da vela, criam uma depressão capaz de sustentar o peso do surfista sobre a prancha. A vela pode ainda ser fixada na prancha como uma vela normal.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

PÁSSAROS

Asa do albatroz

O albatroz possui asas compridas e estreitas que permitem pairar por muito tempo sem a necessidade de batê-las. A ponta das asas dessa ave, são afiladas na forma de flecha e possuem penas que controlam a passagem do ar, eliminando turbulências. Essas características aumentam o efeito de sustentação proporcionado pelo deslocamento de ar, e permitem que esta ave passe longos períodos voando sobre o oceano, sem fazer esforços significativos.



Fig. 1- Albatroz

Fonte: Coineau (1989)

Aplicação: PLANAR, VELEJAR

Os princípios contidos nas asas do albatroz podem ser aproveitados para o desenvolvimento de formas e dispositivos capazes de reduzir a turbulência e aumentar o efeito de sustentação (do ar), nas asas de planadores, aviões e outros aparelhos capazes de planar.

Outra possível aplicação para a forma dessa ave, está em dispositivos para aproveitar, de modo eficiente, a força do vento. Por exemplo: velas para veículos movidos a vento e cataventos.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

PÁSSAROS

Asa flexível

A borda de ataque da asa dos pássaros (ou seja, a aresta frontal) é arredondada. Já a borda de fuga (aresta posterior) é flexível. Essa flexibilidade permite, ao pássaro, controlar a passagem do ar sobre as duas faces da asa e adotar sempre a forma que permite a melhor sustentação possível para a cada velocidade, agindo sempre no sentido de evitar o surgimento de turbulências ou qualquer outro fator que implique na redução da sustentação proporcionada pelo deslocamento do ar.

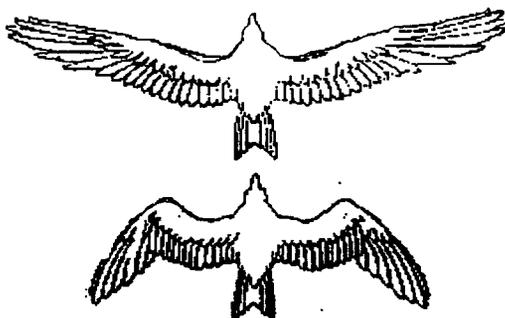


Fig. 1- Mudança da geometria da asa

Fonte: Nachtigall (1987, p19)

Aplicação: PLANAR

Asas adaptativas para planadores, aviões e outros dispositivos capazes de planar. Esse tipo de asa possui sensores que informam as variações das condições de passagem do ar e dispositivos informatizados que adaptam o perfil da asa para cada condição.

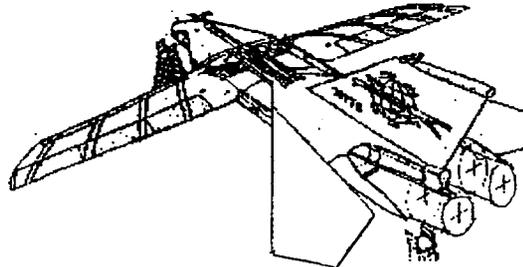


Fig. 2- O avião MAW (Mission Adaptive Wing)

Fonte: Nachtigall (1987, p.19)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Natchigall (1987)

PEIXES

MOVIMENTO: A maioria dos peixes se movimenta agitando a cauda de um lado para outro, enquanto curva o corpo na direção oposta. Peixes velozes como o marlin ou o atum se deslocam apenas com a oscilação da cauda.

Ao abanar a cauda para um lado, o peixe provoca um deslocamento de água que cria um redemoinho, ao retornar a cauda, ele se apóia no redemoinho e recupera uma parte da energia, abana para o outro lado e cria outro redemoinho.

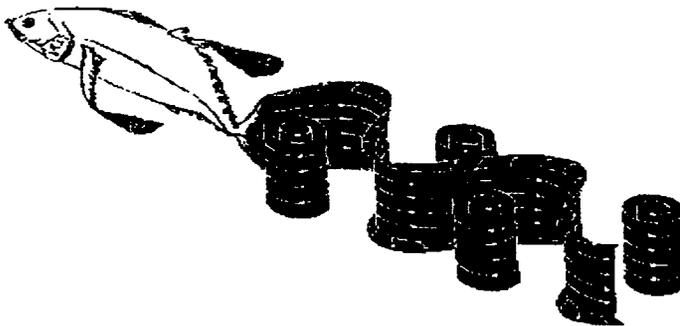


Fig. 1- Esquema dos redemoinhos alternados criados pelo peixe

Fonte: Coineau (1989, p.6)

O sistema de propulsão do peixe permite o máximo em desempenho, com o menor consumo de energia. Segundo P. Webb, apud Coineau (1989), o rendimento da cauda do salmão é de 80%, enquanto que a melhor hélice de navio não ultrapassa 65%.

