

FLORA BITTENCOURT DETANICO

**SISTEMATIZAÇÃO DE PRINCÍPIOS DE
SOLUÇÃO DA NATUREZA PARA APLICAÇÃO NO
PROCESSO CRIATIVO DO PROJETO DE PRODUTOS**

Dissertação de Mestrado julgada e aprovada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Design pelo Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, área de concentração: Design e Tecnologia

ORIENTADORES

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Prof. Dra. Tânia Luisa Koltermann da Silva

Porto Alegre

Agosto de 2011

CIP - Catalogação na Publicação

Detanico, Flora Bittencourt
Sistematização de Princípios de Solução da Natureza
para Aplicação no Processo Criativo do Projeto de
Produtos / Flora Bittencourt Detanico. -- 2011.
191 f.

Orientador: Fábio Teixeira Gonçalves.
Orientadora: Tânia Luisa Koltermann da Silva.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2011.

1. biomimética. 2. biônica. 3. design de produto.
4. métodos criativos. 5. princípios de solução da
natureza. I. Gonçalves, Fábio Teixeira, orient. II.
Silva, Tânia Luisa Koltermann da, coorient. III.
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA | ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SISTEMATIZAÇÃO DE PRINCÍPIOS DE
SOLUÇÃO DA NATUREZA PARA APLICAÇÃO NO
PROCESSO CRIATIVO DO PROJETO DE PRODUTOS**

FLORA BITTENCOURT DETANICO

ORIENTADORES

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Prof. Dra. Tânia Luisa Koltermann da Silva

Porto Alegre

Agosto de 2011

FLORA BITTENCOURT DETANICO

**SISTEMATIZAÇÃO DE PRINCÍPIOS DE
SOLUÇÃO DA NATUREZA PARA APLICAÇÃO NO
PROCESSO CRIATIVO DO PROJETO DE PRODUTOS**

Dissertação de Mestrado julgada e aprovada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Design pelo Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, área de concentração: Design e Tecnologia

Aprovada em: 25 de agosto de 2011

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. André Ogliari
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Wilson Kindlein Jr.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Régio da Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dra. Tânia Luisa Koltermann da Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

“Satisfaz-me o mistério da eternidade da vida e o mais leve indício da maravilhosa estrutura da realidade, juntamente com o esforço sincero para compreender uma parte, mesmo que ínfima, da razão que se manifesta na natureza”. (EINSTEIN, 1949, p. 5)

“A genialidade do homem faz várias invenções, abrangendo com vários instrumentos o único e mesmo fim, mas nunca descobrirá uma invenção mais bela, mais econômica ou mais direta que a da natureza, pois nela nada falta e nada é supérfluo”. (VINCI, 2004, p. 96)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e aos professores do programa de Pós-Graduação em Design pelas oportunidades de aprendizagem de novos conhecimentos.

Aos professores Fábio Gonçalves Teixeira e Tânia Koltermann da Silva pela valiosa orientação e condução na realização deste trabalho.

Ao professor Wilson Kindlein Júnior pelos ensinamentos na área da biônica e pela dedicação na construção de um design mais social e ecológico.

Ao pai e à mãe (André e Laline) pelo amor, pelo apoio ao longo de toda a vida e pelo incentivo constante.

Aos meus mestres Fabiano Camilo e Paula Ibarra pela inspiração na busca do conhecimento de forma autêntica e profunda.

Ao meu companheiro, Samuca, pelo exemplo de vida, pela compreensão e pelos laços profundos que nos mantém unidos através do tempo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para esse trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo sistematizar alguns princípios de solução da natureza através da elaboração de uma taxonomia. Essa taxonomia pode ser utilizada como embasamento para a construção de ferramenta para o processo de projeto, cuja função é apoiar o designer na geração de alternativas durante a fase conceitual do design de produto. Para a consecução do trabalho foram investigadas três áreas do conhecimento: o processo de desenvolvimento de produto, com ênfase na fase conceitual e nos métodos criativos; os princípios de solução da natureza através de referências da biologia, da matemática e da biomimética; e a teoria da classificação, investigada com o objetivo de compreender uma metodologia adequada à organização do conhecimento na área proposta. O processo de intervenção foi realizado em conformidade com as metodologias levantadas no referencial teórico, oportunizando a elaboração da taxonomia dos princípios de solução da natureza. A sistematização do conhecimento realizada permitiu a proposição de uma ferramenta de aplicação direta ao designer para a geração de alternativas para o projeto de produto.

Palavras-chave: design, biomimética, biônica, princípio de solução, natureza, projeto de produto, métodos criativos.

ABSTRACT

This paper's aim is to systematize some of the solution principles of nature by developing a taxonomy. This system will be the basis for building a tool for the project process, which function is to help the designer when creating alternatives during the conceptual phase of product design. Three areas of knowledge were investigated: the process of product development, with emphasis on the conceptual phase and creative methods; biology, mathematics and biomimicry to understand nature's best design; the theory of classification, studied to understand a methodology for the organization of knowledge in the proposed area. The process was conducted according to methods raised in the theoretical framework, allowing the solution principles of nature taxonomy to develop. The systematization of the knowledge acquired allowed the proposition of a new tool for direct application in creating alternatives on product design.

Keywords: design, biomimicry, bionics, solution principles, nature, product design, creative methods.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE QUADROS	13
LISTA DE TABELAS	13
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	14
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	15
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.4 OBJETIVO GERAL	16
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.6 HIPÓTESE DA PESQUISA	17
1.7 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	21
2.1.1 Introdução	21
2.1.2 Processo Criativo no Projeto Conceitual do Produto	28
2.1.2.1 Modelagem Funcional	32
2.1.2.2 Princípios de Solução	36
2.1.3 Processo de Avaliação e Seleção no Projeto Conceitual	39
2.2 PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA	44
2.2.1 Fundamentos e Conceitos	44
2.2.2 Padrões naturais modelados	45
2.2.2.1 Razão Áurea ou ϕ	46
2.2.2.2 Pentágono e Pentagrama	53
2.2.2.3 Seqüência de Fibonacci	56
2.2.2.4 Número π	58
2.2.2.5 Fractais	59
2.2.3 Biomimetismo e soluções análogas	62
2.2.4 Aplicabilidade dos princípios naturais de solução	73

2.3 TEORIAS DA CLASSIFICAÇÃO	82
2.3.1 Conceitos Fundamentais	82
2.3.2 Sistemas de Classificação	85
2.3.3 Classificações Facetadas	88
2.3.4 Aplicações	92
2.3.5 Algumas sistematizações biomiméticas	95
3. METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO.....	99
3.1 INTRODUÇÃO	99
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A TAXONOMIA.....	100
4. ELABORAÇÃO DA TAXONOMIA	102
4.1 PRIMEIRA ETAPA: DEFINIÇÃO DO TEMA	102
4.2 SEGUNDA ETAPA: SELEÇÃO DE AMOSTRA	103
4.3 TERCEIRA ETAPA: ANÁLISE DA AMOSTRA	103
4.4 QUARTA ETAPA: ORGANIZAÇÃO DOS ELEMENTOS	104
4.5 QUINTA ETAPA: ADAPTAÇÃO DAS CATEGORIAS.....	105
4.6 SEXTA ETAPA: REORGANIZAÇÃO DOS ELEMENTOS	107
4.7 SÉTIMA ETAPA: DEFINIÇÃO DAS SUBFACETAS	109
4.8 OITAVA ETAPA: HIERARQUIZAÇÃO DOS ELEMENTOS	112
4.8.1 Faceta Ação	114
4.8.2 Faceta Objeto da Ação	114
4.8.3 Faceta Meio/Espaço	115
4.8.4 Faceta Efeito Físico	116
4.8.5 Faceta Portador do Efeito	117
4.8.6 Faceta Tempo	118
5. PROPOSTA DE FERRAMENTA DE APLICAÇÃO DA TAXONOMIA	119
5.1 PROPOSIÇÃO DA FERRAMENTA	119
5.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA	122
6. CONCLUSÕES	128
6.1 CONCLUSÕES.....	128

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	131
REFERÊNCIAS	132
APÊNDICES	136
APÊNDICE 1 -.Compilado de métodos criativos.....	136
APÊNDICE 2 - Amostra da área do conhecimento.....	148
APÊNDICE 3 - Listagem de termos relevantes da amostra.....	152
APÊNDICE 4 - Agrupamento dos elementos segundo as categorias principais.....	155
APÊNDICE 5 - Banco de dados inicial dos princípios naturais de solução.....	160
APÊNDICE 6 - Banco de dados organizado segundo a taxonomia proposta.....	166
ANEXOS	172
ANEXO 1 - Definição algébrica da Razão Áurea	172
ANEXO 2 - Princípios inventivos de Altschuller.....	173
ANEXO 3 - Construção de retângulos áureos a partir da seqüência de Fibonacci.....	176
ANEXO 4 - Diagramas de uma margarida	177
ANEXO 5 - Estudos de proporções em algumas obras-ícones da arquitetura	178
ANEXO 6 - Modulor, de Le Corbusier	180
ANEXO 7 - Inspiração biomimética (Cubo D'Água)	181
ANEXO 8 - Identidade visual para a marca Pepsi	183
ANEXO 9 - Exemplos de princípios de solução da natureza	184

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proporções na imagem do Homem Vitruviano, de Leonardo da Vinci.....	18
Figura 2: Esquema gráfico indicando as áreas de pesquisa.....	20
Figura 3: Representação do modelo do processo de desenvolvimento integrado de produtos	25
Figura 4: Fases do ciclo produção-consumo do produto.....	26
Figura 5: Fases do processo de projeto de produto	27
Figura 6: Etapas do processo de criação.....	31
Figura 7: Informações sobre as atividades da fase de projeto conceitual.....	32
Figura 8: Funções dos Produtos	33
Figura 9: Funções elementares para representar ações em sistemas técnicos	34
Figura 10: Desenvolvimento da estrutura de funções – etapa 1	35
Figura 11: Desenvolvimento da estrutura de funções – etapa 2	36
Figura 12: Tarefas da atividade "Desenvolver princípios de solução para as funções"	37
Figura 13: Constituição de um princípio de solução	37
Figura 14: Portadores para o efeito físico da alavanca.....	38
Figura 15: Exemplos de critérios generalizados e específicos de seleção de concepções	39
Figura 16: Estrutura de desdobramento do custo do ciclo de vida do produto	40
Figura 17: Triagem de concepções adotando o método de Pugh	41
Figura 18: Descrição de modelos conforme atributos mais relevantes.	42
Figura 19: Ilustração da razão "extrema e média".....	46
Figura 20: Aproximação de um retângulo áureo (5 : 8)	47
Figura 21: Construção da seção áurea a partir de um quadrado.....	48
Figura 22: Relação matemática do número Phi.....	48
Figura 23: Padrão infinito de geração de retângulos áureos deflacionados por um fator ϕ	49
Figura 24: Foto (esquerda) e diagrama (direita) de uma margarida	50
Figura 25: Espirais ou redemoinhos em impressões digitais.....	51
Figura 26: Espiral na cóclea do ouvido humano	51
Figura 27: Axonema, o centro de um axópode, mostrado em corte transversal.....	51
Figura 28: Proporções áureas na face humana	53
Figura 29: Relação geométrica entre pentágono regular e pentagrama.....	54
Figura 30: Pentágono e pentagrama relacionados ao triângulo pitagórico e às proporções áureas.....	54
Figura 31: Relações geométricas entre pentágono, pentagrama, triângulo de Pitágoras e a seção áurea.	55
Figura 32: Flor da macieira, maçãs e peras e flor do loganberry.	55
Figura 33: Gráfico da divisão de um dos números da seqüência de Fibonacci pelo seu antecessor	56
Figura 34: Representação da árvore genealógica dos zangões.....	57
Figura 35: Relação matemática entre os retângulos áureos.....	58
Figura 36: representação da folha pautada	59
Figura 37: formação geométrica da curva de Koch.....	61
Figura 38: Ramificações com fator de redução 0,5 à esquerda e 0,618 à direita.	61
Figura 39: exemplo que demonstra uma transformação.....	68

Figura 40: Representação dos grupos de músculos da minhoca.	68
Figura 41: Sequência de transformação da minhoca.	69
Figura 42: Teste do resultado com modelo real.	69
Figura 43: Manipulação dos parâmetros formais.	70
Figura 44: Teste do resultado com modelo real.	70
Figura 45: Teia de aranha construída com fios radiais retos com linhas de giro espiral (esq.); Trançado de cesto com hastes de fibra dura, que formam a urdidura (dir.).....	73
Figura 46: Medidas áureas na fachada da residência de Villa Stein, de Le Corbusier.....	74
Figura 47: Foto noturna do Cubo D'água.....	75
Figura 48: Foto da estrutura do Cubo D'água.	76
Figura 49: Ninho de Pássaro.....	76
Figura 50: Ninho de Pássaro.....	76
Figura 51: Indicação da seqüência de Fibonacci em uma oitava de piano.....	77
Figura 52: Proporções áureas identificadas na escultura de Vênus de Milo, na obra de Mondrian e na Mona Lisa, de Leonardo da Vinci.	77
Figura 53: Estudos geométricos do Boeing 747.....	78
Figura 54: Honeycomb, baseado na geometria das colmeias: construção de sanduíche em estruturas leves.....	79
Figura 55: Fotos de um carrapicho realizadas em laboratório.....	79
Figura 56: Cartão de Crédito e LCD widescreen.....	80
Figura 57: Exemplo de ecossistema de princípios de junção da natureza.....	81
Figura 58: Árvore de Porfírio.....	87
Figura 59: Tabela de classificação de aves.....	88
Figura 60: Natureza das descrições do fenômeno biológico (hierarquia abstrata).....	97
Figura 61: Tipos de similaridade (gráfico).....	98
Figura 62: Tipos de similaridade (esquema).....	98
Figura 63: Analogia entre funções do produto e da natureza.....	102
Figura 64: Seleção dos termos relevante da amostra.....	103
Figura 65: Esquema de adaptação das facetas da classificação.....	106
Figura 66: Esquema de identificação das inter-relações entre o produto e a natureza.....	109
Figura 67: Esquema de apresentação da taxonomia dos princípios de solução da natureza ..	113
Figura 68: Taxonomia da Faceta Ação.....	114
Figura 69: Taxonomia da Faceta Objeto da Ação.....	115
Figura 70: Taxonomia da Faceta Meio/Espaço.....	116
Figura 71: Taxonomia da Faceta Efeito Físico.....	117
Figura 72: Taxonomia da Faceta Portador do Efeito.....	118
Figura 73: Taxonomia da Faceta Tempo.....	118
Figura 74: Esquema do processo de utilização da ferramenta.....	119
Figura 75: Esboço de interface da ferramenta.....	120
Figura 76: Esboço de interface da ferramenta.....	121
Figura 77: Esboço de interface da ferramenta (tabela dos princípios de solução).....	121
Figura 78: Estrutura funcional do equipamento para limpeza de mexilhões.....	122
Figura 79: Matriz morfológica dos princípios de solução para o exemplo dos mexilhões....	124
Figura 80: Alternativas de Solução geradas a partir da matriz morfológica.....	125

Figura 81: Seleção dos filtros de pesquisa para a função "Separar detritos"	126
Figura 82: Integração de três áreas do conhecimento para realização da pesquisa.....	129
Figura 83: Registro de uma sessão de brainstorming.....	137
Figura 84: Exemplo de uma folha de resultados do método 635	138
Figura 85: Processo de desenvolvimento do método <i>Delphi</i>	138
Figura 86: Exemplos de aplicação do método da listagem de atributos.....	139
Figura 87: Questões instigadoras do método MESCRAI.....	140
Figura 88: Palavras relacionadas a “cortar” obtidas pela analogia simbólica.....	141
Figura 89: Processo de desenvolvimento do método sinético.....	141
Figura 90: Matriz morfológica para concepção da desoperculadora de favos de mel	143
Figura 91: Modelo de folha padrão para análise de valor	144
Figura 92: Parâmetros de engenharia de Altschuller.....	147

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Cânones para o Trabalho no Plano das Idéias.....	89
Quadro 2: Os quatro grupos de classificação dos elementos da amostra	104
Quadro 3: Trecho da amostra dos princípios de solução na natureza	108
Quadro 4: Organização da amostra nos subgrupos da faceta Ação.....	110
Quadro 5: Organização da amostra nos subgrupos da faceta Objeto da Ação	110
Quadro 6: Organização da amostra nos subgrupos da faceta Meio Espaço	111
Quadro 7: Organização da amostra nos subgrupos da faceta Efeito Físico.....	111
Quadro 8: Organização da amostra nos subgrupos da faceta Portador do Efeito.....	111
Quadro 9: Função global e subfunções para o exemplo “limpeza de mexilhões”	126
Quadro 10: Princípios naturais de solução para a combinação selecionada.....	127
Quadro 11: Princípios de solução para a função "separar detritos"	127
Quadro 12: Amostra da área do conhecimento a ser classificada.	148
Quadro 13: Listagem dos termos relevantes da amostra.	152
Quadro 14: Agrupamento dos elementos segundo as categorias principais (PMEST).	155
Quadro 15: Banco de dados inicial dos princípios naturais de solução.....	160
Quadro 16: Banco de dados organizado segundo a taxonomia proposta	166

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: valores de produtos por peso. Fonte: adaptado de Back <i>et al.</i> , 2008.....	21
---	----

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O desenvolvimento de produto passa necessariamente por uma fase inicial de concepção. Durante essa fase, que pode ser chamada de projeto conceitual, é necessária a geração de soluções alternativas, o que pede a participação criativa de um projetista ou equipe de projeto. Esse processo criativo conta não somente com a inspiração do projetista, mas também com métodos e ferramentas que permitam a manifestação da criatividade. É possível entender, portanto, que todo aquele que possui algum conhecimento técnico, treinamento e motivação, seja capaz de gerar soluções úteis e inovadoras.

Segundo Forcellini (2002), há pesquisas que indicam que a criatividade para encontrar soluções de projeto de produtos nasce, com frequência, na analogia direta com a natureza. Áreas de estudo como a Biônica e a Biomimética se fundamentam na análise de sistemas naturais e na reprodução de seus princípios de solução, buscando contribuições relevantes no processo de desenvolvimento de produto. Essas adaptações permitem a criação de formas e funções análogas ou ainda comportamentos análogos.

As soluções da natureza podem contribuir para o processo criativo de projeto, tanto na forma de analogia como através de seus padrões geométricos e matemáticos. É possível observar, por exemplo, constantes proporções matemáticas na constituição de seres humanos, animais e vegetais. Essas geometrias naturais podem ser associadas aos conceitos de estética, harmonia e equilíbrio, transformando-se em verdadeiros símbolos de beleza. Ricketts (1982), por exemplo, encontrou uma relação entre a célebre “razão áurea” e as faces belas de jovens mulheres. Da mesma forma, um estudo de Heiss (2002), que analisou rostos de modelos famosas, encontrou desvios de menos de 5% com relação ao que seria um rosto 100% desenhado segundo a proporção áurea.

Assim como os citados acima, outros estudos têm sido realizados na busca de relações com princípios da natureza aplicados às mais diversas áreas do conhecimento, tais como medicina, engenharia, arquitetura, arte, entre outros. O design também pode se apropriar destes princípios de forma mais freqüente e objetiva. Por isso, a proposta do presente trabalho

é tornar mais acessível a compreensão das soluções naturais e facilitar a sua aplicação no processo criativo do projeto.