O sistema propulsivo do peixe tem sido estudado, visando a sua aplicação em embarcações. Hertel (1966) apresenta vários estudos sobre a forma e os movimentos dos peixes. Esses estudos incluem propostas de dispositivos propulsores para barcos, baseados no nado dos peixes.

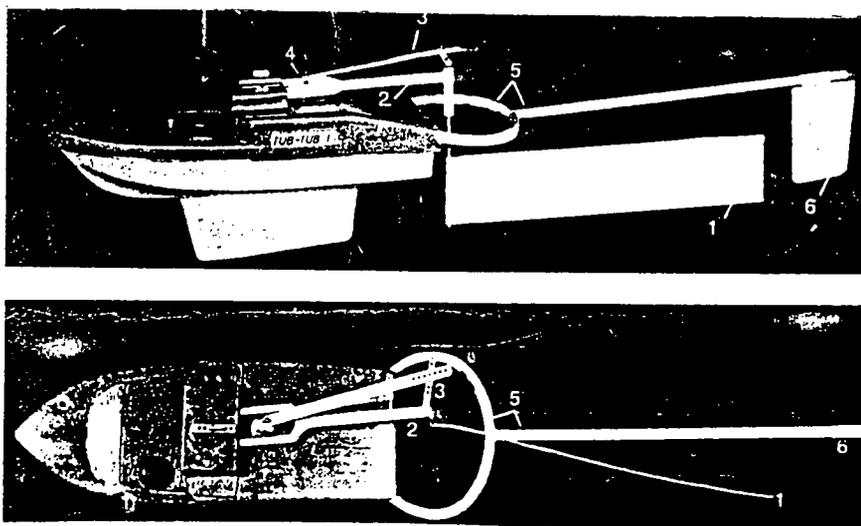


Fig. 2- Modelo propulsão aquática experimental baseado nos peixes

Fonte: Hertel (1966, p.167)

O princípio de propulsão dos peixes poderá ser utilizado não apenas em veículos aquáticos, como também em dispositivos fixos para deslocamento ou agitação da água. Entretanto, essas aplicações ainda dependem da pesquisa e desenvolvimento de materiais flexíveis e da determinação da forma ideal para a cauda.

Em 1989, uma equipe multidisciplinar de biólogos e técnicos conduzia pesquisas na Universidade de Saarbrücken e de Berlin, para tentar resolver esses problemas.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

Hertel (1966)

PERNAS BÍPEDES

Na caminhada, o equilíbrio é perdido e recuperado a cada passo. O levantar e deslocar do pé à frente, desloca o baricentro do corpo e provoca uma perda momentânea do equilíbrio, que é recuperado quando a perna em movimento leva o pé a tocar o solo. No canguru, intervém um equilíbrio dinâmico semelhante ao do homem que corre, e cujos pés oferecem ao corpo que balança, por algum tempo, um apoio temporário. Esse espaço de tempo depende da velocidade do movimento.



Fig. 1- Deslocamento do canguru

No caso do quadrúpede, para caminhar para a frente o animal levanta duas das pernas, transferindo e equilibrando seu peso sobre as outras duas, porém no deslocamento veloz chega a ficar com as quatro patas no ar.

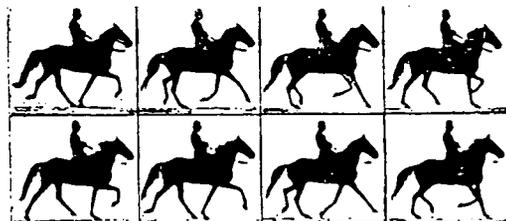


Fig. 1- O caminhar do cavalo

Fonte: Coineau (1989, p.49)

Aplicação: MOVIMENTAR MÁQUINAS SALTANTES

M. Raibert, apud Coineau (1989), da Universidade de Carnegie-Mellon, USA, experimentou uma máquina que anda numa perna só e corre como um canguru. Um sistema informatizado regula a altura do salto, controla o equilíbrio da máquina e mantém a estabilidade. "Esta realização constitui o primeiro passo para a construção de máquinas de quatro pés com condições de correr" (Coineau, 1989).

A vantagem do desenvolvimento de máquinas movidas a pernas, imitando uma grande parte dos animais terrestres, está na capacidade de superação de obstáculos por parte destas.