A indústria atual busca um constante aprimoramento dos produtos para participar ativamente na competitividade do mercado. Para alcançar essa meta, faz-se cada vez mais necessária a aliança dos conceitos de funcionalidade, estética e economia. O processo criativo do projeto é um dos responsáveis por dar essa resposta de otimização do produto e por isso tem muito a crescer em se apropriar dos princípios naturais. Não é suficiente conhecê-los, há que aplicá-los e para isso podem ser desenvolvidos métodos que auxiliem o designer durante o processo criativo do projeto. Um desses métodos pode ser desenvolvido em base a uma organização sistematizada dos princípios naturais de solução, funcionando como uma ferramenta apoio ao projeto a ser utilizada pelo designer durante o processo de geração de alternativas para o produto.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A partir das descrições das ocorrências objetivas, é possível inferir o vasto campo de investigação do conhecimento existente na natureza. O presente trabalho delimita-se quanto à identificação de alguns princípios de solução naturais, sejam eles matemáticos, geométricos e/ou funcionais, os quais possam ser devidamente reconhecidos através dos padrões existentes, visando sua aplicabilidade no desenvolvimento de produtos. Faz parte desta delimitação a adoção de critérios de organização destes padrões, com objetivo de categorizá-los, facilitando a sua aplicação como ferramenta de apoio na geração de alternativas para a fase conceitual.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O presente trabalho está focado no seguinte problema de pesquisa: como os princípios de solução da natureza, identificados a partir de padrões formais ou funcionais, podem auxiliar no processo criativo de projeto de produtos?

1.4 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é propor uma sistematização dos princípios de solução da natureza, através de taxonomia¹, oportunizando a geração de uma ferramenta de apoio ao designer durante o processo criativo de projeto de produtos.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender o processo de desenvolvimento de produto com foco na fase de projeto conceitual;
- Identificar os princípios de solução da natureza, abordados por estudiosos da área, para fins de utilização no processo de projeto de produtos, com base em parâmetros matemáticos, estéticos e funcionais;
- Verificar, em alguns exemplares dentro das áreas do design, da arquitetura, da arte e da engenharia, a existência de aplicação de princípios naturais de solução na concepção do produto, considerando as especificidades das áreas;
- Revisar bibliografia a respeito da teoria da classificação com o objetivo de compreender o processo de organização do conhecimento;
- Estabelecer os procedimentos metodológicos para fins de categorização dos princípios de solução com base no referencial teórico;
- Sistematizar o conhecimento em forma de taxonomia dos princípios de solução da natureza, abrangendo as categorias propostas e a organização de alguns princípios naturais de solução;
- Prever uma ferramenta para a verificação da aplicabilidade da taxonomia no processo de geração de alternativas no desenvolvimento de produto, através de exemplo obtido na literatura.

¹ *Taxonomia* e *Taxionomia*, segundo Dic. Michaelis: ta.xio.no.mi.a (cs) sf (táxio+nomo³+ia¹) **1** Estudo dos princípios gerais da classificação científica. **2** Distinção, ordenação e nomenclatura sistemáticas de grupos típicos, dentro de um campo científico. **3** *Biol* Ramo que se ocupa da classificação natural dos seres vivos, animais e vegetais; biotaxia, sistemática. **4** *Gram* Parte que trata da classificação das palavras.

1.6 HIPÓTESE DA PESQUISA

Princípios de solução da natureza, organizados segundo categorias e características de aplicação, podem auxiliar o designer na geração de alternativas durante o processo criativo do projeto de produto, facilitando a utilização de analogias.

1.7 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A natureza representa um extenso campo de conhecimento para o ser humano. Filósofos, físicos e matemáticos têm demonstrado a excelência de suas soluções quando aplicadas às necessidades da sociedade. Segundo o ponto de vista da filosofia clássica, a natureza é fonte inesgotável de sabedoria e tem a capacidade de alimentar ampla gama de disciplinas, da arte à ciência. Por isso, em algumas épocas da história, especialmente na Grécia antiga, o homem considerado sábio era aquele que conhecia matemática, física, astronomia, música e política. A esse exemplo pode-se citar Pitágoras, Platão e Aristóteles, que foram capazes de demonstrar a eficiência provinda da multidisciplinaridade ou do conhecimento integrado do ser humano e do universo.

Segundo Elisabete Pádua (2004), além das questões metafísicas, os filósofos clássicos tratam de geometria, de lógica, de matemática, de física, de medicina e de astronomia, imprimindo uma visão sistêmica às suas interpretações do mundo, nem sempre encontradas na ciência contemporânea. Tal visão inclui a preocupação com o saber-fazer, isto é, a técnica, e tem seu ponto de partida na geometria e na matemática, com a noção de medida (saber-medir), que caracteriza as explicações sobre o universo, a matéria, o movimento e os corpos. De modo amplo, é possível afirmar que a construção da tradição metafísica clássica se deu a partir do esforço dos filósofos para identificar como eram constituídos os objetos, os seres e o universo em sua essência.

Como fonte de conhecimento, é possível inferir que a natureza contém em si princípios de solução altamente qualificados, os quais podem ser identificados e aplicados na ciência, tais como inteligência de funcionalidade, otimização de energia e harmonia de proporções. Algumas destas aplicações podem ser encontradas na área da engenharia, no caso do *honeycomb*, por exemplo, que se trata de um sistema desenvolvido a partir da geometria dos favos das abelhas, conferindo alta resistência e leveza simultaneamente à peça. Na área

têxtil, o velcro revolucionou o sistema de “abre-fecha” em peças como calças, bolsas, entre outros. Este produto nasceu da investigação das “garras” do carrapicho e na transformação inteligente do seu funcionamento em design industrial. É possível identificar analogia direta com a natureza em uma infinidade de produtos, inclusive nas grandes invenções da humanidade como os aviões e os veículos aquáticos, os quais têm inspiração nos pássaros e no sistema de propulsão e jatos de água das medusas, respectivamente.

As soluções da natureza têm muito a contribuir para o processo criativo de projeto, tanto na forma de analogia como através de seus padrões geométricos. É possível observar, por exemplo, constantes proporções matemáticas na constituição de um ser humano. Leonardo da Vinci (1452-1519) ilustra, no clássico desenho intitulado “Homem Vitruviano” (Figura 1), a tese do filósofo e matemático Pitágoras (aprox. 570 a.C. – 496 a.C.), segundo a qual “o homem é a medida de todas as coisas”, ou seja, o homem, como ser integrante da natureza, também revela em si as proporções e leis que regem todo o universo. Esse padrão matemático encontrado no corpo do ser humano também pode ser identificado na constituição de outros seres, como peixes, aves, flores e frutos. Segundo o matemático italiano Leonardo Fibonacci (1170-1250), inclusive o crescimento das plantas e a reprodução de alguns animais podem ser medidos em termos de um padrão matemático. Ele identificou uma seqüência logarítmica, que recebeu o seu nome, e ratificou a existência de uma razão constante na constituição desse padrão, conhecida hoje como número *phi* ou proporção áurea.

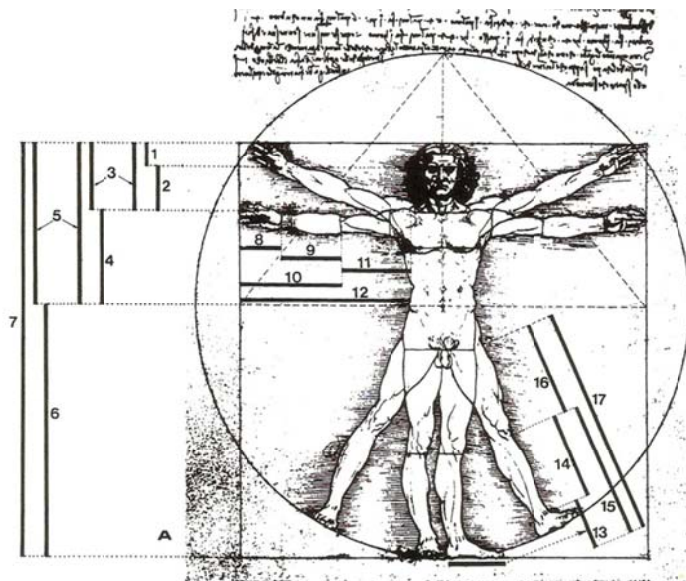


Figura 1: Proporções na imagem do Homem Vitruviano, de Leonardo da Vinci
Fonte: Doczi, 1990

Da mesma forma que a natureza desenvolve-se a partir de padrões matemáticos/geométricos/funcionais e isso lhe confere qualidade, os produtos criados pelo homem também podem se beneficiar desses padrões. Segundo Helms, Vattam e Goel (2009), apesar de os designers usarem a biologia como fonte de inspiração por centenas de anos, não existe até hoje um processo normativo específico para a prática do projeto inspirado na natureza. Ainda é um processo muito empírico e que depende da experiência pessoal de cada profissional. Back *et al.* (2008) explica que o processo criativo não depende unicamente da criatividade e inspiração dos membros da equipe, mas pode ser instigado e alimentado através de métodos ou procedimentos que se mostrem úteis na obtenção de um conjunto de soluções, de forma mais rápida e com resultados mais inovadores.

Nesse ponto, encontra-se uma lacuna do conhecimento, pois enquanto o tema da analogia com a natureza é amplamente abordado, não há sistemas organizados para a sua aplicação. A pesquisa aqui realizada é bastante original no sentido de oferecer um caminho prático de aplicação destes princípios naturais ao projeto. Existe um conteúdo precioso velado na estrutura da natureza, o qual é muito pouco explorado. O que justifica a produção deste trabalho é a geração de uma chave de acesso a um verdadeiro tesouro de princípios criativos.

Os produtos, na indústria, são planejados, acima de tudo, com a meta de conquistar consumidores e para isso não basta a otimização dos fatores técnicos básicos. Faz-se necessário implementar fatores como a consciência ambiental, a ergonomia e usabilidade, a acessibilidade e a estética dos produtos. Muitos destes aspectos podem ser aprimorados através da ferramenta proposta neste trabalho de pesquisa. Sua principal contribuição consiste em realizar uma investigação e uma sistematização dos princípios naturais de solução, através da qual seja possível elaborar uma ferramenta de apoio ao projetista durante a fase conceitual do produto. As implicações e benefícios desta sistematização são diversas, pois permitirá a geração de produtos com redução de recursos e otimização de energia, contribuindo para um mundo mais sustentável. Os resultados poderão beneficiar profissionais das áreas de engenharia, arquitetura, design, arte, entre outros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Há três principais focos de pesquisa como fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento do presente trabalho. O primeiro deles está relacionado à metodologia de projeto de produto, mais precisamente à fase conceitual, na qual ocorre o processo criativo ou a geração de soluções alternativas. Neste ponto é importante investigar a relevância e real contribuição do design para o desenvolvimento do produto. O segundo ponto abordado se refere ao biomimetismo e ao conhecimento dos princípios de solução da natureza como um todo, contemplando simultaneamente seus padrões geométricos, matemáticos e funcionais. O terceiro, e último, foco de pesquisa é a teoria da classificação do conhecimento, visto que o objetivo do trabalho é a sistematização de informações com base em critérios, os quais devem ser definidos ao longo da pesquisa. Esse estudo serve para a compreensão dos sistemas de classificação e para a identificação de metodologia para a elaboração da taxonomia dos princípios de solução da natureza. A integração inteligente dos temas estudados nas três áreas citadas anteriormente possibilita a criação da taxonomia dos princípios naturais de solução (Figura 2).



Figura 2: Esquema gráfico indicando as áreas de pesquisa
Fonte: a autora

2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

2.1.1 Introdução

Segundo Back *et al.* (2008), a indústria nacional precisa inovar concepções e desenvolver produtos, de alta e integrada qualidade, para alcançar a necessária competitividade no mercado. O Brasil é competitivo em diversos produtos, mas, em sua maioria, possuem pouco valor agregado, tais como o café, a soja, o suco de laranja, a celulose e o minério de ferro. Em comparação com produtos de alta tecnologia, o valor desses produtos é muito baixo. Seguem alguns exemplos e comparações:

Tabela 1: valores de produtos por peso. Fonte: adaptado de Back *et al.*, 2008

PESO	PRODUTO	VALOR
1 Kg	Soja	US\$ 0,10
1 Kg	Automóvel	US\$ 10,00
1 Kg	Aparelho eletrônico	US\$ 100,00
1 Kg	Avião	US\$ 1.000,00 (=10 mil quilos de soja)
1 Kg	Satélite	US\$ 50.000,00

Desta forma, para pagar uma placa de computador que pesa 100g e custa US\$250,00, o Brasil precisa exportar 20 toneladas de minério de ferro. Quanto mais design e tecnologia agregam-se a um produto, maior é o seu preço e mais empregos são gerados na sua fabricação (BACK *et al.*, 2008). O design, portanto, exerce um papel fundamental para o desenvolvimento da indústria e o crescimento da economia do país.

Segundo Ulrich e Eppinger (2008), a maioria dos produtos pode ser melhorada através de um bom design industrial e todos os produtos dependem da atuação deste para ter sucesso. O designer tem as funções de criar novos conceitos de produto, resolver problemas e prevenir custos a longo prazo. Estas tarefas devem ser pensadas desde o início do processo de projeto de produto. Segundo Birkeland (2002 *apud* Soares, 2008), os designers são potenciais agentes de mudança, pois as suas decisões podem impedir, alterar, orientar ou influenciar as decisões futuras dos outros profissionais envolvidos no processo de produção.

Desde Giorgio Vasari, pintor, arquiteto e autor de textos sobre arte no século XVII até os recentes Michael Erlhoff e Welsch, o conceito de design passou por uma diversidade de definições. Seguem algumas descrições elaboradas pelo *International Design Center* de

Berlim em 1979 e, posteriormente, alguns problemas que, segundo Bürdek, o design deverá sempre atender (BÜRDEK, 2006):

Descrição de Design elaborada pelo *International Design Center* de Berlim (1979):

- O bom design não se limita a uma técnica de empacotamento. Ele precisa expressar as particularidades de cada produto por meio de uma configuração própria;
- Ele deve tornar visível a função do produto, seu manejo, para ensejar uma clara leitura do usuário;
- O bom design deve tornar transparente o estado mais atual do desenvolvimento da técnica;
- Ele não deve se ater apenas ao produto em si, mas deve responder a questões do meio ambiente, da economia de energia, da reutilização, de durabilidade e de ergonomia;
- O bom design deve fazer da relação do homem e do objeto o ponto de partida da configuração, especialmente nos aspectos da medicina, do trabalho e da percepção.

Problemas que o design deverá sempre atender, segundo Bürdek (2006):

- Visualizar progressos tecnológicos.
- Priorizar a utilização e o fácil manejo de produtos (não importa se *hardware* ou *software*).
- Tornar transparente o contexto da produção, do consumo e da reutilização.
- Promover serviços e a comunicação, mas também, quando necessário, evitar produtos sem finalidade.

A palavra “design” é amplamente utilizada e sua gama de significados é grande. Conforme alguns dicionários, “design” pode ser desígnio, projeto, plano, intento, esquema, desenho, construção e configuração. Diante disso, Hsuan-an (2009) aborda o design como uma idéia, um projeto ou um plano para a solução de um determinado problema, consistindo também na transformação desta idéia, através dos meios auxiliares (desenhos, modelos e protótipos) em um produto ou serviço.

Os conceitos de “desenho” e “configuração” ainda são bastante amplos para que seja concluída a conceituação de design. É necessária ainda uma última etapa: o confronto do objeto projetado com o ambiente e o usuário. A receptividade desse objeto pelo usuário significa o poder de sua comunicação, que é o resultado do design efetivo. Isso explica o

porquê, coloquialmente, design tem o significado de “aparência bonita”, “forma bem resolvida”, “pensado”, “planejado”. Seguindo essa conceituação, Hsuan-an (2009) explica que é correto dizer *hair-design* (termo usado pelos cabeleireiros) porque um modelo de cabelo é um padrão de configuração que pode ser repetido, porém é incorreto quando se refere à pintura, que é um típico produto de livre expressão.

A Sociedade Americana de Designers Industriais (IDSA) define o design industrial como “*o serviço profissional de criação e desenvolvimento de conceitos e especificações que otimizam a função, o valor, e a aparência dos produtos e sistemas para mútuo benefício, do utilizador e do produtor*”, ou seja, o foco de atenção dos designers industriais está nas interações entre o produto e o utilizador. Para o desenvolvimento de produtos bem sucedidos, o design deve ser aplicado a fim de gerar benefícios a todos os envolvidos no processo, desde o produtor, o vendedor até o consumidor final (ULRICH e EPPINGER, 2008).

Ulrich e Eppinger (2008) destacaram as características do projeto de desenvolvimento de produto que mais contribuem para o seu sucesso no mercado, são elas: qualidade, custo, tempo e capacidade de desenvolvimento. Um bom design, do ponto de vista do marketing, é o que gera um produto inovador, que conduza a grandes volumes de vendas, que complemente a linha de produtos da empresa, que melhore a imagem da empresa no mercado, e que esteja disponível nas quantidades desejáveis a custos atrativos (Delmar, 1985 *apud* Soares, 2008).

É preciso compreender que o design é uma atividade essencialmente inteligente e racional, apesar de também sofrer influência de aspectos intuitivos como o sentimento, a sensibilidade artística e a percepção estética. O conceito de design para Hsuan-an (2009) é:

“Design é toda atividade projetual efetiva de criação e produção de objetos, sistema de objetos e ambientes organizados com objetos, realizada por meio de processos racionalizados, com o objetivo de contribuir para a melhoria da qualidade de vida humana”.

Com relação à qualidade de vida humana, muitos são os fatores que geram influência (problemas estéticos, funcionais, climáticos, de dimensionamento, de quantidade, de segurança). Os problemas que surgem das interações entre ambiente-produto-usuário esperam por soluções, as quais são os motores que instigam e movimentam o trabalho do designer. Segundo Hsuan-an (2009), a intervenção do designer ocorre através do projeto, com

necessidades e objetivos muito claros, em função do desenvolvimento de todo um processo de criação e produção a fim de alcançar a solução de um problema previamente definido.

Diante do atual contexto de globalização, no qual o fluxo de informações e conhecimentos é muito intenso, é possível perceber grandes transformações nos âmbitos da educação, da economia e da tecnologia. Para se manterem atuantes e competitivas no mercado, as organizações têm buscado alternativas através do aperfeiçoamento de seus produtos e processos de produção. Segundo Basseto (2004), a sobrevivência das organizações está diretamente relacionada com a sua capacidade de transformar informações e conhecimentos em produtos e serviços competitivos, o que significa menor custo, mais rapidez na produção e melhor qualidade (produtos mais sofisticados, de alto desempenho e confiáveis).

Desenvolvimento de produto é um conceito amplo e pode ser entendido como a transformação de informações e identificação da demanda (aspectos como a pesquisa de mercado), a produção em si e o próprio uso do produto, incluindo também o descarte ou desativação do mesmo. O produto é entendido como um objeto concebido industrialmente, com características e funções, o qual possui alguns atributos básicos como aparência, forma, cor, função, imagem, material, embalagem, marca, serviços pós-venda e garantias. Novos produtos não significam necessariamente produtos originais; senão produtos que podem ser obtidos com melhorias e modificações de outros já existentes (BACK *et al.*, 2008).

Toda essa atividade de projeto, pensada e planejada, consiste em um processo. E no design de produtos, há um alto grau de complexidade, o que demanda uma metodologia eficaz para orientar a racionalização de toda a seqüência do trabalho até a concepção do produto. Conforme Romano (2003), o processo de desenvolvimento integrado de produtos pode ser compreendido através de três macro-fases, decompostas em oito fases. Ao final de cada uma é realizada a avaliação do resultado obtido, autorizando a passagem para a fase seguinte. Como descrito na Figura 3, a seguir, estas são decompostas em atividades que são, por sua vez, desdobradas em tarefas (BACK *et al.*, 2008).