Entretanto, para a viabilização técnica de sistemas de transporte, movidos por meio de patas mecânicas, devem ainda ser resolvidas as dificuldades de coordenação e equilíbrio inerentes aos mesmos.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

PERNAS Insetos

Os insetos se deslocam graças ao movimento alternado dos seus três pares de patas. A cada movimento, os insetos avançam as pernas dianteira e traseira de um lado e a perna central do outro.

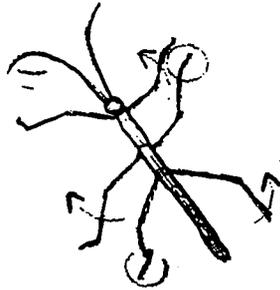


Fig. 2- Inseto

Fonte: Nachtigall (1987)

Aplicação: MOVIMENTAR MÁQUINAS RASTEJANTES

Máquinas rastejantes, movidas por três pares de pernas —sistema denominado de trípede alternado—, não têm os problemas de equilíbrio das máquinas inspiradas nos bípedes ou quadrúpedes. Contudo, também necessitam de algum tipo de programação para executar os movimentos, e da ajuda da inteligência artificial para reconhecer e superar obstáculos.

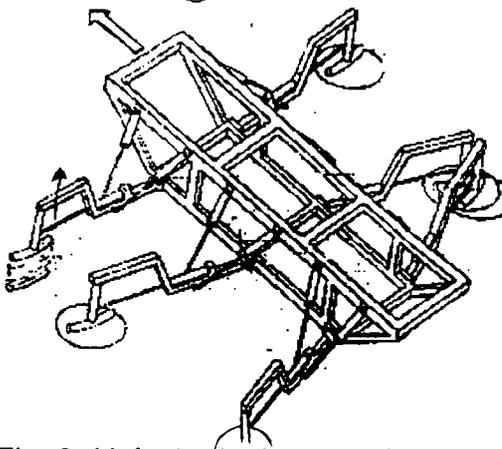


Fig. 3- Veículo do tipo rastejante

Fonte: Nachtigall (1987 p. 28)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Nachtigall (1987)

PÍTON

A serpente píton é capaz de engolir presas de tamanho superior ao tamanho da sua cabeça. A articulação de sua mandíbula é uma das características responsáveis por esta capacidade: essa articulação é dupla e permite ao animal movimentar a mandíbula para frente ou para trás. Essa flexibilidade é reforçada pela elasticidade dos tecidos que unem a mandíbula e a maxila.

A outra característica é a estruturação helicoidal do osso pterigóide que fica localizado ao centro da maxila.



Fig. 1- Cabeça do píton indiano e estrutura do osso pterigóide

Fonte: Vanden Broeck (1981)

Aplicação: ESTRUTURAR PERFILADOS FLEXÍVEIS

Vanden Broeck (1981) criou, a partir desse osso, um modelo helicoidal e propôs a utilização desse modelo em perfilados ao mesmo tempo resistentes e flexíveis, tendo projetado uma cadeira em fibra de vidro, cuja estrutura foi baseada no pterigóide.

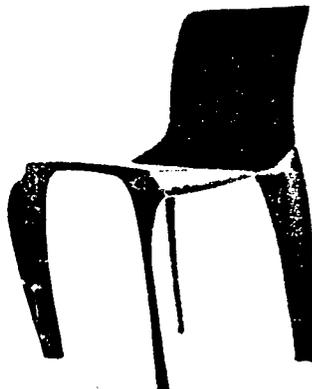


Fig. 2- Cadeira com estrutura baseada no pterigóide

Fonte: Vanden Broeck (1981)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

Vanden Broeck (1981)

Vanden Broeck (1989)

RADIOLÁRIOS

Os radiolários são minúsculos organismos marinhos, que se assemelham à gaiolas de formas variadas, sendo que algumas vezes apresentam formas esféricas. Esses organismos possuem um esqueleto de silício puro, amorfo e reticulado, formado por pequenas pirâmides.

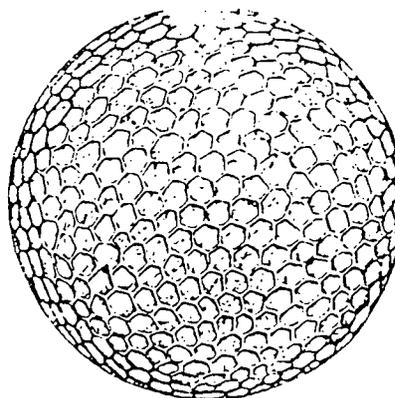


Fig. 1- Exemplo de radiolário

Fonte: Di Bartolo (1981, p. 84)

Aplicação: ESTRUTURAR CONSTRUÇÕES ESFÉRICAS

Na década de 50, Le Ricolais apud Coineau (1989) construiu um modelo de cúpula geodésica baseado no esqueleto de um radiolário. Este tipo de estrutura esférica oferece, como vantagens, o maior volume interno com a menor superfície externa, ou seja, é a forma capaz de conter o maior volume com a menor quantidade de material, para configurar a superfície contenedora. Outras vantagens dessa estrutura são a leveza e a modularidade, podendo ser montada a partir de um reduzido número de elementos diferentes.