A macro-fase de “planejamento” envolve as ações para a elaboração do plano de projeto, visando orientar o desenvolvimento do produto em suas demais fases. São considerados, aqui, conhecimentos e ferramentas de gerenciamento de projetos num sentido abrangente, como um empreendimento que tem início e fim definidos e apresenta unicidade e

temporariedade. A macro-fase de “projeção” envolve os processos para a elaboração do projeto do produto, ou seja, a transformação das informações de necessidades dos clientes em informações técnicas detalhadas da solução proposta. Esta macro-fase é realizada sob os processos de projeto “informacional”, “conceitual”, “preliminar” e “detalhado” do produto, promovendo um processo evolutivo das informações de projeto. A última macro-fase envolve as ações de “implementação” da solução técnica proposta e do plano de manufatura para produção do produto, seu lançamento e validação do projeto (BASSETTO, 2004).

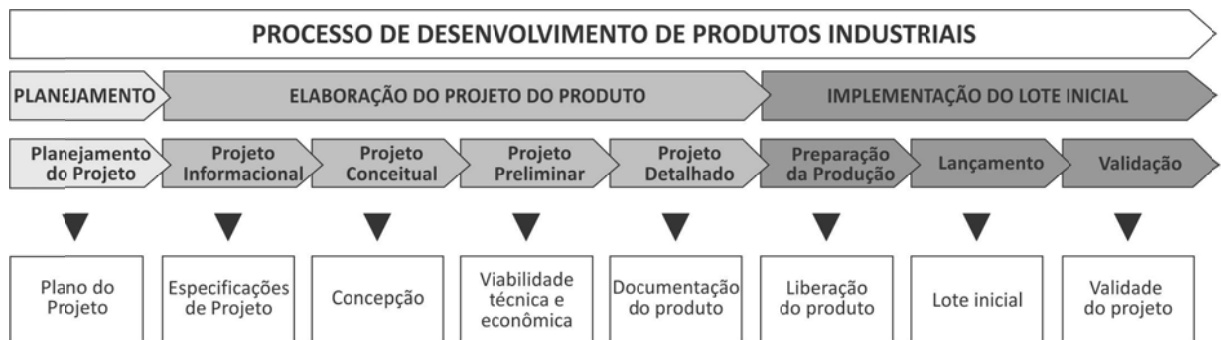


Figura 3: Representação do modelo do processo de desenvolvimento integrado de produtos
Fonte: Adaptado de Romano (2003 *apud* Back, 2008)

As decisões tomadas durante as fases iniciais terão forte impacto sobre o desempenho do produto ao longo de seu ciclo de vida, pois é no planejamento e no projeto que as propriedades do produto são definidas e, conseqüentemente, seu comportamento (funcional, econômico, de segurança, etc.). O custo do produto, portanto, fica intimamente comprometido com as diretrizes definidas nas primeiras fases do projeto, até a conclusão do detalhamento. Em paralelo, é interessante observar que o custo do projeto é na ordem de 5%, enquanto o efeito das decisões tomadas nessa fase, referentes ao material, à mão-de-obra e às instalações, afeta 70% do custo total do produto (BACK *et al.*, 2008).

Segundo Baxter (2000), quando o projeto conceitual estiver pronto deve ser definido o seu mercado potencial, seus princípios operacionais e os principais aspectos técnicos. Um grande número de decisões terá sido tomado e um considerável volume de recursos financeiros alocados. Contudo, os gastos com o desenvolvimento ainda são relativamente pequenos, pois a pesquisa ocorreu só no papel e os trabalhos de projeto consistem em desenhos e modelos de baixo custo. A introdução de mudanças em etapas posteriores, como na fase de engenharia de produção, pode implicar em refazer matrizes de elevados custos.

Segundo Basseto (2004), para a fase de projeto de produto, vários modelos têm sido propostos e melhorados, servindo de orientação e especificando métodos e ferramentas para os projetistas transformarem as informações de projeto. São modelos propostos na forma de um conjunto de atividades, logicamente organizadas, que vão desde a identificação da necessidade até a descrição técnica final do produto.

Além do modelo proposto por Romano, apresentado na Figura 3, há a sistemática proposta por Asimov em 1962, descrita por Back *et al.* (2008), que organiza as atividades em ordem cronológica de acordo com o esquema da Figura 4. No estudo da viabilidade, procura-se definir um conjunto de soluções viáveis para o problema em estudo. Já no projeto preliminar deseja-se identificar qual das alternativas propostas é a melhor concepção para o produto. E o projeto detalhado é onde se busca obter as descrições de engenharia de um projeto viável e verificado.

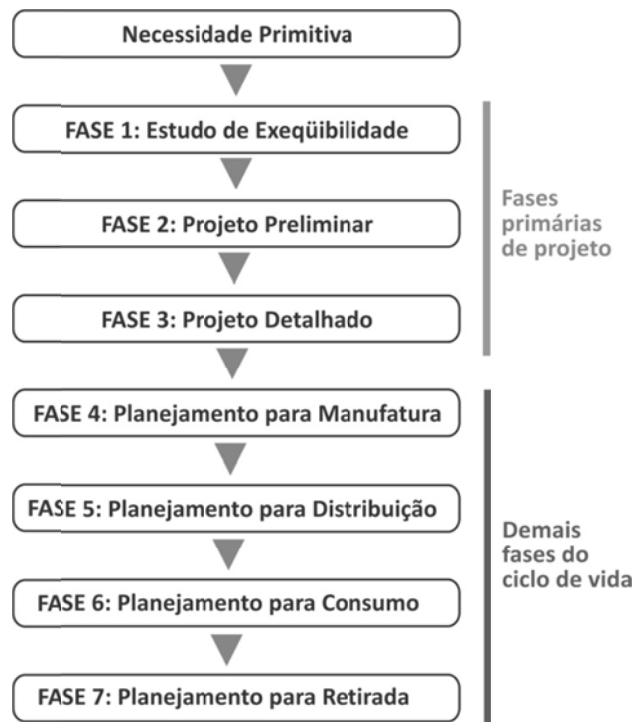


Figura 4: Fases do ciclo produção-consumo do produto
 Fonte: Adaptado de Asimov (1962 *apud* Back, 2008)

Os autores Pahl e Beitz (1996) estabelecem o processo de projeto em quatro fases principais (Figura 5). A primeira delas é a definição da tarefa, na qual é estudado o problema e se elabora uma lista de requisitos. Em seguida, vem o projeto conceitual, que consiste em abstração, para identificar os problemas essenciais, o estabelecimento da estrutura de funções,

a busca e a combinação de princípios de soluções, a obtenção de variantes de concepções, sua concretização e finalmente a avaliação das soluções segundo critérios técnicos e econômicos. A terceira etapa se refere ao projeto preliminar, no qual se busca satisfazer as funções do produto, configurando a forma dos componentes, o *layout*, os processos de fabricação e os materiais apropriados para a concepção selecionada. Por último, o projeto detalhado, no qual se estabelecem as descrições definitivas para as soluções dos elementos construtivos, formas, dimensões, acabamentos superficiais, materiais e processos de fabricação.

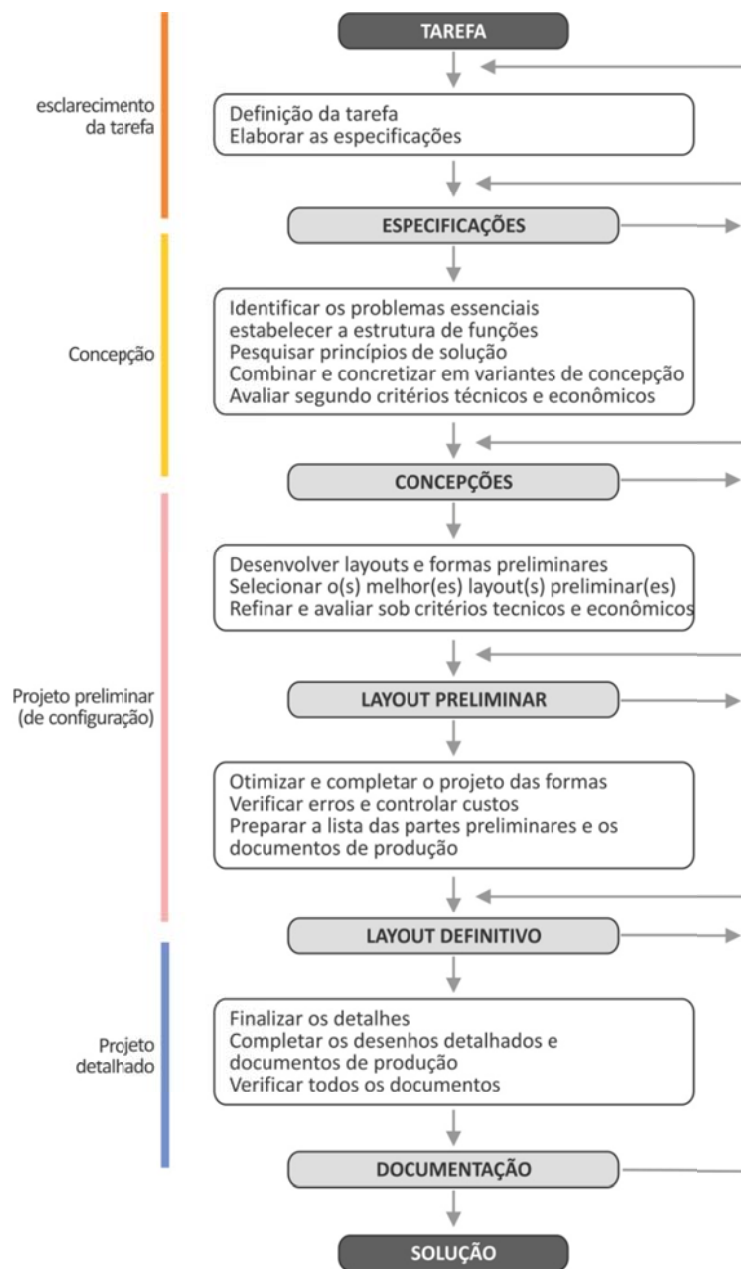


Figura 5: Fases do processo de projeto de produto
Fonte: Adaptado de Pahl e Beitz (1996 *apud* Back, 2008)

Apesar das diferenças existentes entre as propostas de cada autor para a metodologia de projeto de produto, existe um eixo condutor semelhante. E todas elas, o processo de projeto tem início com o esclarecimento do problema de projeto e formulação dos requisitos básicos, que abrem espaço para a geração de alternativas de solução para o mesmo. Após encontradas algumas possíveis soluções, são feitas avaliações para a definição da melhor alternativa. A partir de então se desenvolve o detalhamento, protótipo e a produção propriamente dita. Em todas as metodologias propostas, percebe-se a existência de uma fase de geração de idéias e soluções, fundamental para a existência de novos produtos. Essa fase pode ser chamada de Projeto Conceitual do Produto e conta com o desenvolvimento de um processo criativo.

2.1.2 Processo Criativo no Projeto Conceitual do Produto

No decorrer do processo de projeto, as fases de projeto informacional e projeto conceitual são as responsáveis pela constante atualização e aperfeiçoamento dos produtos no mercado. O processo criativo, que é o foco de estudo do presente trabalho, ocorre durante o projeto conceitual, oferecendo ferramentas ao projetista para o desenvolvimento de soluções inovadoras.

A criatividade no processo de projeto é um dos fatores de grande importância para que sejam desenvolvidos produtos inovadores e competitivos. Por muito tempo a criatividade foi vista como uma característica de poucas pessoas, como um dom que os indivíduos possuíam quando nasciam. Porém, esta visão deixou de prevalecer quando se percebeu que os indivíduos poderiam desenvolver soluções criativas quando devidamente capacitados e suportados para esse processo (BASSETTO, 2004).

Segundo Magalhães (1995 *apud* Basseto, 2004) e Alencar (1996 *apud* Basseto, 2004), por um longo tempo, a criatividade foi tida como sinônimo de capacidade ou habilidade de atos extraordinários, ou seja, fruto da inspiração divina. Os gregos, por exemplo, invocavam as musas em busca da inspiração e tinham em cada uma delas uma referência a uma arte específica (dança, música, poesia, teatro, história, etc.).

Segundo Boden (1999 *apud* Basseto, 2004) a criatividade é como um quebra cabeças e até mesmo um mistério, sendo que os próprios inventores, cientistas e artistas não sabem como surgem suas idéias originais em determinados momentos, citando a intuição como

provável fator para o processo criativo. Alencar (1996 *apud* Basseto, 2004) também aborda a criatividade como um fenômeno complexo que contempla a interação dinâmica das pessoas envolvidas, como as características da personalidade, as habilidades de pensamento e o ambiente, nos quais os valores e normas da cultura podem interferir.

Segundo Basseto (2004), de um modo geral, não se pode querer que as pessoas sejam criativas, pois a criatividade é um processo que deve ser construído e também estimulado, seja através de práticas, de procedimentos e principalmente rompendo barreiras que inibem o processo criativo. Pereira e Bazzo (1997 *apud* Basseto, 2004) falam que o ensino, hoje, enfrenta desafios em promover melhores condições de aprendizagem, pois pouco se sabe lidar com o medo do erro e do fracasso, o que favorece a falta de iniciativa e, conseqüentemente, a incapacidade, levando aos educandos uma visão pessimista de seus talentos e de suas possibilidades de solucionar problemas.

É importante promover um ensino que proporcione a autoconfiança, a persistência, a coragem de correr riscos e de resolver problemas, permitindo aos educandos reconhecerem suas potencialidades, respeitarem as diferenças e oportunizarem a geração de idéias. Segundo Leonardo da Vinci (2004), todas as ciências são filhas da experiência e esta nunca erra, pois o que erra é só o nosso julgamento em prometer a si mesmo resultados que não são causados por nossos experimentos.

Segundo Torrance (1976), é possível identificar algumas características próprias de pessoas criativas. Algumas delas são intuição, coragem, ousadia, curiosidade e espírito desafiador. Essas características pessoais influenciam no processo criativo de um produto, porém não são determinantes nem oferecem garantia de inovação. A inspiração é importante, mas deve estar aliada à inteligência para direcionar e sintetizar as soluções adequadas para um problema, de forma prática e objetiva. A questão é que o processo industrial não pode esperar pela inspiração da equipe de projeto. E, portanto, precisa estimular a criatividade com o auxílio de métodos.

No domínio do design, a criatividade é entendida como a habilidade dos membros da equipe de solucionar problemas de projeto, com idéias úteis e diferentes, propondo novas soluções para o produto. As qualidades importantes que devem possuir os produtos, os processos e as idéias criativas são: apresentar novidade, serem únicos, serem úteis, apreciados e simples (BACK *et al.*, 2008).

Na fase conceitual, são buscados princípios de solução, que devem ser avaliados para um posterior amadurecimento nas fases seguintes. Nessa fase, duas etapas principais são consideradas: a primeira, de abstração, onde se desenvolve a estrutura de funções do produto, ou seja, o que o produto deverá fazer, desconsiderando soluções técnicas conhecidas. Na segunda etapa, de síntese, busca-se estabelecer como o produto deverá atuar para satisfazer as funções definidas na forma de princípios físicos, químicos ou biológicos. Aqui, se inicia o processo de realização do produto, ainda num estágio conceitual, em nível de princípios de solução (BASSETTO, 2004).

Back *et al.* (2008) descreve o processo de criação conforme mostra a Figura 6, organizado nas etapas de Preparação, Esforço Concentrado, Afastamento, Visão, Seleção de Idéias e Revisão. São etapas fundamentais, que inciam com a formulação clara do problema, passam pela escolha das fontes de informação, pelo uso dos métodos criativos, os quais possibilitam a geração de alternativas, até a seleção das melhores idéias, submetendo-as a avaliações de viabilidade.



Figura 6: Etapas do processo de criação
 Fonte: Adaptado de Back *et al.*, 2008

Dentro da etapa de Preparação é necessário realizar a modelagem funcional do produto e a sua descrição de forma abstrata, independente de princípios físicos, evitando assim os preconceitos ou barreiras contra novas soluções. Essa abstração significa definir o produto a partir de suas funções, iniciado pela função global e chegando até subfunções mais elementares. O segundo passo é encontrar princípios de solução correspondentes a cada subfunção definida do produto. A combinação destes princípios permitirá a geração de várias

alternativas de concepção do produto, dentre as quais uma ou mais poderão ser selecionadas. Para cada uma dessas alternativas geradas, deverá ser proposta uma arquitetura de componentes e conexões. As concepções geradas a partir do desenvolvimento da arquitetura passam por um processo de seleção até que seja escolhida a concepção que melhor atende ao escopo do produto. A última etapa envolve o monitoramento da viabilidade econômica, o registro de decisões tomadas e lições aprendidas. Essa sequência de etapas está descrita na Figura 7 (ROZENFELD *et al.*, 2006):

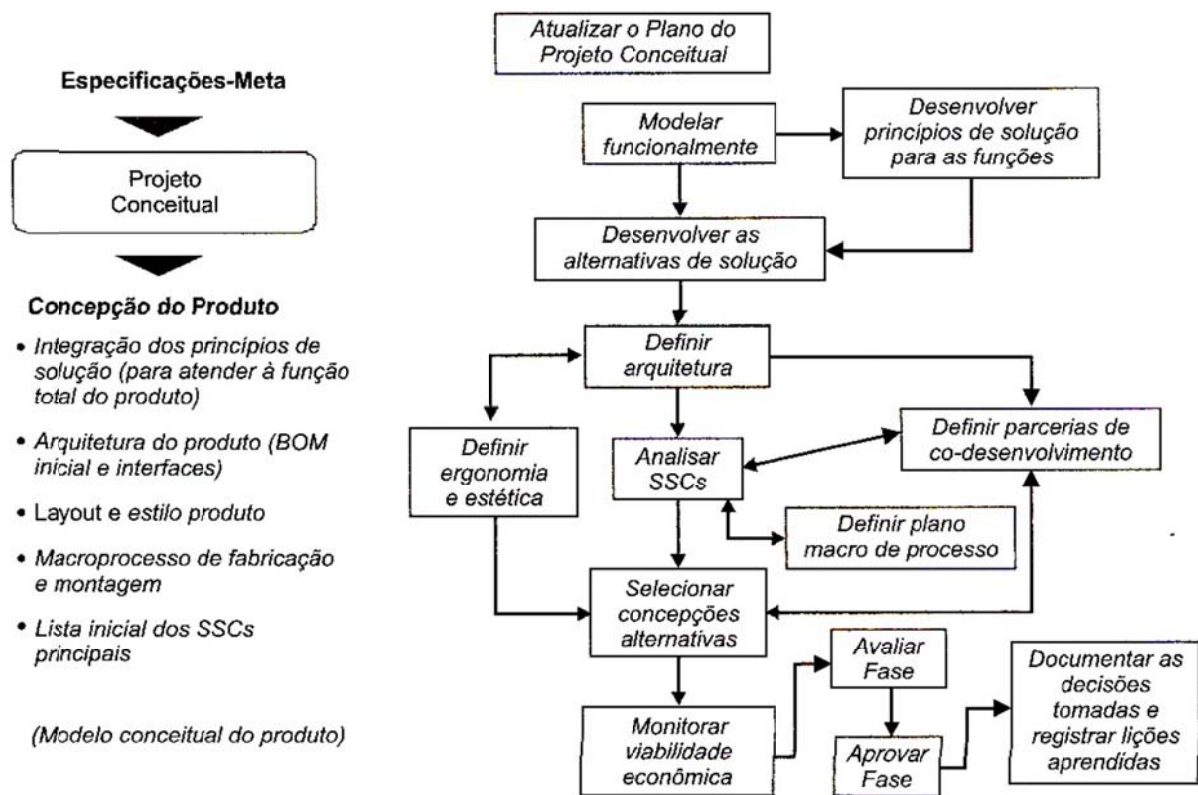


Figura 7: Informações sobre as atividades da fase de projeto conceitual
Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

2.1.2.1 Modelagem Funcional

Modelar funcionalmente um produto é importante para auxiliar na abstração do mesmo, permitindo que ele seja representado por meio das suas funções, tanto as realizadas externamente ao produto como as que ocorrem dentro, pelas suas partes. As funções descrevem as capacidades desejadas ou necessárias que permitirão ao produto desempenhar

seus objetivos e especificações. Elas podem ser classificadas como mostra a Figura 8 (ROZENFELD *et al.*, 2006):

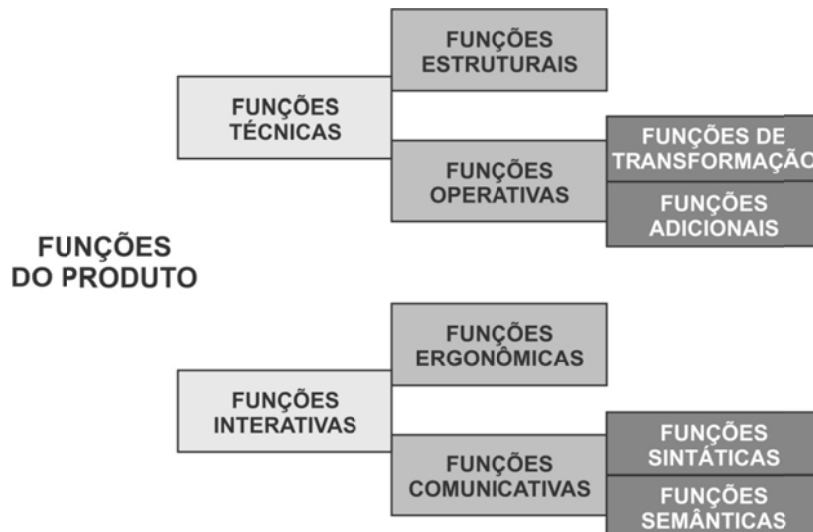


Figura 8: Funções dos Produtos
Fonte: Adaptado de Rozenfeld, *et al.* (2006)

Um produto é definido pelas suas funções e a descrição funcional do mesmo resultará na função global. A função global pode ser decomposta em várias descrições de funções e, desenvolvendo essa decomposição funcional, chegar-se-á às chamadas funções elementares. Segundo Koller (1985 *apud* Back *et al.*, 2008), essas funções elementares possuem o número limitado de 24, para cobrir as ações sobre energia, material e informação. A Figura 9 ilustra essa proposição de Koller, sendo 12 funções elementares e 12 inversas (BACK *et al.*, 2008).




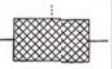












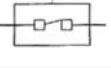
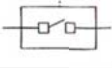
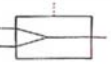
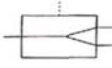
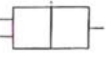
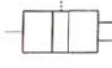


FUNÇÃO	REPRES.	FUNÇÃO INVERSA	REPRES.
Emitir: abastecer, alimentar, fornecer, suprir		Absorver: amortecer, aterrar, consumir, dissipar, gastar	
Transmitir: conduzir, levar, transferir		Isolar: barrar, blindar, bloquear, cobrir, fechar, impedir, proteger	
Agrupar: abraçar, abranger, amontoar, aproximar, concentrar, condensar, comprimir, empilhar, espremer, juntar, unir		Dispersar: borrifar, espalhar, decompor, desagregar, distribuir	
Guiar: alinhar, arrastar, centrar, conduzir, dirigir, endireitar e posicionar		Não guiar: divergir, dobrar	
Transformar: alterar, condensar, congelar, converter, destilar, derreter, evaporar, fundir, liquefazer, modificar, imantar, solidificar		Retrotransformar	
Ampliar: acelerar, acrescentar, aquecer, aumentar, dilatar, distender, elevar, encher, erguer, esticar, estufar, inflar, levantar		Reduzir: atrasar, baixar, contrair, descer, diminuir, encolher, minguar	
Mudar a direção: derivar, desviar, dobrar, endireitar, flexionar, girar, inclinar, inverter, quebrar		Mudar a direção	
Retificar: alisar, aplainar, bloquear		Oscilar: agitar, alternar, balançar, embalar, sacudir	
Ligar: acionar, acoplar, agarrar, amarrar, comutar, conectar, engatar		Interromper: cortar, desarmar, desatar, desligar, obstruir, reter	
Misturar: combinar, dissolver, dosar, modular		Separar: classificar, decantar, decompor, depurar, destilar, extrair, filtrar, peneirar, sedimentar, selecionar	
Unir: aglomerar, amarrar, amontoar, encaixar, incluir, juntar, rebitar, soldar, somar		Dividir: bifurcar, britar, cisalhar, cortar, derivar, desagregar, desintegrar, desmontar, fracionar, quebrar, ramificar, repartir, serrar	
Acumular: abastecer, acrescentar, armazenar, carregar, depositar, encher, gravar, registrar		Desacumular: consumir, extrair, gastar, vazar	

Figura 9: Funções elementares para representar ações em sistemas técnicos
 Fonte: Adaptado de Koller (1985 *apud* Back *et al.*, 2008)

Na busca pela definição da estrutura funcional do produto, o modelamento deve partir de uma análise das especificações-meta e passar por algumas etapas, são elas (ROZENFELD *et al.*, 2006):

- Analisar as especificações-meta do produto;
- Identificar as funções do produto;
- Estabelecer a função global;
- Estabelecer estruturas funcionais alternativas;
- Selecionar a estrutura funcional.

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006), é possível definir uma função por meio de um predicado composto por um verbo e um substantivo, tal como “lavar roupa”, “abrir janela”. Para a modelagem funcional, é possível utilizar as chamadas estruturas ou árvores de funções, nas quais se tem uma descrição que relaciona o sistema técnico e a física do problema por meio de fluxos básicos de energia, materiais e sinais. Conforme indicado na Figura 11, uma estrutura de funções é normalmente obtida pela decomposição da função total em funções de menor complexidade.

Para exemplificar a construção de uma estrutura funcional, será tomada como exemplo uma máquina destinada a lavar roupas. Como entradas do sistema, há roupa suja (material), sabão (material), água limpa (material), energia (energia) e o grau de lavagem requerido (sinal). Como saída do sistema há roupas limpas (material), água suja (material) e energia (energia), esta última em forma de calor, vibração, etc. O procedimento seguinte é a decomposição desta função total em funções com nível de complexidade menor, o que facilita a busca pelas soluções, além de proporcionar um melhor entendimento do problema de projeto. Ilustrando o desdobramento de uma função total em subfunções, tem-se a Figura 11 (ROZENFELD *et al.*, 2006):

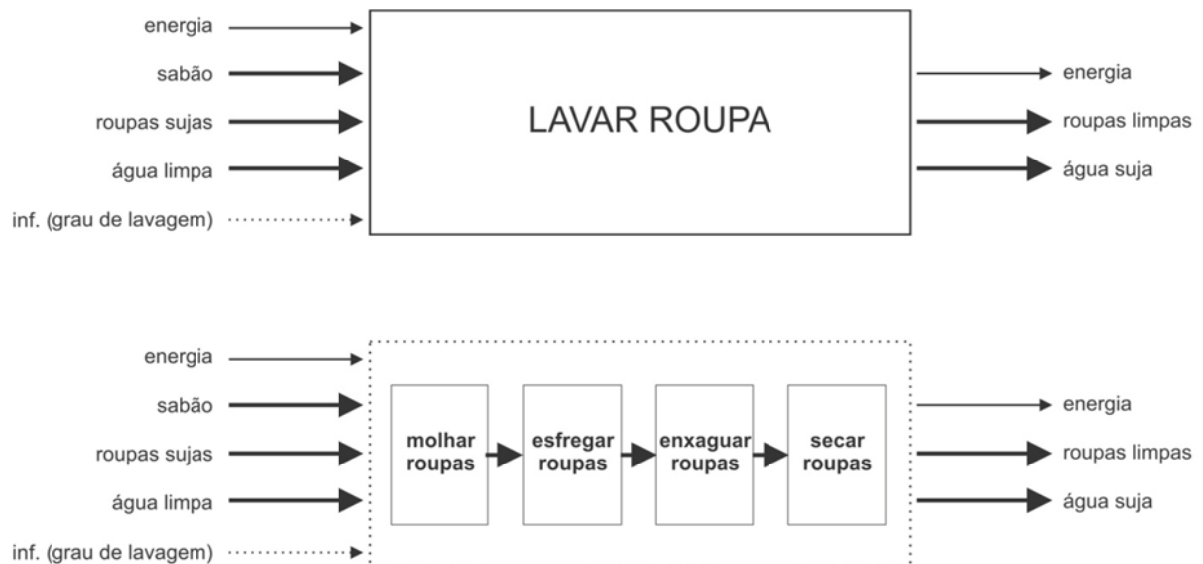


Figura 10: Desenvolvimento da estrutura de funções – etapa 1
Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

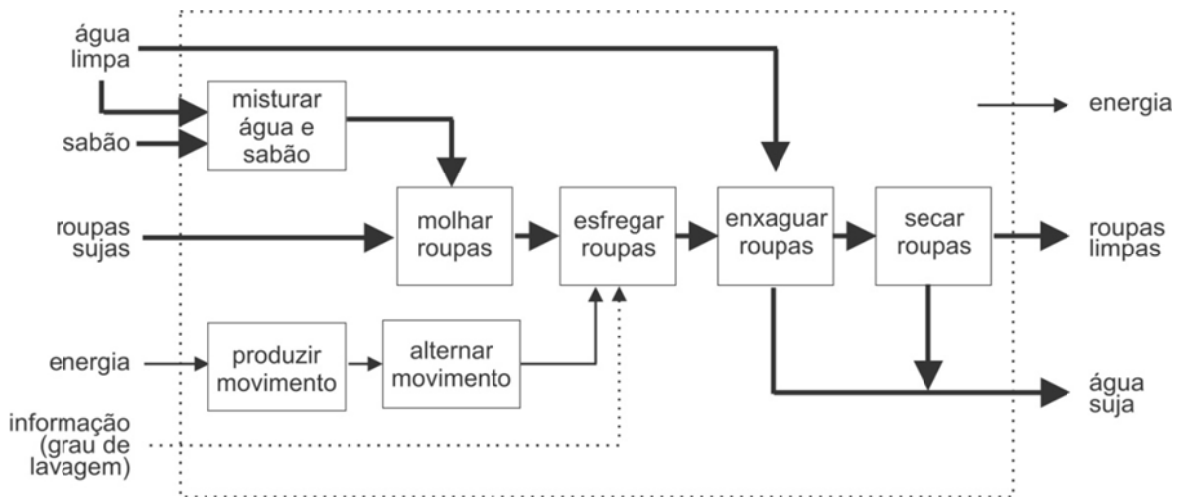


Figura 11: Desenvolvimento da estrutura de funções – etapa 2
 Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

As estruturas de funções devem conter todos os fluxos de energia, material e sinal envolvidos e deve ser garantida a compatibilidade entre as funções adjacentes. Nesta abordagem, a função principal do produto é decomposta hierarquicamente em subfunções, sendo que, quando todas elas são executadas, a função total do produto é realizada.

2.1.4.2 Princípios de Solução

Em resposta à criação da estrutura funcional do produto, e dando continuidade ao processo de geração de alternativas, é necessário realizar a passagem do abstrato ao concreto, da função à forma. A cada uma das funções da estrutura funcional definida na etapa anterior podem ser atribuídos um ou mais princípios de solução. Segundo Rozenfeld *et al.* (2006), é possível definir um princípio de solução como a combinação de um efeito físico com um portador de efeito físico, conforme Figura 12 e Figura 13.

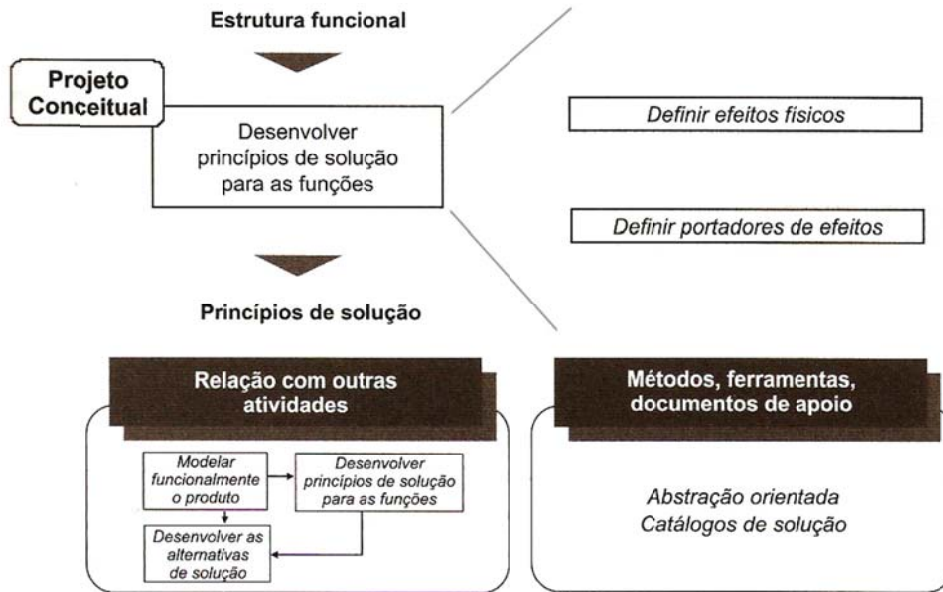


Figura 12: Tarefas da atividade "Desenvolver princípios de solução para as funções"
 Fonte: Rozenfeld, *et al.* (2006)

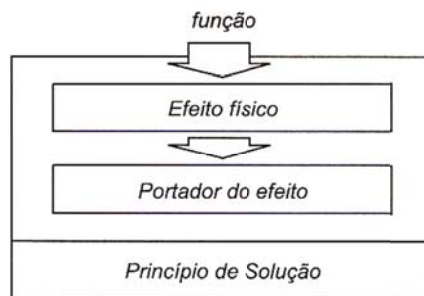


Figura 13: Constituição de um princípio de solução
 Fonte: Rozenfeld, *et al.* (2006)

Os sistemas físicos na natureza comportam-se de acordo com princípios físicos, químicos e biológicos regidos por leis da natureza. Assim, esses sistemas desenvolvem efeitos físicos, químicos e biológicos capazes de realizar funções sobre o ambiente que o cercam. Algumas vezes mais de um efeito físico é necessário para cumprir uma determinada função. Por exemplo, a função “Ampliar força” (Figura 14) pode ser atendida pelo efeito da alavanca, pelo efeito da cunha, por efeitos hidráulicos ou por efeitos eletromagnéticos. O portador do efeito, por sua vez, deve representar qualitativamente o sistema ou o meio que desempenhará a função desejada. Ele deve conter informações a respeito dos elementos que compõem o sistema, bem como das relações entre esses elementos (ROZENFELD *et al.*, 2006)

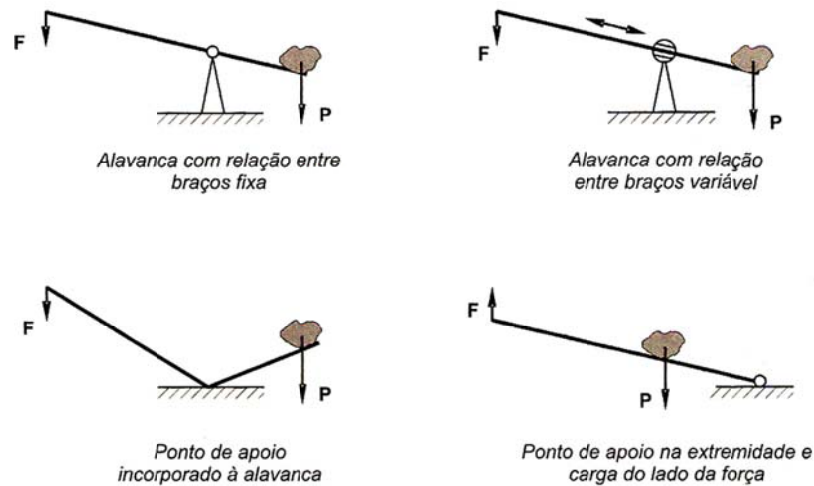


Figura 14: Portadores para o efeito físico da alavanca
 Fonte: Rozenfeld, *et al.* (2006)

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006), as informações relacionadas aos elementos que constituem o princípio de solução incluem: tipo de elemento, quantidade, forma, posição, movimentos e atributos de material. Ao mesmo tempo em que representa as formas aproximadas dos elementos, o princípio de solução não deve fazer referência às suas dimensões, nem mesmo aos materiais específicos a serem utilizados, apenas aos atributos do mesmo, como ductibilidade, rigidez e transparência.

Os princípios de solução poderão ser obtidos por meio de banco de dados ou catálogos. Ainda assim, para auxiliar na busca de idéias para os princípios de solução é possível utilizar métodos criativos. Esses métodos são classificados de diferentes formas na literatura e, segundo Back *et al.* (2008), podem ser agrupados em dois grandes grupos: “métodos intuitivos” (apêndice 02) e “métodos sistemáticos” (apêndice 03). Dentre os métodos intuitivos estão *brainstorming* e suas variações, o método de *Delphi*, analogia direta, simbólica e pessoal, método sinético, método da listagem de atributos e método da instigação de questões. Já os sistemáticos são o método da matriz morfológica, o método da análise de valor e o método da função síntese.

Segundo Basseto (2004), os métodos intuitivos estão associados à imaginação, inspiração, iluminação e, a partir deles, pode surgir inesperadamente uma idéia, seja em uma conversa informal ou mesmo quando estamos distantes do problema. Os métodos sistemáticos também estão associados aos métodos intuitivos, mas apresentam procedimentos para geração de idéias criativas como, por exemplo, através da divisão do problema em partes menores ou mesmo utilizando uma base de conhecimento para determinados problemas comuns ou

similares para estimular o processo criativo. Nos apêndices 02 e 03, são apresentados alguns desses métodos, com exemplo e uma breve explicação do seu funcionamento.

2.1.3 Processo de Avaliação e Seleção no Projeto Conceitual

Após o processo de geração de soluções alternativas é necessário realizar a seleção dessas concepções e verificar aquelas que apresentam viabilidade. Segundo Back *et al.* (2008), o ponto de partida para essa triagem é o estabelecimento de critérios ou os limites que permitem distinguir as soluções úteis daquelas que devem ser abandonadas. A Figura 15 traz exemplos de critérios generalizados, desdobramento em critérios específicos e parâmetros de avaliação dos mesmos.