Le Ricolais percebeu, entretanto, que como na forma esférica a distribuição de esforços era igual em todas as direções, esse tipo de construção era mais indicado para locais onde a gravidade não manifestasse toda a sua influência, como no fundo do mar ou no espaço. Assim, para garantir uma distribuição de esforços

mais igualitária, a base de uma cúpula deve ser reforçada, ou a forma adotada deve ser semelhante a uma esfera achatada como uma gota de água sobre uma superfície plana. A construção de R. Buckminster Fuller, o pavilhão americano da Exposição Universal de Montreal no Canadá em 1967, leva em conta essa solicitação e tem tubos reforçados na base.



Fig. 2- Cúpula geodésica de Fuller para a Expo de Montreal em 1967

Fonte: Otto (1988, p. 73)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

Di Bartolo (1981)

Otto (1982)

Vanden Broeck (1986)

SÂMARA

As sementes de um modo geral são espalhadas pelo vento. A queda de uma semente é prolongada, se a mesma é muito leve ou possui a forma de disco, asa, ou hélice.

A figura a seguir mostra uma sâmara simples alada, composta por um núcleo que continua organicamente para a direita formando uma espécie de asa ou pá de hélice.

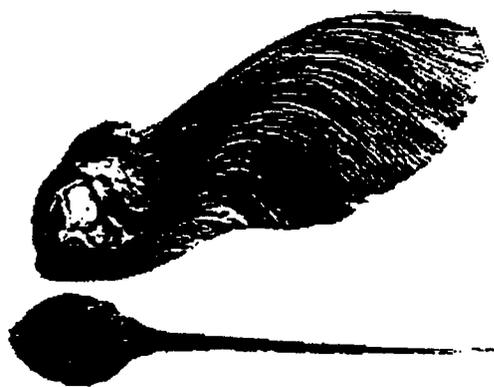


Fig. 1- Sâmara de asa simples (*securidaca longipedunculata*)

Fonte: Hertel (1966, p.90)

A asa tem o efeito de reduzir a velocidade da queda. Se a queda é provocada pelo vento, este último inclinará sensivelmente a trajetória do grão, participando da dispersão da semente.



Fig. 2- Semente em rotação

Fonte: Coineau (1989, p. 73)

Um vento que sopra a 16 metros por segundo, transporta uma semente que caia a altura de dez metros, a uma velocidade de 0,8 metros por segundo, a uma distância de 200 metros.

A dinâmica da sâmara é comparável a do moinho de vento que tira sua energia do ar que circula.

Uma autorotação semelhante pode ser vista quando um avião cai em parafuso, fato que termina com sua destruição, ou ainda, quando ocorre uma pane no rotor de um helicóptero e as pás do mesmo passam a executar uma autorotação para reduzir a velocidade de queda.

Aplicação: PLANAR ASAS GIRATÓRIAS

Uma possível aplicação do princípio de vôo desta semente é informada por Vanden Broeck (1989), citando estudos para a criação de um sistema para dispersão aérea de alimentos e medicamentos em zonas atingidas por catástrofe.

Uma outra espécie de sâmara, a *Hiptage madablota*, possui três asas e utiliza igualmente a autorotação para reduzir a velocidade de queda.

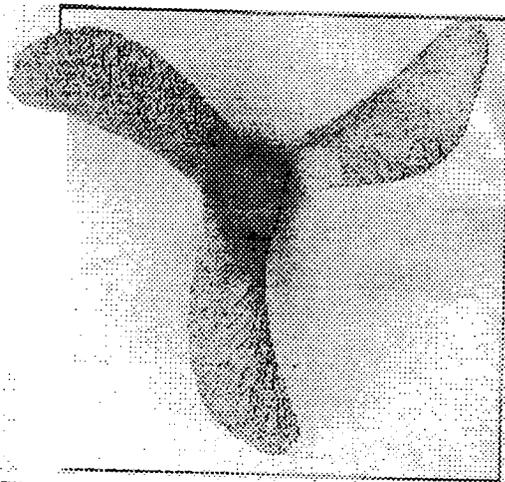


Fig.3- Sâmara de três pás

Fonte: Talento (1993, p.64)

Aplicação: PLANAR ASAS GIRATÓRIAS

Em 1840, um dos pais da aeronáutica, o inglês George Cayley, desenhou uma hélice baseada na forma da sâmara de três pás, depois de observar o vôo da mesma.