CRITÉRIOS GENERALIZADOS TÍPICOS	CRITÉRIOS ESPECÍFICOS TÍPICOS	DIMENSÕES DOS CRITÉRIOS ESPECÍFICOS
Atendimento à função	- Seqüência das operações - Tempos de execução - Precisão de movimentos - Velocidade de movimentos	Qualitativo (s) (micrômetro ou rad) (rad/s ou m/s)
Tecnicamente viável	- Princípio de solução viável - Materiais disponíveis - Fabricação e montagem viável	Qualitativo Qualitativo Qualitativo
Viabilidade econômica	- Custo mínimo de produção - Tempo de retorno de investimento - Lucro sobre investimento	(R\$) (meses) (%)
Fácil manutenção	- Custo de manutenção preventiva - Custo de manutenção corretiva - Tempo médio manut. preventiva - Tempo médio manut. Corretiva	(R\$) (R\$) (h-homem) (h-homem)
Alta confiabilidade	- Probabilidade de sucesso - Taxa de falhas - Tempo médio entre falhas - Criticalidade das falhas	(%) (Falhas/hora operação) (h) Qualitativo
Boa aparência	- Forma plástica agradável - Unidade de composição - Contraste de cores	Qualitativo Qualitativo Qualitativo
Fácil uso	- Arranjo dos controles - Aprendizado de uso fácil - Forças de acionamento - Fácil leitura de mostradores	Qualitativo Qualitativo (N) Qualitativo
Apropriado ao meio ambiente	- Processo fabricação não poluente - Mínimo consumo de energia - Mínimo custo de reciclagem - Mínimo de contaminação	Qualitativo (J) (R\$) Qualitativo
Fácil transparente	- Fácil manipulação - Dimensões compactas - Resistência à aceleração	Qualitativo (m ³) (m/s ²)
Alta inovação	- É patenteável - Diferenciação tecnológica adequada	Qualitativo Quantitativo
Segurança	- Atende às normas - Baixo risco de acidentes	Qualitativo Qualitativo
Fácil armazenagem	- S/ acondicionamento de ambientes - Altura de empilhamento	Qualitativo (m)

Figura 15: Exemplos de critérios generalizados e específicos de seleção de concepções
Fonte: Adaptado de Back *et al.*, 2008

Um dos principais critérios a serem analisados é a viabilidade econômica do produto. Uma solução economicamente viável é aquela em que o custo de produção é menor do que o preço de venda do produto. Esse custo de produção ou custo-meta é definido em função da análise de nichos de mercado, da avaliação do poder aquisitivo do consumidor, das especificações do projeto, dentre outros. No projeto, se consideram soluções que minimizam os custos ao longo do ciclo de vida do produto, levando em conta os custos de aquisição e os custos de pós-venda, que incluem distribuição, uso e manutenção, até o descarte ou reciclagem, conforme indica a Figura 16.



Figura 16: Estrutura de desdobramento do custo do ciclo de vida do produto
 Fonte: Adaptado de Blanchard e Fabrycky (1990 *apud* Back *et al.*, 2008)

Existem alguns métodos que auxiliam o processo de triagem de solução como, por exemplo, o método de Pugh. Esse método propõe introduzir os critérios generalizados em uma matriz, atribuindo um valor para cada concepção alternativa gerada, conforme indica a Figura 17. A equipe de projeto não deve considerar simplesmente a concepção que obteve

melhor pontuação como a solução definitiva, mas validar e comparar os resultados das melhores concepções e realizar uma análise de sensibilidade (BACK *et al.*, 2008).

CRITÉRIOS GENERALIZADOS ADOTADOS	CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS GERADAS					
	Sol. REF	Sol. AB	Sol. BD	Sol. XY	Sol. JK	Sol. LM
Desempenho de Função	0	+	+	-	-	0
Viabilidade econômica	0	0	-	+	-	0
Fácil uso	0	+	0	+	-	0
Alta confiabilidade	0	-	-	0	0	+
Fácil manutenção	0	-	-	0	0	+
Boa aparência	0	+	0	+	0	+
Segurança	0	0	0	+	-	+
Fácil transporte	0	0	-	+	+	0
Fácil armazenagem	0	+	+	0	-	0
Reciclagem econômica	0	0	-	+	0	+
Soma de (+)	0(+)	4(+)	2(+)	6(+)	1(+)	5(+)
Soma de (-)	0(-)	2(-)	5(-)	1(-)	5(-)	0(-)
Soma de (0)	10(0)	4(0)	3(0)	3(0)	4(0)	5(0)
Resultado final (+) + (-)	0(+)	2(+)	3(-)	5(+)	4(-)	5(+)

Figura 17: Triagem de concepções adotando o método de Pugh
Fonte: Adaptado de Back *et al.*, 2008

A macro-fase do Projeto Conceitual do produto inicia com a geração de possíveis alternativas, passando, a seguir, à fase de seleção da melhor ou das melhores soluções dentre todas as alternativas. Por fim, a concepção adotada deve chegar à etapa conclusiva de análise e validação, na qual serão feitos pequenos ajustes e adaptações, buscando a otimização da solução.

Para que o processo seja possível, é necessário modelar a concepção escolhida, criando “protótipos”, abstratos ou experimentais, a partir dos quais será feita a análise. De forma geral, pode-se definir “modelo” como uma versão simplificada do que é real. O processo de modelagem tem como ponto de partida o objeto real, o qual deve ser substituído por outro objeto abstrato, ou modelo mais simples, geralmente com a mesma designação, em forma gráfica, textual ou simbólica (Schichl, 2003 *apud* Back *et al.*, 2008).

Existem muitas tentativas de classificação de modelos, o que reflete a amplitude desse tema. Com o propósito de exemplificar alguns, a Figura 18 apresenta uma dessas

classificações, cujos itens não são excludentes e podem muito bem ser conjugados (Lorenz, 2004 e Roozenburg e Eekels, 1995 *apud* Back *et al.*, 2008):

ATRIBUTO	DESCRIÇÃO
GEOMÉTRICO	Geometricamente similar ao objeto original
FÍSICO	Usa efeitos descritos por leis físicas que também podem ser encontrados no original
BIOLÓGICO	Biologicamente relacionado ou similar ao original
MATERIAL	Aplica materiais que podem ser encontrados no original
ESTRUTURAL	Possui componentes igualmente designados e as mesmas relações entre estes componentes; é estruturalmente similar ao original
FUNCIONAL	Função ou comportamento de entrada-saída similar ao original
ESTOCÁSTICO	O modelo é influenciado por efeitos aleatórios; geradores de efeitos randômicos são usados para simular um efeito aleatório no original
DETERMINÍSTICO	Nenhum efeito aleatório é envolvido
ESTÁTICO	Não apresenta modificação ao longo do tempo
DINÂMICO	Suas propriedades (variáveis, parâmetros, entradas ou saídas) modificam-se ao longo do tempo
CONTÍNUO	Todos os seus valores são funções contínuas ao longo do tempo e não apresentam mudanças bruscas de seus valores ou estados
DISCRETO	Mudanças bruscas de valores ou estados do modelo ocorrem
COMBINADO	Mudanças bruscas de valores ou estados e processos não lineares dependentes do tempo que podem ser descritos através de equações diferenciais
CORPÓREO	Possui forma física
ABSTRATO OU MATEMÁTICO	Não existe em forma física, mas apenas como imagem abstrata do original, que pode ser usada para problemas típicos de identificação, dedução, etc.
COMPUTACIONAL	O modelo é analisado com base em simulação computacional
SÍNCRONO	Modelo que não contém relações temporais
DIACRÔNICO	Modelo contendo relações temporais, também conhecido como modelo de comportamento
ICÔNICO	Modelo com ênfase nas características físicas (2D ou 3D) do sistema
ANALÓGICO	Comporta-se como o sistema original, embora necessariamente não tenha a mesma aparência

Figura 18: Descrição de modelos conforme atributos mais relevantes.
Fonte: Adaptado de Back *et al.*, 2008

São diversas as formas de modelagem de uma concepção e muito mais diversas ainda são as múltiplas maneiras de analisá-la, as quais vão desde parâmetros dimensionais, econômicos, estéticos, de configuração, de precisão, de segurança, de sensibilidade, entre outros. Apesar da etapa de análise da concepção fazer parte da macro-fase do Projeto Conceitual, não é mérito da presente pesquisa aprofundar-se neste tema. A demarcação

realizada na introdução do trabalho enfoca especialmente o processo criativo e a geração de alternativas, realizados ainda durante a primeira fase do Projeto Conceitual.

Depois de realizada a revisão bibliográfica do tema, foi possível compreender as características e necessidades do processo de desenvolvimento de produto. Esse conhecimento servirá como base na produção da taxonomia dos princípios naturais de solução, a qual tem por objetivo auxiliar o designer no processo de projeto, especialmente na fase conceitual, quando há a necessidade de geração de alternativas.

É possível entender que, a partir do estudo aprofundado do problema de um projeto de produto e da identificação da sua estrutura funcional, sejam elencada as funções que devem ser atendidas para a geração deste produto. Para realizar cada função é necessário um princípio de solução, o qual é o objeto de busca do processo criativo. Dentre os diversos métodos criativos utilizados pelo designer, encontra-se a analogia com a natureza ou a biomimética. O próximo tópico da pesquisa trata dos princípios de solução da natureza, buscando reconhecer padrões matemáticos e funcionais, os quais possam ser posteriormente categorizados e formatados como ferramenta de projeto.

2.2 PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA

A partir das definições do projeto informacional e conceitual do produto, são definidos os princípios de solução, que respondem às necessidades de cada subfunção, atendendo à função global do produto. A proposta desta seção é investigar e reconhecer princípios de solução existentes nos processos e organismos naturais, buscando sua aplicação também como princípio de solução para produtos industriais.

2.2.1 Fundamentos e conceitos

Conforme já mencionado na introdução deste trabalho, a natureza apresenta um extenso campo de conhecimento para o ser humano. Filósofos, físicos e matemáticos têm investigado continuamente as suas soluções, buscando aplicá-las às necessidades da sociedade. Albert Einstein (1949), em Cartas a Solovine, diz que a matemática é apenas um meio de expressar as leis que regem os fenômenos. As leis da física, segundo ele, podem ser expressas por formulações matemáticas, as quais regem os comportamentos de todos os fenômenos naturais. Segue uma de suas afirmações a esse respeito (EINSTEIN, 1949, p. 5):

“Satisfaz-me o mistério da eternidade da vida e o mais leve indício da maravilhosa estrutura da realidade, juntamente com o esforço sincero para compreender uma parte, mesmo que ínfima, da razão que se manifesta na natureza”.

Outra referência sobre a expressão inteligente das leis da natureza está descrita nos diários de Leonardo Da Vinci (VINCI, 2004, p. 19):

“A natureza não quebra a própria lei, pois é levada pela necessidade lógica de sua lei, que é inerente a ela. A necessidade é a mestra e guia da natureza, sua eterna controladora e lei. Na natureza, não existe um efeito sem causa; compreenda a causa e você não terá necessidade do experimento”.

As soluções da natureza podem contribuir para o processo criativo de projeto, tanto na forma de analogia como através de seus padrões matemáticos e geométricos. Para aprofundar o conhecimento, os itens seguintes abordam os temas da biomimética, dos padrões naturais já modelados e, por fim, de aplicações destes em projetos de produto na área industrial, engenharia, design, arte e arquitetura.

2.2.2 Padrões naturais modelados:

Phi (ϕ), Pi (π), Seqüência de Fibonacci, Pentágono, Pentagrama e Fractais

De acordo a Hsuan-an (2002), muitas formas e fenômenos naturais, tais como nuvens, movimentos de areias em desertos e percursos de rios, pertencem aos padrões de aleatoriedade, irregularidade, imprevisibilidade ou ao caótico. Ainda assim, uma nova ciência, chamada de Teoria do Caos, veio à tona para explicar que nas profundezas do caos está oculto algum tipo de ordem. Dentro da aleatoriedade e da irregularidade aparentes apresentadas pelas formas naturais, está oculta certa ordem, caracterizando uma aparência livre, espontânea e, na verdade, nada de aleatória, pois há nelas sempre um padrão baseado em algum princípio organizacional.

Segundo Doczi (1990), em todas as criações naturais encontra-se uma unidade e uma ordem comum. Essa ordem pode ser percebida em proporções que se repetem continuamente, assim como no padrão de crescimento dinâmico das coisas, pela união de opostos complementares. Quando são examinados profundamente o padrão de uma flor, de uma concha e de um ser humano, é possível descobrir uma forma de perfeição. Doczi aborda o estudo dos padrões e leis da natureza como uma aventura interdisciplinar na terra-de-ninguém, fronteira à ciência, à arte, à filosofia e à religião. Essa área do conhecimento não tem sido desenvolvida nos últimos anos, porém merece uma profunda investigação, pois as forças que movem a vida têm aí sua matriz.

A matemática pode ser entendida como uma linguagem de regência do universo, que se expressa através de leis e fórmulas. May Sarton (1912-1995), citado no livro de Mario Livio (2008), diz que há certa ordem no universo e que a matemática é uma maneira de fazê-la visível. No mesmo livro, é abordada a importância da escola pitagórica para o desenvolvimento da matemática e pela sua aplicação ao conceito de ordem, seja a ordem musical, a ordem do cosmos ou mesmo a ética. É atribuída a Pitágoras a criação dos termos “filosofia”², amor à sabedoria, e “matemática”³, aquilo que é aprendido. Para ele, um filósofo era aquele que se dedicava a descobrir o significado e o objetivo da vida e a revelar os segredos da natureza.

² Filosofia (Dic. Aurélio): do grego *Philosophia*, ‘amor à sabedoria’. Estudo que se caracteriza pela intensão de ampliar incessantemente a compreensão da realidade, no sentido de apreendê-la na sua totalidade (...)

³ Matemática (Dic. Aurélio): do grego *mathematik*, ‘relativo à instrução’

Mario Livio, em seu livro intitulado *Razão Áurea, a história de ϕ* aborda uma série de interessantes relações matemáticas com a natureza. Uma delas é a relação com o arquétipo da *beleza*, considerando *beleza* a qualidade que caracteriza um objeto como agradável ou satisfatório. Livio traz uma citação do arquiteto, matemático e engenheiro Richard Buckminster Fuller (1895-1983) (LIVIO, 2008, p. 21): “*Quando estou trabalhando num problema, nunca penso a respeito de beleza. Eu penso apenas em como resolver o problema. Mas quando termino, se a solução não é bonita, eu sei que está errada*”.

Segundo o autor acima, a observação e o estudo metucioso dos fenômenos naturais permite a identificação de padrões que se repetem e que são “naturalmente” belos, econômicos e funcionais. Alguns destes padrões já foram identificados e modelados matematicamente, a respeito dos quais seguem as próximas páginas.

2.2.2.1 Número ϕ ou razão áurea

A primeira definição clara do que mais tarde se tornou conhecido como Razão Áurea foi dada por volta de 300 a. C., pelo fundador da geometria como sistema dedutivo formalizado, Euclides de Alexandria. Euclides definiu uma proporção derivada da simples divisão de uma linha no que ele chamou de sua razão “extrema e média”. Diz-se que uma linha reta é cortada na razão extrema e média quando, assim como a linha toda está proporcionada para o maior segmento, o maior segmento está proporcionado para o menor (Figura 19).

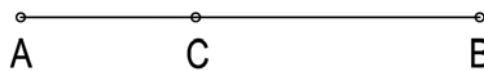


Figura 19: Ilustração da razão "extrema e média"
Fonte: a autora

Dada uma linha AB, deve-se dividi-la em um determinado ponto C de forma que o segmento AC esteja para o segmento CB da mesma maneira que o segmento CB esteja para a linha inteira AB. Desenvolvendo a equação $AC/CB = CB/AB$ chega-se a um número que nunca termina e nunca se repete, ou seja, um número irracional chamado ϕ (phi), cujo valor é 1,6180339887... A definição algébrica completa está demonstrada no apêndice 01.

Em qualquer linha existente, apenas um ponto a dividirá em duas partes desiguais nessa forma recíproca única, que é o ponto de ouro. A reciprocidade dessa proporção impressiona por ser particularmente harmoniosa e agradável. Sabe-se que os pitagóricos da Grécia antiga, os quais levam o crédito de haverem descoberto, no século VI a.C., a natureza infinita dos números irracionais, ficaram maravilhados pela descoberta da existência de números que estão além da razão, ou seja, escapam ao alcance dos números inteiros. São infinitos e intangíveis. Em padrões de crescimento orgânico, a razão irracional da seção áurea revela que existe de fato um lado intangível e infinito no universo (DOCZI, 1990).

As figuras a seguir demonstram algumas possibilidades de construção geométrica da seção áurea. A Figura 20 indica o retângulo áureo de proporções 5x8, juntamente com uma linha bisetada pela seção áurea nas partes $A=5$ e $B=8$, com arcos semelhantes acima e abaixo da linha, dando ênfase à reciprocidade dessas relações. Já na Figura 21, a construção começa com um quadrado, a partir do qual se gera uma linha (traçada desde o centro da base do quadrado até o vértice superior do mesmo) a qual será o raio de um círculo circunscrito ao quadrado original. Ao traçar esse círculo, serão produzidas as proporções da seção áurea em ambos os lados do prolongamento da linha de base.

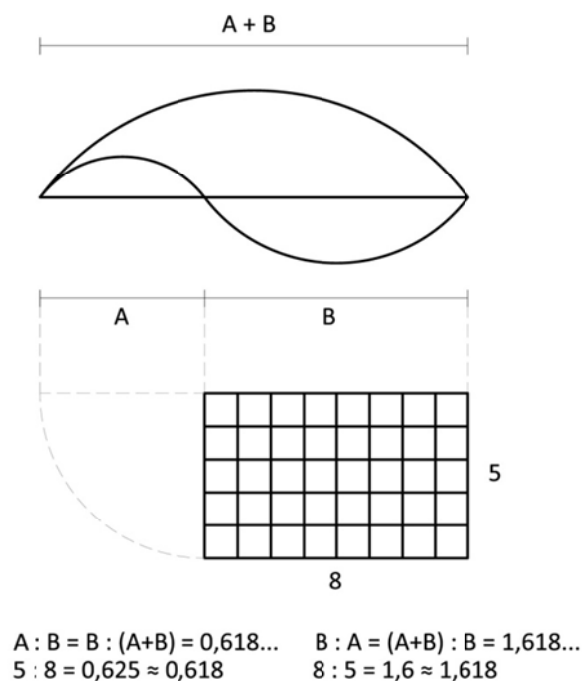


Figura 20: Aproximação de um retângulo áureo (5 : 8)
Fonte: Adaptado de Doczi, 1990

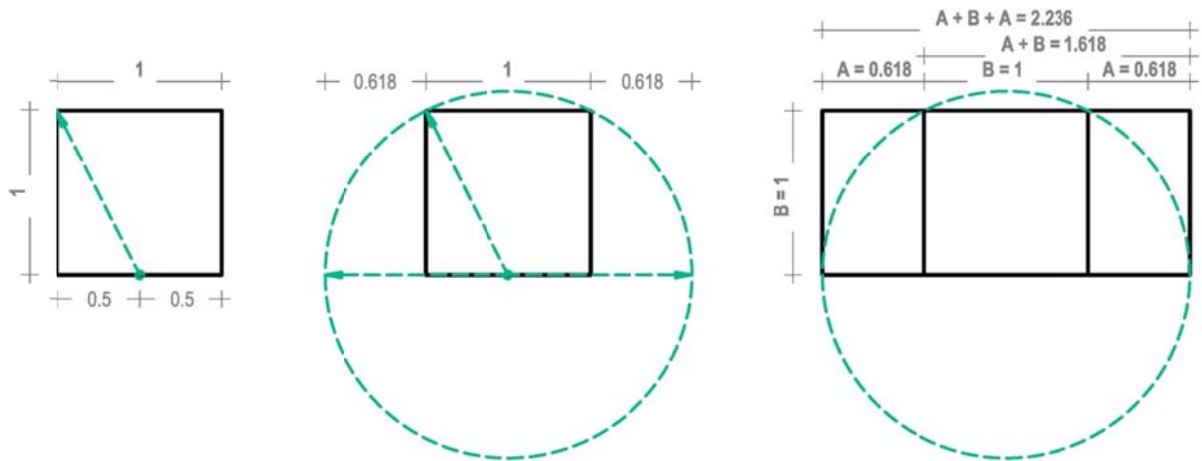


Figura 21: Construção da seção áurea a partir de um quadrado
Fonte: a autora

Outra geometrização interessante dos retângulos áureos é a que se constrói a partir da seqüência de Fibonacci, a qual será aprofundada mais adiante. No anexo 2 está ilustrada, passo a passo, a sua construção, desde um quadrado de lado 1 até a geração das espirais logarítmicas.