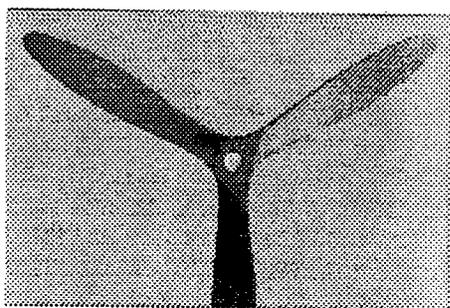


Fig. 4- Hélice de três pás

Fonte: Talento (1993, p.64)

Em 1928, J. de La Cierva construiu o autogiro, aparelho tracionado por uma hélice tradicional movida a motor, enquanto que um conjunto de quatro pás não articuladas entra em autorotação, sob o efeito do vento, assegurando a sustentação.

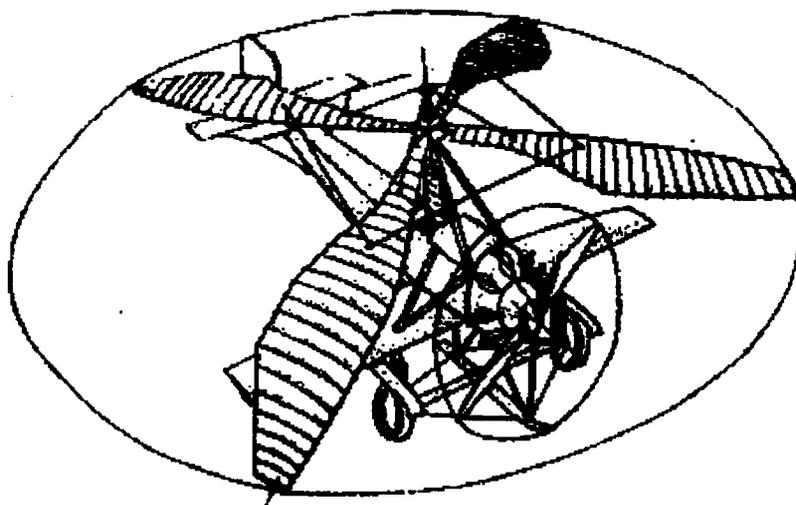


Fig. 5- Autogiro de J. de La Cierva

Fonte: Coineau (1989, p. 73)

A ESTRUTURA DA SÂMARA- A estrutura desta semente apresenta uma superfície grande em relação ao seu peso. Mesmo assim, apresenta a rigidez necessária para enfrentar os esforços aerodinâmicos e manter a integridade da semente.

A casca dessa semente forma um feixe de nervuras, que se estendem na direção da borda, sendo resistente à torção e flexão, a parte rígida fica concentrada no núcleo da semente, a espessura diminui do núcleo para a borda oposta.

Aplicação 3: ESTRUTURAR CONSTRUÇÕES LEVES

Segundo Hertel (1966) estudos de estruturas desse tipo podem estimular o projeto de construções leves, como por exemplo: plásticos reforçados em fibra de vidro, que alinhem suas fibras organicamente, segundo o modelo natural.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

Hertel (1966)

Vanden Broeck (1989)

SERPENTE, Escamas da

A superfície das escamas ventrais das serpentes apresenta um relevo que facilita a sua movimentação. Essa superfície é composta por um manto de elementos pontudos, cujas pontas, levantadas na parte traseira, fornecem o apoio necessário ao seu deslocamento para a frente. Além disso, o alinhamento paralelo e os canais longitudinais, formados pela sobreposição das escamas, agem como guias e têm efeito direcional.

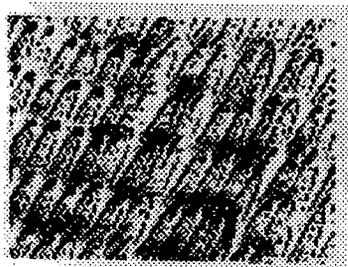


Fig. 1- Escamas ventrais da serpente (Leimadorphys typhlus) ao microscópio eletrônico

Fonte: Coineau (1989, p.46)

Aplicação: DESLIZAR ou RETER

O princípio de deslizamento das escamas ventrais da serpente pode ser aproveitado para o desenvolvimento de superfícies com atrito direcional, ou seja, superfícies capazes de deslizar facilmente numa direção e de impedir o movimento na outra direção.