Segundo Benavoli, Chisci e Farina (2009), o número ϕ possui muitas propriedades matemáticas interessantes. O ϕ pode ser expresso como uma contínua fração com apenas o número 1, podendo também ser expresso como uma contínua raiz quadrada de 1, assim como a qualquer potência a que ϕ for elevado terá como equivalência a soma dos mesmos números elevados às duas potência precedentes, conforme demonstra a formulação da Figura 22. Certamente a mais interessante relação matemática do ϕ é sua conexão com a seqüência de Fibonacci, que será abordada a seguir.

$$\phi = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \dots}}}}$$

$$\phi = \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \dots}}}}$$

$$\phi^n = \phi^{n-1} + \phi^{n-2}$$

Figura 22: Relação matemática do número Phi
Fonte: (BENA VIOLI, CHISCI e FARINA, 2009)

Outra análise interessante que se pode realizar do retângulo áureo é o fato de ser o único retângulo com a propriedade de que, ao se cortar um quadrado, forma-se outro retângulo similar. Observando a Figura 23, percebe-se que os comprimentos dos lados do retângulo estão em uma razão áurea entre si. Supondo-se que seja retirado um quadrado deste retângulo (conforme indicado na Figura 23), sobraria um retângulo menor que também é um retângulo áureo. As dimensões do retângulo “filho” são menores que as do retângulo “pai”, exatamente pelo fator ϕ . Continuando esse processo até o infinito, serão produzidos retângulos áureos cada vez menores (cada vez com dimensões “deflacionadas” por um fator ϕ), os quais convergem para um ponto inalcançável que pode ser identificado como a intersecção entre as diagonais dos retângulos áureos.

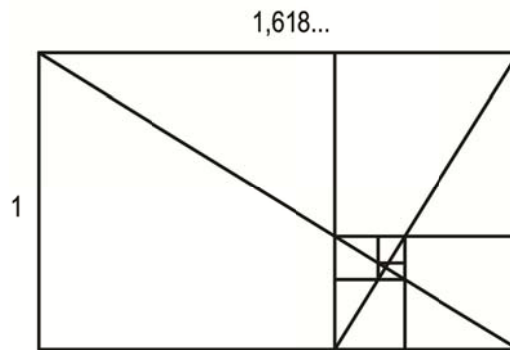


Figura 23: Padrão infinito de geração de retângulos áureos deflacionados por um fator ϕ
 Fonte: Livio, 2008

O exemplo geométrico da margarida (Figura 24), o qual está detalhado no anexo 3, ilustra as espirais logarítmicas geradas a partir do número de ouro. Os flósculos que formam esse padrão – desenhados como círculos – crescem nos pontos de intersecção de dois grupos de espirais que se movem em direções opostas. Com a ajuda de uma série de círculos concêntricos, com distâncias que crescem em uma escala logarítmica, e uma série de linhas retas que partem do centro, podem ser reconstruídas essas espirais, que são, por sua vez, logarítmicas e equiangulares (DOCZI, 1990). O detalhamento geométrico das espirais acima citadas podem ser encontrados no anexo 03.

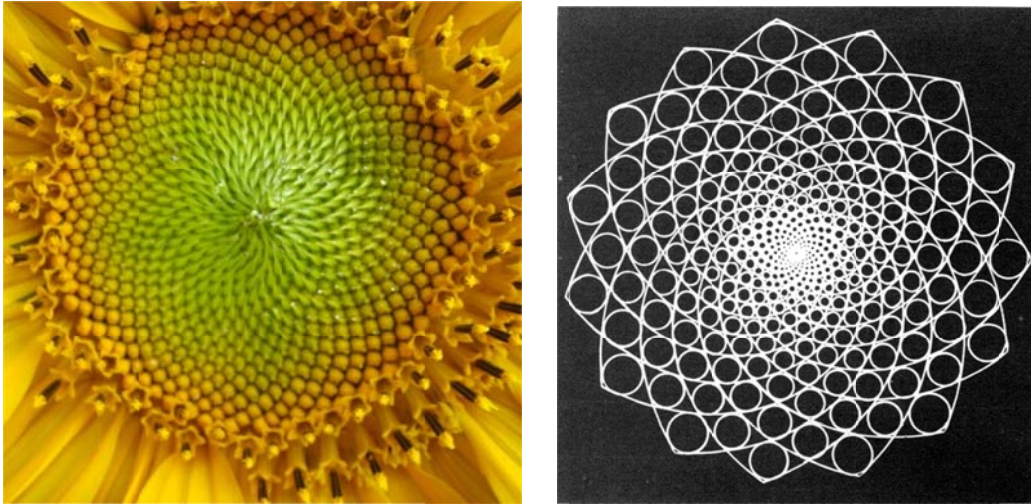


Figura 24: Foto (esquerda) e diagrama (direita) de uma margarida
 Fonte: Doczi, 1990

Segundo Doczi (1990), muitos termos se referem a aspectos do processo de formação de padrões pela união dos opostos, mas nenhum exprime seu poder gerador. Polaridade refere-se a opostos, mas não há indicação de que algo novo esteja nascendo. Dualidade e dicotomia indicam divisão, mas não significam junção. Sinergia indica junção e cooperação, mas não engloba a idéia de opostos. Não havendo uma palavra adequada para esse processo universal de criação de padrões, um novo vocábulo, como *dinergia*, é proposto. *Dinergia* é um termo formado por dois radicais gregos: *dia* (através, por entre, oposto) e *energia*. Na margarida, essa energia dinérgica é a energia criadora do crescimento orgânico (DOCZI, 1990).

Segundo o mesmo autor, é possível encontrar espirais dinérgicas também no ser humano, tanto na sua constituição física como mental. Exemplos disso são as espirais ou redemoinhos presentes nas pontas dos dedos (impressões digitais - Figura 25), os olhos que captam duas imagens que são unidas no cérebro em uma única visão tridimensional estereoscópica, os ouvidos que recebem sinais de duas direções opostas que são transmitidos pela cóclea espiralada do ouvido interno, para serem unidos depois no cérebro como som estereofônico (Figura 26). Os glóbulos brancos e vermelhos do sangue estão agrupados da mesma forma, em padrões espiralados duplos, assim como o núcleo desses microtubos, chamados de axonemas (Figura 27) (DOCZI, 1990).



Figura 25: Espirais ou redemoinhos em impressões digitais
Fonte: Doczi, 1990



Figura 26: Espiral na cóclea do ouvido humano
Fonte: Doczi, 1990

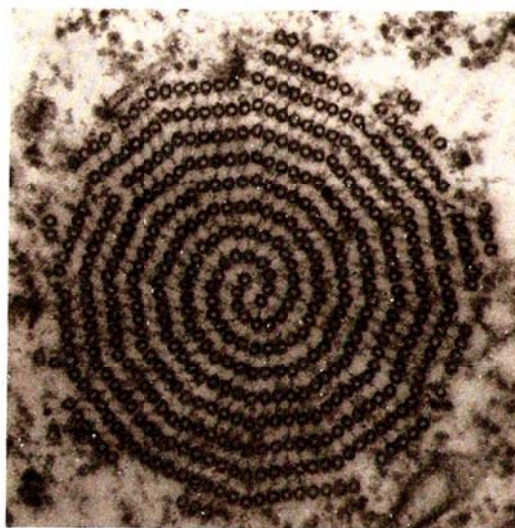


Figura 27: Axonema, o centro de um axópode, mostrado em corte transversal
Fonte: Doczi, 1990

Segundo Cook (1979), a espiral logarítmica (como fim) nunca poderá ser alcançada concretamente na natureza. Mas apesar de ser finita em termos materiais, é infinita enquanto conceito matemático e continua sempre, o que não acontece com nenhum organismo vivo. Contudo, é possível unir ambos os aspectos, de forma a aproximar a um organismo finito qualquer curva infinita de crescimento. Da mesma forma que se pode retardar o crescimento espiral, este pode ser adaptado em diferentes níveis, acompanhando o crescimento do organismo vivo, até que este morra. Assim como Newton começou por estipular o “movimento perfeito” e a partir de então explicou o funcionamento do sistema solar, é possível postular o “crescimento perfeito” e a partir de então chegar até uma lei que regule as formas dos organismos.

Há outros estudos recentes nessa área que associam a razão de ouro aos conceitos de beleza e harmonia na fisiologia humana. Segundo Ferring e Pancherz (2006), há uma tendência, nas pessoas, de serem mais belas quanto mais aproximadas as suas proporções estão da razão áurea. Em seu artigo *Divine Proportions in the Growing Face*, são trazidos dados de um estudo de Heiss, que analisou as faces de algumas modelos femininas e alguns modelos masculinos. Esse estudo indicou um desvio de apenas 2,6% a 4,4% das proporções femininas com relação ao ideal da proporção áurea. Para os homens o desvio variou entre 4,4% e 5%. Isso significa que, de todas as faces analisadas, foram encontrados desvios de menos de 5% com relação ao que seria um rosto 100% desenhado segundo a proporção áurea (PANCHERZ e FERRING, 2006).

O artigo desenvolvido por Ferring e Pancherz (2006) aborda as variações das proporções do rosto do ser humano ao longo da vida, mais especificamente em três diferentes idades aproximadas: aos 6, aos 17 e aos 30 anos. O objetivo do trabalho foi averiguar o quanto as proporções, nas idades indicadas acima, variam entre si e o quanto variam com relação à proporção áurea. As dimensões tomadas como parâmetros para a realização das comparações estão indicadas na Figura 28. Nas conclusões do trabalho, consta uma considerável diferença entre os sujeitos analisados, contudo, na análise particular de cada caso, as variações das proporções da face com relação aos valores áureos se mantêm praticamente iguais no decorrer do crescimento (PANCHERZ e FERRING, 2006).

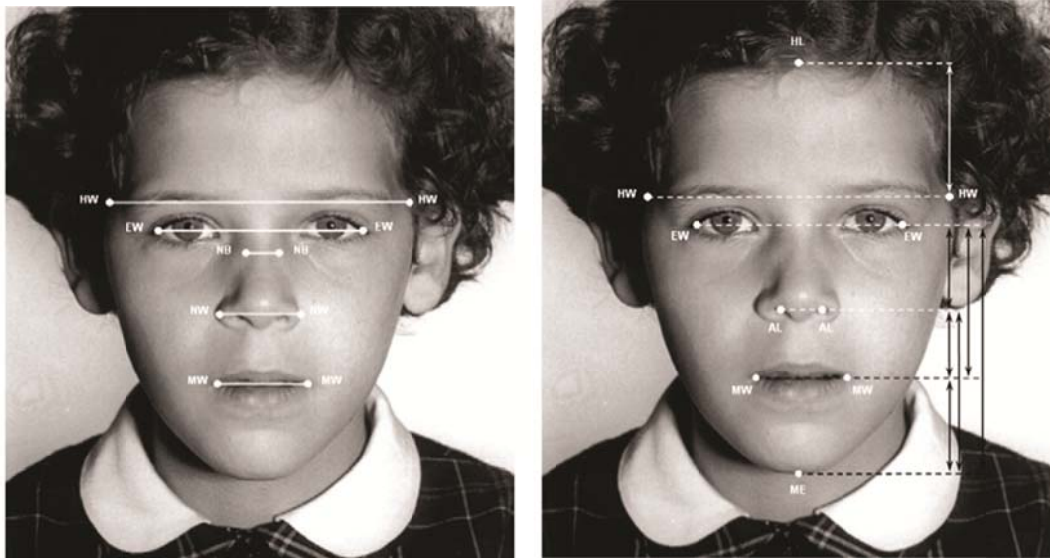


Figura 28: Proporções áureas na face humana
 Fonte: Ferring e Pancherz, 2006

Visto sua influência e a frequência com que se manifesta na natureza, a razão de ouro, ou número *phi*, pode ser reconhecida como um padrão e um princípio natural de solução para problemas de harmonia, beleza, ciclicidade e crescimento. Para concluir esse tópico, segue uma colocação de Doczi (1990, p. 13):

“O poder do segmento áureo de criar harmonia advém de sua capacidade única de unir as diferentes partes de um todo (...) A razão da seção áurea é um número irracional e infinito, do qual apenas se pode conseguir uma aproximação (...) Ao descobrir isso, os pitagóricos encheram-se de admiração: sentiram o poder secreto de uma ordem cósmica. Isso deu origem à sua crença no poder místico dos números; também fez com que buscassem as harmonias dessas proporções para trazê-las aos padrões do cotidiano, elevando assim a vida a uma forma de arte”.

2.2.2.2 Pentágono e Pentagrama

Algumas propriedades tornam o estudo das geometrias do pentágono e do pentagrama bastante interessantes. Essas duas formas geométricas vão se intercalando indefinidamente, uma dentro da outra, a partir da interligação dos seus vértices, conforme ilustra a Figura 29. Outra propriedade notável é a relação proporcional entre os diferentes segmentos indicados na figura. Cada segmento é menor que seu antecessor por um fator que é exatamente igual à razão áurea.

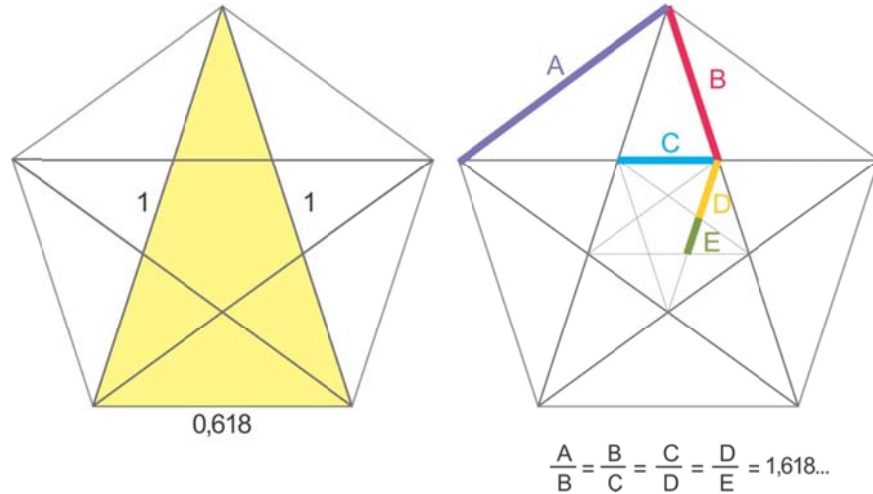


Figura 29: Relação geométrica entre pentágono regular e pentagrama.
Fonte: a autora

Segundo Doczi (1990), cada um dos triângulos da estrela de cinco pontas tem dois lados iguais que se relacionam com o terceiro lado, como 8 está para 5 ou como 1,618 está para 1. Essas relações recíprocas podem ser vistas quando o pentagrama é combinado com a construção da seção áurea (Figura 30 e Figura 31), criando um retângulo de lado $\sqrt{5}$, formado de retângulos áureos recíprocos. Os lados do retângulo menor são idênticos aos do triângulo do pentagrama.

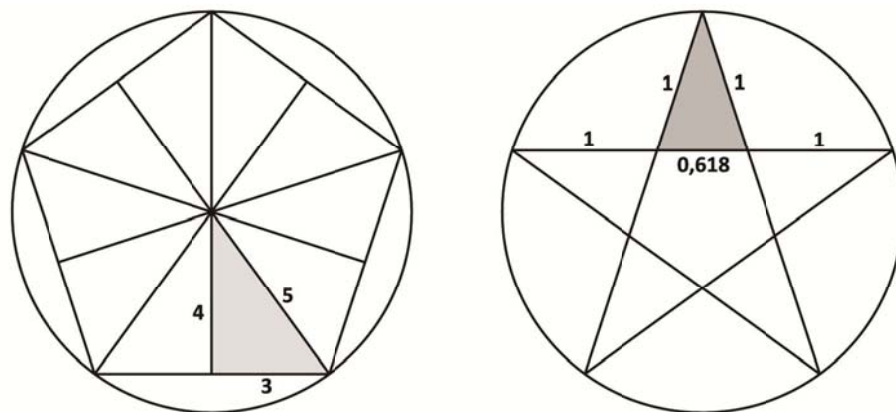


Figura 30: Pentágono e pentagrama relacionados ao triângulo pitagórico e às proporções áureas
Fonte: Adaptado de Doczi, 1990

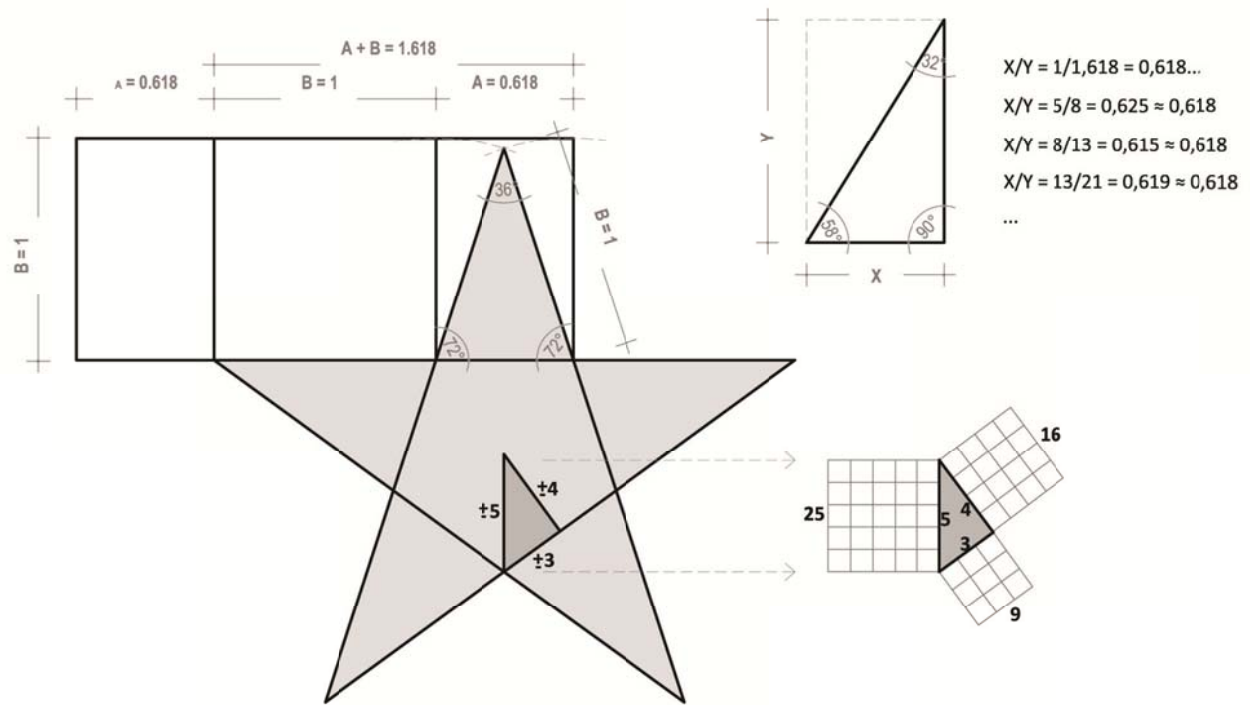


Figura 31: Relações geométricas entre pentágono, pentagrama, triângulo de Pitágoras e a seção áurea.
 Fonte: Adaptado de Doczi, 1990

Maçãs e peras, quando cortadas no sentido longitudinal, revelam a estrela de cinco pontas na estrutura de suas sementes, herdada do padrão original de sua flor (Figura 32). Esses frutos crescem de acordo com o padrão do pentágono e seu prolongamento, o pentagrama, no qual as linhas vizinhas relacionam-se umas com as outras na razão dinérgica e áurea dos vizinhos (DOCZI, 1990).

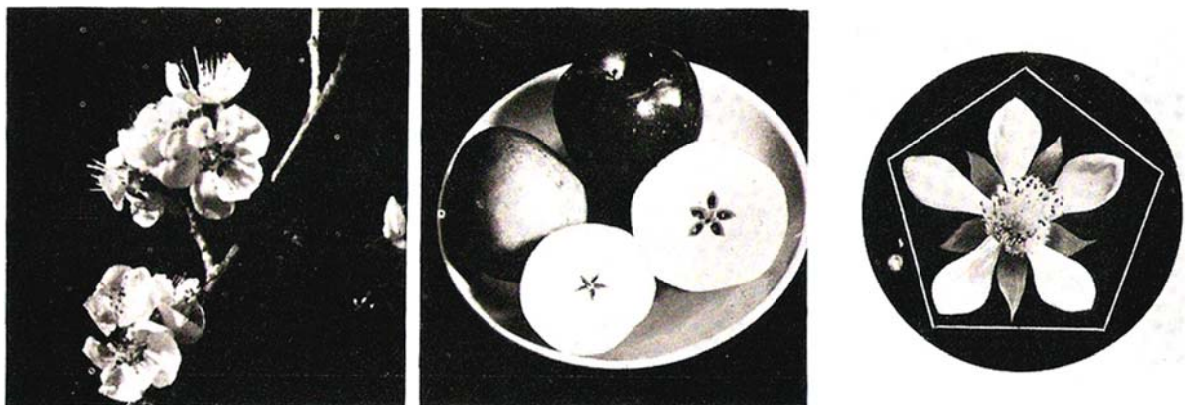


Figura 32: Flor da macieira, maçãs e peras e flor do loganberry.
 Fonte: Doczi, 1990

2.2.2.3 Seqüência de Fibonacci

Segundo Benavoli, Chisci e Farina (2009), Leonardo Pisano (1170-1250), mais conhecido por seu apelido Fibonacci, nasceu na Itália, mas foi educado no norte da África, onde iniciou seus estudos de matemática, os quais foram desenvolvidos à medida que conhecia os diversos sistemas matemáticos utilizados nos países por onde passava. Quando retornou a Pisa, escreveu muitos textos que tiveram um importante papel de resgate da antiga matemática. Seu principal livro foi *Liber abaci* (o livro dos cálculos), publicado em 1202, cujo foco principal era o uso dos numerais arábigos, apesar de nele constarem também as soluções de importantes problemas.

Um dos problemas, descrito na terceira seção do livro, conduz à introdução dos números de Fibonacci: certo homem coloca um casal de coelhos em um local cercado por todos os lados. Quantos pares de coelhos podem ser produzidos a partir do par original, no período de um ano, supondo-se que todos os meses cada par gera um novo par? Os pares são considerados produtivos apenas a partir do segundo mês. A seqüência resultante é 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34,..., na qual cada número é a soma dos dois números anteriores. Essa seqüência ficou esquecida durante anos até que o famoso astrônomo Kepler a redescobriu e a relacionou com o número ϕ . Na divisão consecutiva de um dos números da seqüência pelo seu anterior (1/1, 2/1, 3/2, 5/3, 8/5,...) rapidamente se aproxima do valor 1,618..., conforme demonstra a Figura 33 (BENAVIOLI, CHISCI e FARINA, 2009).

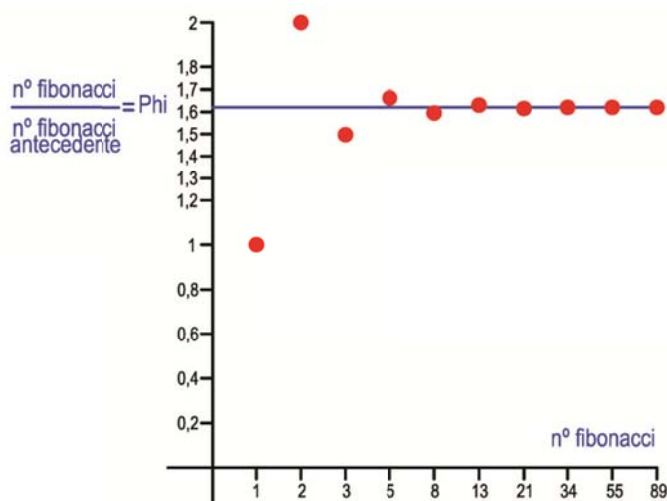


Figura 33: Gráfico da divisão de um dos números da seqüência de Fibonacci pelo seu antecessor
Fonte: a autora

Segundo Benavoli, Chisci e Farina (2009), a seqüência de Fibonacci se mostrou extremamente útil e aparece em diferentes áreas da matemática e da ciência, assim como na natureza. Muitas espécies de flores têm em suas pétalas um dos números de Fibonacci: margaridas tendem a ter 34 ou 55 pétalas, girassóis têm 89 ou 144. Da mesma forma, o número de anéis do tronco das palmeiras e as “escamas” na superfície de um abacaxi seguem a seqüência dos números de Fibonacci. O arranjo das folhas das plantas, ou filotaxia, segue o mesmo padrão porque parece ser uma solução otimizada em termos de espaço das folhas.

A genealogia dos zangões também respeita a mesma lógica matemática. Entendendo que um zangão, diferentemente da abelha fêmea, nasce apenas de uma mãe, através do desenvolvimento dos ovos das abelhas operárias que não são fertilizados, a sua árvore genealógica cresce segundo a Figura 34. A seqüência 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13,... aparece novamente.

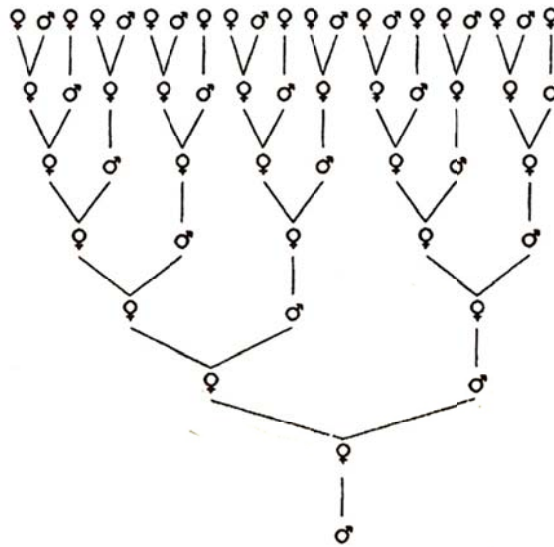


Figura 34: Representação da árvore genealógica dos zangões.
Fonte: Livio, 2008

Outro exemplo cotidiano relevante, trazido por Livio (2008), propõe a situação de uma pessoa que sobe uma escada. O número máximo de degraus que ela consegue subir é dois, isto é, ela pode subir um ou dois degraus de cada vez. Se existem n degraus na escada, de quantas maneiras diferentes ela pode subir? Se existe apenas um degrau, obviamente só há uma maneira de subir. Se existem dois degraus, a pessoa pode subir dois degraus de uma vez

ou subir um de cada, havendo duas possibilidades de subir a escada. No caso de serem três degraus, existem três maneiras de subir: $1+1+1$ ou $1+2$ ou $2+1$. Se forem quatro degraus, as possibilidades de subir a escada aumentam para cinco: $1+1+1+1$ ou $1+1+2$ ou $1+2+1$ ou $2+1+1$ ou $2+2$. No caso de cinco degraus, aumentam para oito as possibilidades e assim sucessivamente. O número de possibilidades também forma a seqüência de Fibonacci: 1, 2, 3, 5, 8...

Outra relação matemática interessante é comparar a soma de um número ímpar de produtos sucessivos da série de Fibonacci e perceber que é igual ao quadrado do último número que foi usado nos produtos. No caso de serem escolhidos 1×1 , 1×2 , 2×3 , a soma será $1+2+6 = 9$, que é igual ao último número ao quadrado ($3^2 = 9$). Essa propriedade pode ser representada geometricamente através da Figura 35.

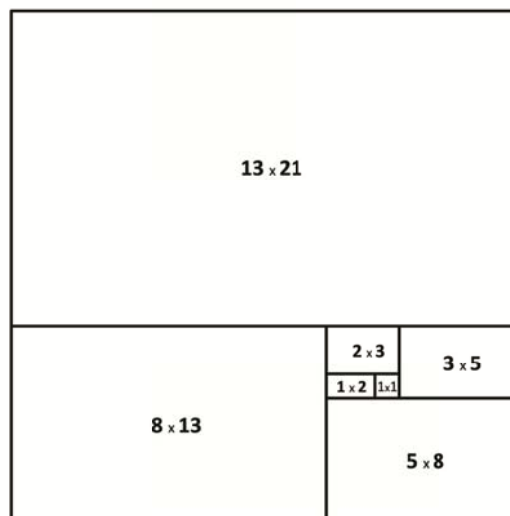


Figura 35: Relação matemática entre os retângulos áureos
Fonte: Adaptado de Livio, 2008

2.2.2.4 Número π

Assim como o número ϕ , o π é um número irracional, que nunca termina e nunca se repete. Seu valor é dado pela razão entre a circunferência de qualquer círculo e o seu diâmetro, chegando sempre a 3,14159... Embora tenha sido originalmente definido na geometria, segundo Livio (2008), o π aparece muito freqüentemente, e inesperadamente, nos cálculos de

probabilidades. Um exemplo famoso é conhecido como a *Agulha de Buffon*, em homenagem ao conde de Buffon que, em 1777, propôs e resolveu o seguinte problema matemático:



Figura 36: representação da folha pautada
Fonte: adaptado de Livio, 2008

O problema inicia com uma grande folha de papel, pautada com linhas retas paralelas, separadas por uma distância fixa (Figura 36). Uma agulha de comprimento exatamente igual ao espaçamento entre as linhas é jogada ao acaso sobre o papel. Qual é a probabilidade de que a agulha caia de tal maneira que cruze uma das linhas? Surpreendentemente a resposta é $2/\pi$.

Segundo Mário Livio (2008), a teoria sobre π surgiu em 1838, em *Cartas de Alexandria*, sobre a evidência da aplicação prática da quadratura do círculo na configuração da grande pirâmide do Egito, de H. Agnew. Ele afirma que a razão entre a circunferência da base e a altura da pirâmide é igual a 2π . Da mesma forma, o escritor francês Midhat J. Gazalé (1999 *apud* Livio, 2008), fala que Heródoto aprendeu com os sacerdotes egípcios que o quadrado da altura da Grande Pirâmide é igual à área da sua face lateral triangular, o que significa dizer que a razão entre a altura de sua face triangular e metade do lado da base é igual à razão áurea.

Logo, é possível que tanto π como ϕ sejam conhecidos pelo homem há muitos séculos. A estimativa egípcia de π aparece no problema 50 do *Papiro Rhind*, que trata da determinação de um campo circular. A solução de Ahmes sugere tirar $1/9$ do diâmetro e elevar ao quadrado o restante. É possível deduzir a partir disso que os egípcios aproximavam π por $256/81=3,16049\dots$, que difere por menos de 1% do valor correto de $3,14159\dots$ (LIVIO, 2008).

2.2.2.5 Fractais

Um fractal é um objeto geométrico que pode ser dividido em partes, cada uma das quais semelhantes ao objeto original. O nome “fractal” tem origem no latim *fractus*, do verbo *frangere*, que significa quebrar, fragmentar. Esse termo foi criado pelo polonês-franco-

americano Benoit B. Mandelbrot, que descobriu a geometria fractal na década de 1970. A sua primeira percepção foi sobre a auto-similaridade, o fato de muitas formas naturais mostrarem seqüências infinitas de motivos que se repetem dentro de motivos em muitas escalas.

Bons exemplos de auto-similaridade são uma concha náutilus, com múltiplas câmaras, uma árvore, com suas ramificações em galhos que se assemelham ao tronco primeiro, uma couve-flor, da qual podem ser tirados pedaços cada vez menores que continuam a se parecer com o vegetal inteiro. Em todos esses objetos, a aproximação não suaviza o perímetro, pois as mesmas irregularidades caracterizam todas as escalas.

Na geometria euclidiana, todos os objetos têm dimensões que podem ser expressas por números inteiros. Na estrutura fractal, contudo, os contornos não se transformam em linhas retas quando ampliados, as rugosidades permanecem presentes independentemente da escala. Pontos têm dimensão zero, linhas retas são unidimensionais, figuras planas (triângulos, pentágonos, etc.) são bidimensionais e objetos como esferas e os sólidos platônicos são tridimensionais. Curvas fractais, por outro lado, estão em algum lugar entre uma e duas dimensões. Se o caminho é relativamente suave, então a dimensão fractal estima-se ser próxima de um, mas se é muito complexo então se pode esperar uma dimensão próxima de dois (LIVIO, 2008).

Um dos mais conhecidos exemplos da geometria fractal é o chamado floco de neve de Koch, curva que foi descrita a partir de um triângulo equilátero, em cujos lados, no ponto médio, nascem outros três triângulos do mesmo tipo, com o tamanho um terço menor, conforme indica a Figura 37. A cada vez, a medida do perímetro aumenta por um fator de $4/3$ até o infinito, apesar do fato de que a figura delimita uma área finita.

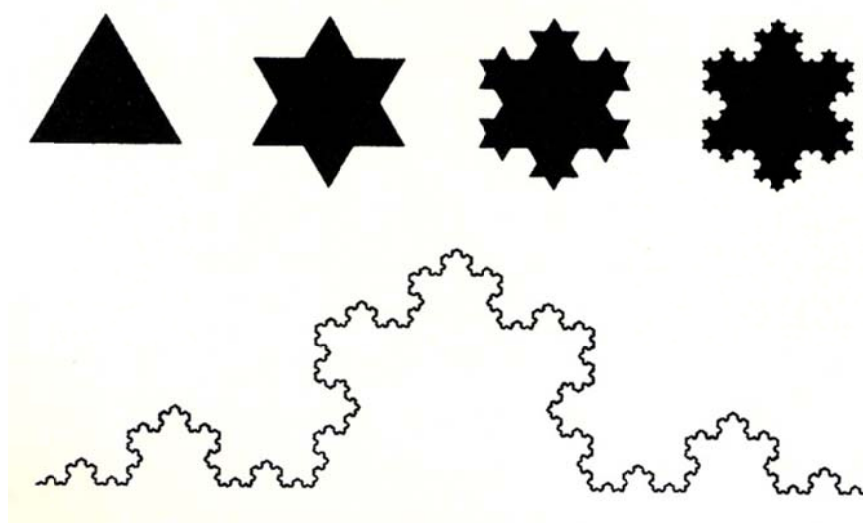


Figura 37: formação geométrica da curva de Koch.
Fonte: Lívio, 2008

Em muitos fractais da natureza, de árvores ao crescimento de cristais, a característica principal é a ramificação. Tomando como exemplo um ramo de dimensão um e dividindo-o em dois ramos de comprimento $\frac{1}{2}$ com 120 graus. Cada ramo se divide ainda mais de modo semelhante e o processo continua indefinidamente. Se, em vez de um fator de redução 0,5, fosse utilizado o fator 0,618... a redução seria tal que as ramificações apenas se tocariam, sem se sobrepor, como na Figura 38 (LIVIO, 2008).

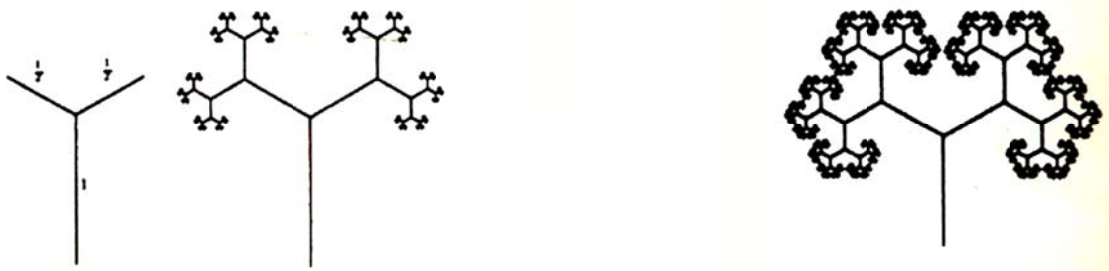


Figura 38: Ramificações com fator de redução 0,5 à esquerda e 0,618 à direita.
Fonte: Lívio, 2008

Segundo Barbosa (2002), a geometria fractal está intimamente ligada à Teoria do Caos. As estruturas fragmentadas, extremamente belas e complexas dos fractais fornecem certa ordem ao caos, razão de ser considerada, às vezes, como a sua linguagem, que busca padrões dentro de um sistema aparentemente aleatório. Essa ciência trouxe consigo a capacidade de ver ordem e padrões onde só se enxergava o irregular e o imprevisível, ao mesmo tempo em que conduziu à reintegração das diversas áreas da ciência. O mundo é

repleto de fractais: turbulência nos fluidos, variação populacional de espécies, oscilações do coração e cérebro, desordem na atmosfera, interligações microscópicas de vasos sanguíneos, ramificações alveolares, cotação da bolsa de valores, forma das nuvens, relâmpagos, aglomerações estelares, entre outros.

Este breve estudo dos fractais, assim como da razão áurea, número π , geometria de pentágonos/pentagramas e seqüência de Fibonacci, permitem o reconhecimento da existência de padrões matemáticos na natureza, princípios de solução engenhosos e possíveis de serem aplicados a problemas de projeto. Como complemento, faz-se necessário o estudo dos princípios funcionais e mecânicos dos organismos naturais, os quais possam ser “imitados” ou “resgatados”, em forma de analogia, para posterior aplicação nas concepções de produtos.

2.2.3 Biomimetismo e Soluções Análogas

Na busca por soluções de concepção para o produto, um dos métodos criativos mais utilizados é o da analogia com a natureza. A Biomimética e a Biônica são abordagens semelhantes que compartilham a mesma inspiração. Ambas são tecnologias orientadas para aplicar as lições de design da natureza nos problemas de projeto humanos. São estudos embasados nas soluções naturais, decodificando geometrias e funcionamentos, na busca do melhor aproveitamento e do menor gasto de energia.

Segundo Soares (2008), o termo Biônica foi inventado em 1958 pelo Engenheiro da Força Aérea dos E.U.A, Major Jack. E. Steele. Foi definido como a análise das formas pelas quais os sistemas vivos atuam e têm descoberto os artifícios da natureza. O termo *Biônica* - do grego “elemento de vida”- foi oficialmente usado como título de um simpósio em setembro de 1960.

Segundo Podborschi *et al.* (2005 *apud* Soares, 2008), a Biônica é a ciência que estuda os princípios básicos da natureza (construtivos, tecnológicos e formais) e a aplicação destes princípios e processos na procura de soluções para os problemas da humanidade. Uma vez que a Biônica lida com a aplicação das estruturas, procedimentos e princípios de sistemas biológicos, converte-se em um campo interdisciplinar que combina a biologia com a engenharia, a arquitetura e a matemática. Wahl (2006) sugere que a Biônica e o Biomimetismo representam duas abordagens distintas ao “design e natureza”, baseadas em

diferentes concepções da relação entre a natureza e a cultura. Enquanto a Biônica trata da previsão, manipulação e controle da natureza, o Biomimetismo aspira à participação na natureza e, por isso, constitui uma maior contribuição para a sustentabilidade.

Depois de investigar um extenso número de pesquisas, Janine Benyus documentou e integrou suas descobertas em *Biomimicry - Innovation Inspired by nature*. Este novo termo – *Biomimética* - é caracterizado por ser mais amplo que o conceito de Biônica, conhecido até então. Além de considerar a imitação da forma biológica, o Biomimetismo inclui também o conceito de replicação do comportamento dos organismos biológicos. A definição de Benyus a respeito do campo de estudo da Biomimética está reproduzida a seguir (SOARES, 2008):

- **Natureza como modelo:** Estudar os modelos da natureza e imitá-los ou usá-los como inspiração, com o intuito de resolver os problemas humanos.
- **Natureza como uma medida:** Usar o padrão ecológico para julgar a relevância e a validade das inovações. Após bilhões de anos de evolução, a natureza aprendeu o que funciona, o que é mais apropriado e o que perdura.
- **Natureza como um mentor:** Nova forma de observar e avaliar a natureza. Preocupar-se não no que se pode extrair do mundo natural, mas no que se pode aprender com ele.