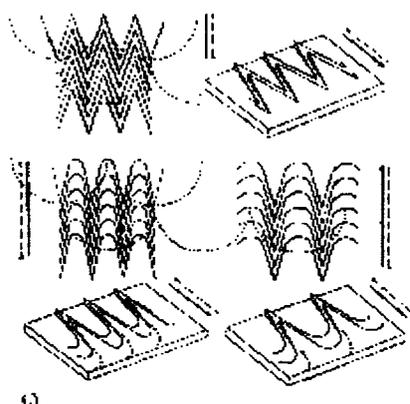


Fig. 2- Superfície com coeficiente de atrito direcional, pedido de patente de J.Castanet do Museu Nacional de História Natural de Paris em 1983

Fonte: Coineau (1989, p.49)

Esse tipo de superfície pode ser utilizado em produtos expostos ao atrito e que devam deslizar ou deslocar-se em apenas um sentido, como esquis, solas, correias transportadoras.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1986)

TARTARUGA, Carapaça da

A carapaça das Tartarugas é formada por placas córneas duras, formadas por tecido cutâneo. A parte que cobre o dorso da tartaruga é a carapaça propriamente dita.

A carapaça oferece grande proteção contra agressões de outros animais, graças a sua dureza e a sua forma externa. Sua forma elíptica é a resposta ideal (desenvolvida pela natureza), aos esforços que atuam sobre a carapaça do animal. Ela é dividida em módulos, os maiores na parte superior e os menores e mais numerosos na base, formando um cinturão periférico que tensiona a cúpula.

Aplicação 1: Construção de cúpulas

Vanden Broeck (1986) sugere o uso da forma da carapaça da tartaruga, como modelo para a construção de cúpulas, por ser esta a forma que apresenta uma distribuição de esforços ideal para esse tipo de construção.

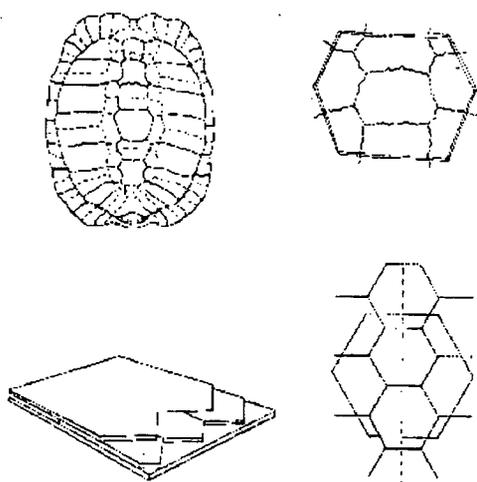


Fig. 1- Estruturação do lado inferior da carapaça

Fonte: Bionics (1991, p. 28)

Aplicação 2: Capacetes

Inspirados nos módulos e camadas existentes na carapaça da tartaruga, o Istituto Europeo di Design de Milano desenvolveu o projeto de um capacete para motociclistas. O capacete projetado é composto por módulos, com junções colocadas de forma a distribuir e absorver os impactos.

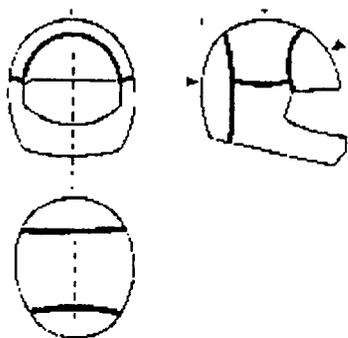


Fig. 2- Hipótese projetual derivada da análise do elemento natural

Fonte: Bionics (1991, p. 28)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Bionics (1991)

Vanden Broeck (1986)

TRAQUÉIA

A traquéia de alguns insetos, bem como as traquéias existentes nas nervuras das folhas de alguns vegetais, são tubos que devem permitir a passagem de ar ou de líquidos. Para diminuir a possibilidade de obstruções, esses tubos possuem um reforço em espiral dentro da parede do tubo que garante a boa circulação de fluidos.

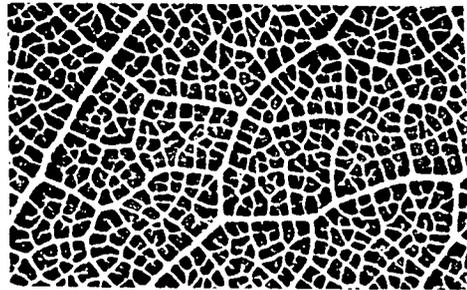


Fig. 1- Traquéias das nervuras de uma folha

Fonte: Coineau (1989, p.29)

Aplicação: ESTRUTURAR TUBOS

A aplicação de um reforço em espiral em tubos flexíveis usados na condução de fluidos, reduz a possibilidade de quebras e obstruções, mesmo quando estes são curvados. Essa solução tem sido utilizada na técnica e pode ser vista, por exemplo, em tubos de aspiradores.

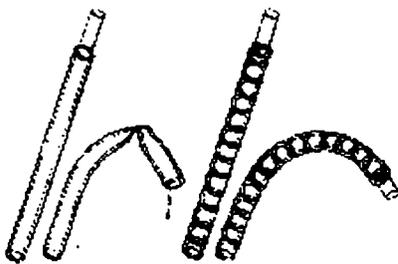


Fig. 2- Tubos flexíveis curvados sem e com reforço espiral

Fonte: Coineau (1989, p.29)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

VITÓRIA-RÉGIA (*Victoria regia*)

A vitória-régia é uma planta aquática encontrada na Amazônia. Suas folhas flutuam em águas pouco profundas, presas ao fundo por uma espécie de caule. Essas folhas são redondas e com as bordas levantadas (como algumas formas de pizza). A vitória-régia atinge, às vezes, dois metros de diâmetro, sendo que a sua superfície superior é coberta por uma membrana plana, circundada por uma borda com aproximadamente dez centímetros de largura.

Quando na água, a folha flutua e a superfície superior mantém-se seca. A superfície inferior é reforçada por nervuras que partem do centro da folha e se bifurcam várias vezes. Cada nervura iniciada no centro, bifurca-se cinco vezes e gera trinta e duas nervuras ao terminar na borda. O peso das nervuras diminui à medida em que elas se aproximam da borda. Devido à sua rigidez radial, essa planta é capaz de suportar o peso de um homem, sem danos à sua estrutura e sem afundar.

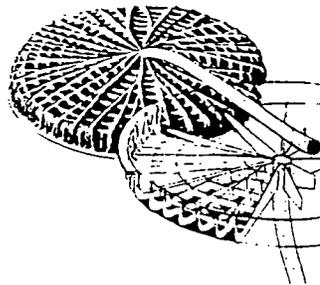


Fig. 1- Vitória-régia vista inferior

Fonte: Coineau (1989, p.26)

O botânico e engenheiro Joseph Paxton desenvolveu um sistema de cobertura horizontal, patenteado em 1850, inspirado na estrutura dessa planta. A cobertura desenvolvida por Paxton é retangular, ao invés de circular e raiada (como a da Vitória-régia), porém é análoga à da planta em muitos aspectos:

- As vigas reticuladas longitudinais correspondem às grandes nervuras radiais da folha;
- As calhas têm a mesma função das lâminas da folha, que são dispostas em círculos e ligam as nervuras da mesma;
- A cobertura em vidro corresponde à membrana que recobre as nervuras da folha;
- O conjunto é sustentado por pilares, de forma análoga à planta que se apóia sobre o seu caule na água.

Finalmente, a Vitória-régia, que vive numa região de alto índice pluviométrico, afundaria ao primeiro temporal se não fosse dotada de saídas para a água da chuva. Na construção de Paxton, a água da chuva e a água resultante da condensação são recolhidas pelas calhas e eliminadas através da estrutura portante.

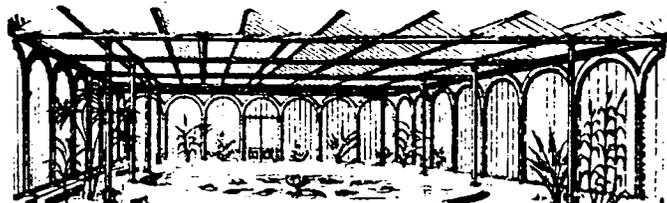


Fig. 2- Viveiro para plantas com nervuras no teto inspiradas na vitória-régia.

Fonte: Coineau (1989, p.26)

O mesmo princípio construtivo foi utilizado por Paxton na construção do Crystal Palace, construção pré-fabricada, montada em 1851, para sediar a primeira Exposição universal em Londres.



Fig. 3- Crystal Palace

Fonte: Coineau (1989, p.26)

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Hertel (1966)

Coineau (1989)

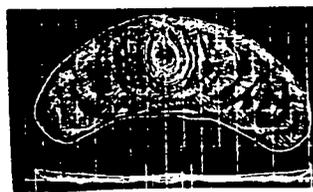
ZANÔNIA

A zanônia (*Zanonia macrocarpa*) é uma fruta alada, originária da ilha de Java, que, ao ser arrancada da árvore por um vento forte, é capaz de planar grandes distâncias até atingir o chão.

Igo Eritrich, apud Hertel (1966), buscou nesta fruta, princípios de solução para resolver problemas de estabilidade em superfícies rígidas capazes de planar, apresentados nos planadores construídos por Otto Lilienthal.

Fig. 1- Zanônia (*Zanonia macrocarpa*)

Fonte: Coineau (1989, p. 56)



A partir desses estudos, Eritrich desenvolveu um planador sem flaps, que voou em 1904, sem piloto. Em 1905, testou um modelo maior com comprimento de 10 metros e área de 38 m², e em 1906, testou o mesmo modelo, que voou 300 metros com um piloto.

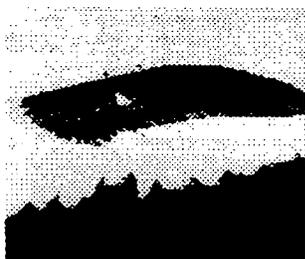


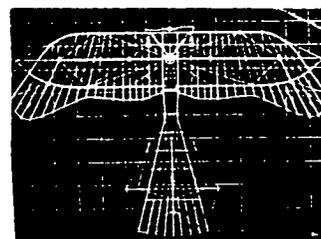
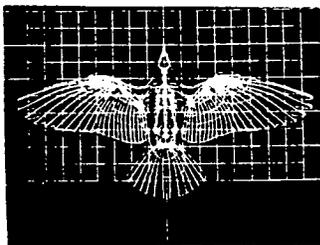
Fig. 2- Asa planadora baseada na zanônia

Fonte: Hertel (1966, p.97)

A partir de 1909, Eritrich passa a desenvolver modelos motorizados e volta a buscar inspiração nos pássaros.

Fig. 3- Pomba de Eritrich

Fonte: Coineau (1989, p.56)



A asa modelada a partir da zanônia, só manifestava sua grande estabilidade se o centro de gravidade estivesse corretamente posicionado. Na época, isso seria difícil de resolver em aviões motorizados ou pilotados, porém, posteriormente, foi resolvido com a utilização de flaps, ou estabilizadores.

A despeito das limitações do modelo natural, este serviu para clarificar os problemas de estabilidade e controle dos planadores, conhecimento que foi aproveitado por Eritrich para construir aviões.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

Coineau (1989)

Hertel (1966)

**"BANCO DE CARACTERÍSTICAS E
APLICAÇÕES DE SISTEMAS
NATURAIS"**

CAMPO 3:

**MAIS INFORMAÇÕES OU FONTES DE
INFORMAÇÃO**

- ANGELLUCCI, Enzo. Gli Aeroplani. Milano: Arnoldo Mondadori Editori, 1971.
- BARNES, Sam. Organism Based in Hardware. Machine Design, April 1963.
- BIONICS and Design. Design Dk, Kobenhavn N. 3, p. 25-32, 1991.
- BOMBARDELLI, Carlo. Ossa lunghe: Elementi Naturali resistente a flessione. Milano: Acciaio, n.9, p.408-416, 1982.
- BOMBARDELLI, Carlo et al. Come nasce un prodotto Bionico. Milano: CRSN Istituto Europeo di Design, 1985. 26p
- COINEAU, Yves, KRESLING, Biruta. Le invenzioni della natura e la bionica. Torino: Edizioni Paoline, 1989. 97 p.
- DI BARTOLO, C. Strutture naturale e modelli bionici. Milano: Istituto Europeo di Design, 1981.
- HERTEL, Heinrich. Structure form and movement. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1966. 251p.)
- LAMPREA, Rosa Helena. Esqueleto hidrostático. Milano: Istituto Europeo di Design - CRSN, 1986.
- NACHTIGALL, Werner. La nature réinventée: La bionique. Paris: Librairie Plon, 1987.
- OTTO, Frei. Natürliche Konstruktionen. Stuttgart: Deutsche Verlags- Anstalt, 1982.
- OTTO, Frei. Gestaltwerdung: Zur formentstehung in natur, technik und Baukunst. köln: R. Müller, 1988.
- PEARCE, Peter, PEARCE, S. Experiments in form. New York: Reinhold, 1980.
- STEADMAN, Philip. The evolution of designs. London: Cambridge University Press, 1979.
- TALENTO Inventivo da Natureza. Revista Super Interessante, n. 4 , Abril de 1993. p. 62-66.

- THOMPSON, D'arcy. W. Crescita e forma: la geometria della natura. Torino: Boringhieri, 1969.)
- VANDEN BROECK, F. Fonction, matériau, forme: Le ptérygoïde de Python. Lausanne: Ecole contonale des Beaux-Arts et d'Art appliqué, 1981.
- VANDEN BROECK, F. Las estructuras na natureza y na técnica. México DF: UAM, 1986.
- VANDEN BROECK, F. O uso de analogias biológicas. Revista Design e Interiores, São Paulo, n.15, p.97-100, 1989.