O presente trabalho trata o tema dos princípios naturais de solução a partir da visão da Biomimética, considerando também os aspectos da Biônica, mas buscando relações mais amplas e integradoras, visto que o objetivo não é apenas copiar da natureza, mas aprender e interagir com ela.

Segundo Benyus (1997), em uma sociedade acostumada a dominar ou "melhorar" a natureza, imitá-la de forma respeitosa é uma abordagem radicalmente nova, uma revolução de verdade. Ao contrário da Revolução Industrial, a Revolução Biomimetismo apresenta uma era baseada não no que se pode extrair da natureza, mas sobre o que é possível aprender com ela. Fazendo as coisas à maneira da natureza, é possível mudar a forma de cultivar alimentos, de produzir materiais, de gerar energia, de curar, de armazenar informações e de realizar negócios. Depois de 3,8 bilhões de anos de pesquisa e desenvolvimento, as falhas são fósseis, e aquilo que nos rodeia é o segredo para a sobrevivência.

A respeito dessa engenhosidade e sabedoria presentes na natureza, Leonardo da Vinci faz a seguinte afirmação (VINCI, 2004, p. 96):

“A genialidade do homem faz várias invenções, abrangendo com vários instrumentos o único e mesmo fim, mas nunca descobrirá uma invenção mais bela, mais econômica ou mais direta que a da natureza, pois nela nada falta e nada é supérfluo”.

Ao olhar com profundidade para a natureza, percebe-se que todas as invenções humanas já apareceram nela de uma forma mais elegante e com um custo muito menor para o planeta. Mesmo um dos mais inteligentes sistemas construtivos, de pilares e vigas, já está caracterizado em lírios e hastes de bambu. O aquecimento central e ar-condicionado são superados pela torre de cupim. O melhor sonar produzido pelo homem é difícil de ouvir, em comparação com a transmissão do morcego multifrequencial. Até mesmo a roda, que sempre pareceu ser uma criação exclusivamente humana, foi encontrada no pequeno motor rotativo que impulsiona o flagelo das bactérias mais antigas do mundo (BENYUS, 1997).

Os seres vivos, em conjunto, mantêm uma estabilidade dinâmica, como dançarinos em um arabesco, continuamente manipulando recursos sem desperdícios. Depois de décadas de estudos, os ecologistas começaram a entender semelhanças escondidas entre muitos sistemas interligados. De suas anotações saem alguns princípios (BENYUS, 1997):

- A natureza trabalha à luz do sol;
- A natureza usa apenas a energia que necessita;
- A natureza adapta a forma à função;
- A natureza recicla tudo;
- A natureza vive em cooperação;
- A natureza se assenta na diversidade;
- A natureza exige conhecimentos precisos;
- A natureza corta o desperdício desde a origem;
- A natureza toca o poder de limites.

Segundo o biólogo John Todd (2000 *apud* Wahl, 2006), a ecologia da Terra possui um conjunto de instruções que precisam ser urgentemente decodificadas para posterior emprego na concepção dos sistemas humanos. Após quarenta anos de pesquisas nas áreas de biologia, ecologia e design, Todd enfatiza que é possível projetar com a natureza. Através do design ecológico é possível existir uma civilização mais evoluída, usando apenas um décimo dos recursos do planeta que a sociedade industrial utiliza hoje.

John e sua esposa Nancy Jack-Todd (1993 *apud* Wahl, 2006) foram os primeiros pesquisadores a oferecer uma lista de princípios de design ecológico. A proposta inicial são nove preceitos, incrementados depois por um décimo ponto, visando salientar a centralidade do design como expressão da intencionalidade em todas as interações humanas:

- O mundo vivo é a matriz para todo o design;
- O design deve seguir, e não opor-se às leis da vida;
- A equidade biológica deve determinar o design;
- O design deve refletir o bioregionalismo;
- O design deve ser baseado em fontes de energia renováveis;
- O design deve ser sustentável na integração de sistemas vivos;
- O design deve ser co-evolucionário com o mundo natural;
- A construção e o design devem ajudar a curar o planeta;
- O design deve seguir uma ecologia sagrada;
- Todos somos designers.

Essa lista de preceitos do design biológico reflete a visão holística e participatória que alicerça o design sustentável integrado. O movimento transdisciplinar que cresceu desta abordagem participativa e eticamente responsável tem sido descrito como *Bioneers*, design natural ou movimento natural do design (WAHL, 2006).

Desde os anos 70, a Biônica se tornou uma disciplina de apoio cada vez mais influente para engenheiros e tecnólogos. Uma grande contribuição para isso foi o trabalho pioneiro do zoologista Werner Nachtigall (1997 *apud* Wahl, 2006), que retrata a biônica como o processo de aprender com a natureza como inspiração para a concepção técnica independente. Nachtigall formulou uma série de princípios do design biônico:

- Integrada, em vez de construção aditiva;
- Otimização do conjunto, em vez de maximização dos elementos individuais;
- Multifuncionalidade, em vez de monofuncionalidade;
- Adaptação a ambientes particulares;
- Poupança de energia, em vez do desperdício de energia;
- Uso direto e indireto da energia solar;
- Limitação temporal, em vez de durabilidade desnecessária;
- Reciclagem total, em vez de acumulação de resíduos;

- Redes, em vez de linearidades;
- Desenvolvimento durante o processo de experimentação e erro.

Outros princípios para guiar o design de produtos são desenvolvidos também por Janine Benyus (1997) e Edwin Datschefski (2001 *apud* Soares, 2008), dois nomes indissociáveis da evolução do Biomimetismo como ciência, os quais estão expostos a seguir.

Janine Benyus:

- Usar resíduos como um recurso
- Diversificação e cooperação para usar completamente o habitat
- Obter e usar energia de forma eficiente
- Otimizar em vez de maximizar
- Moderar o uso de materiais
- Não poluir
- Não gastar recursos
- Permanecer em equilíbrio com a biosfera
- Partilhar informação
- Comprar localmente

Edwin Datschefski:

- Cíclico: os produtos devem ser parte de ciclos naturais, feitos de material que possa ser compostado ou tornarem-se parte de um ciclo humano, como um círculo fechado de reciclagem;
- Solar: toda a energia usada para fazer o produto deve provir de energia renovável, em todas as suas formas, como a solar;
- Eficiente: aumentar a eficiência dos materiais e uso de energia significa menos danos ambientais. Os produtos podem ser desenhados para usar 1/10 do que usavam antes;
- Segurança: os produtos e os subprodutos não devem conter materiais tóxicos;
- Social: a fabricação dos produtos não pode incluir exploração dos trabalhadores.

A biomimética é uma ferramenta que pode transformar a visão do homem sobre o mundo e diversas pesquisas já estão comprovando a sua utilidade. O artigo *Application of abstract formal patterns for translating natural principles into the design of new deployable structures in architecture*, de M. R. Matini & J. Knippers (2008), descreve um método para transmissão dos princípios naturais para estruturas arquitetônicas, baseado no estudo de caso das deformações do corpo da minhoca. Uma minhoca se move por meio de ondas de contrações musculares, que alternadamente encurtam e alongam o corpo. É apresentada, então, uma abstração desse princípio natural e o desenvolvimento de novas estruturas móveis na arquitetura, utilizando o modelo abstrato.

O método consiste em três etapas fundamentais: como captar um princípio natural, como encontrar um conceito de projeto para a estrutura e como desenvolver o conceito. É proposto um modelo geométrico gerado a partir de um princípio natural, o qual será aplicado ao conceito de estrutura móvel, após sequenciais modificações do modelo inicial. Esse conceito não é uma cópia da natureza, é apenas inspirado nela. Nas fases seguintes, novos conceitos e possibilidades são desenvolvidos.

Após determinada a característica especial que se deseja aplicar à estrutura, é necessário gerar um modelo wireframe bidimensional (2D) ou tridimensional (3D) que simplifique um princípio natural como lei de uma forma. Primeiramente, um organismo, animal ou planta, deve ser simplificado por pontos e linhas e, depois disso, seu mecanismo de deformação deve ser representado por cores. Os pontos e linhas representam os principais elementos que participam da deformação do corpo. A deformação da forma advém das mudanças das linhas. Os pontos representam o tipo de deformação das linhas, umas com relação às outras. As linhas, em seus pontos de intersecção, podem se mover com diferentes graus de liberdade. As cores dos pontos e das linhas mostram os tipos de transformação em cada componente, podendo ter diferentes significados.

As cores vão do preto, passam pelo azul, vermelho e, por fim, o verde. Os pontos vão ganhando liberdade de movimento à medida que se afastam do preto, seguindo a mesma ordem descrita acima. As linhas pretas não podem mudar de forma, as azuis podem sofrer flexão, as vermelhas podem ser encurtadas e as verdes podem ser alongadas. A Figura 39 demonstra um tipo de deformação, seguindo as regras das cores e elementos.

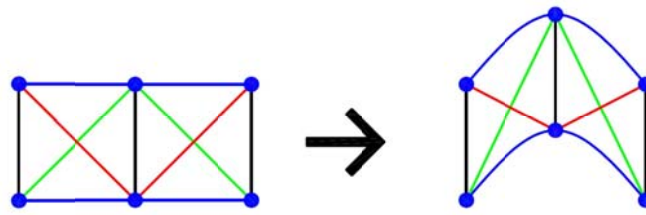


Figura 39: exemplo que demonstra uma transformação.
Fonte: Matini & Knippers, 2008

Esse esquema gráfico de análise de deformações foi aplicado ao caso da minhoca. Verificou-se que, sob a pele do verme, há dois principais grupos de músculos, uns longitudinais e outros circulares. Quando os músculos circulares se contraem, tornam a minhoca mais alongada e fina. Quando os músculos longitudinais se contraem a minhoca fica mais curta e mais gorda (Figura 40).

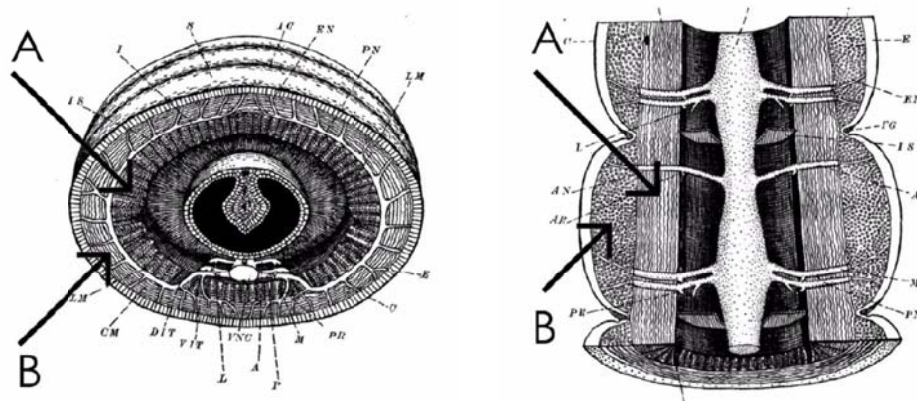


Figura 40: Representação dos grupos de músculos da minhoca.
A=músculos longitudinais, B=músculos circulares.
Fonte: Matini & Knippers, 2008

Essa deformação do corpo da minhoca por ser representada graficamente por um modelo 3D wireframe, composto apenas de linhas vermelhas e verdes e pontos pretos. Foram utilizadas três modificações estruturais ao sistema inicial: adicionadas as linhas diagonais (linhas azuis), subtraídas as linhas extras (as linhas verde e vermelha, que não desempenham um papel importante na deformação do modelo) e mudadas a cor dos pontos (variação de preto para azul) (Figura 41).

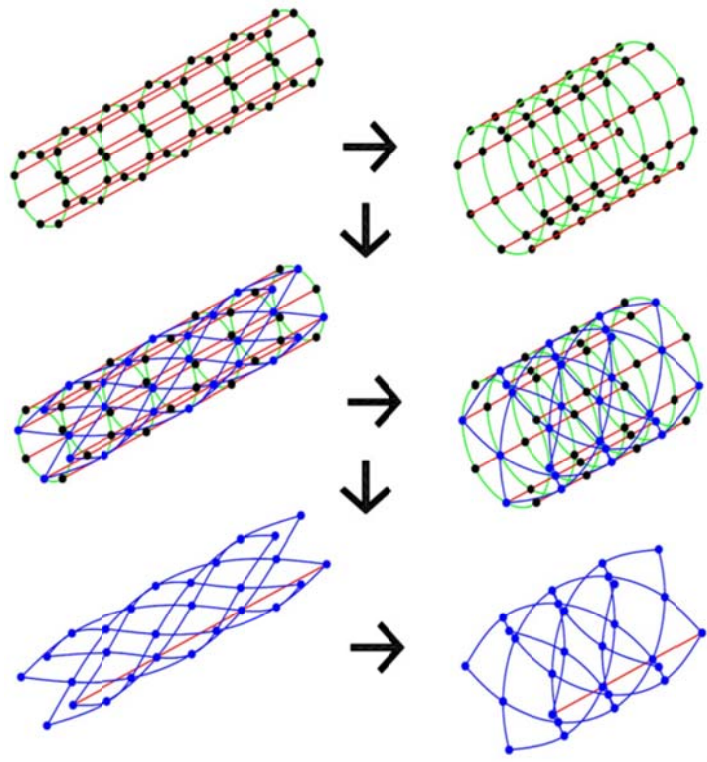


Figura 41: Sequência de transformação da minhoca.
 Fonte: Matini & Knippers, 2008

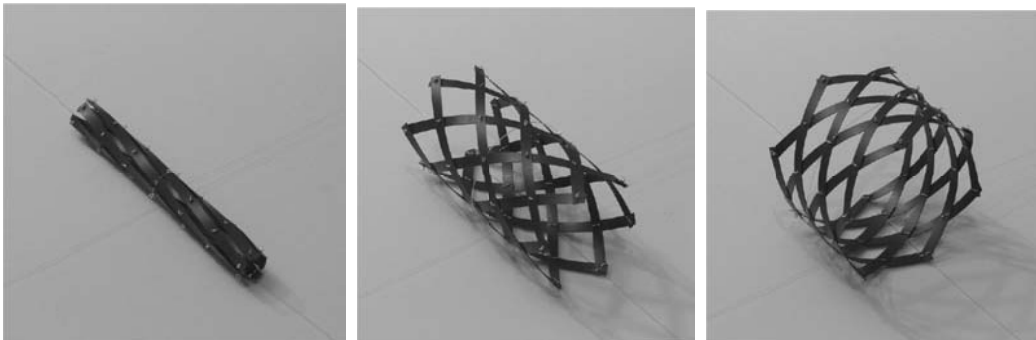


Figura 42: Teste do resultado com modelo real.
 Fonte: Matini & Knippers, 2008

O resultado é o conceito de uma estrutura cilíndrica retrátil, que pode ser utilizado para diferentes aplicações na arquitetura e no design de produtos (Figura 42). Com a deformação espiral das hastes elásticas e a orientação das articulações, esta estrutura cilíndrica pode assumir outras formas, mudando sua altura e largura. Este conceito também foi desenvolvido pelos autores e está demonstrado na Figura 43 e na Figura 44:

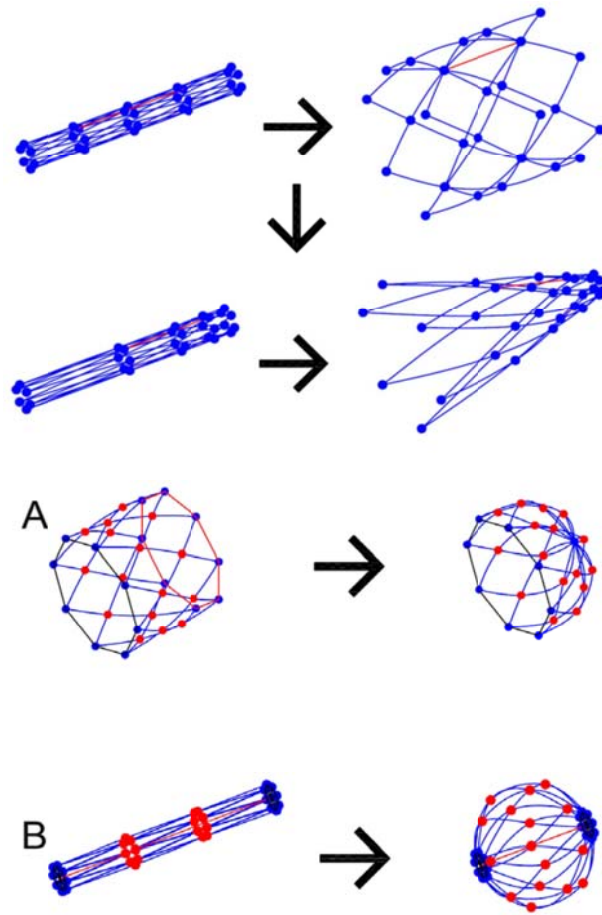


Figura 43: Manipulação dos parâmetros formais.
Fonte: Matini & Knippers, 2008

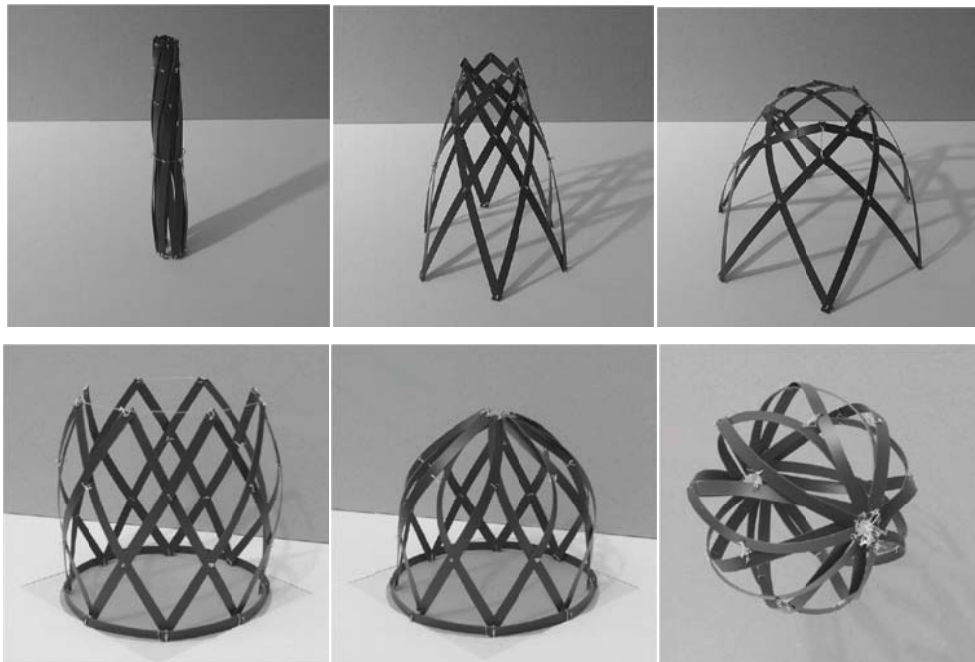


Figura 44: Teste do resultado com modelo real.
Fonte: Matini & Knippers, 2008

Segundo Isenmann (2003), certamente economistas e engenheiros utilizam com frequência as analogias biológicas, fundamentalmente a partir de organismos (analogia com a evolução, com o crescimento fractal, com o cérebro), na busca por solucionar fenômenos sócio-econômicos. No entanto, sem um quadro conceitual associado e sem um amplo esclarecimento filosófico, a perspectiva da ecologia industrial de compreender a natureza como modelo provavelmente permanece apenas especulativo. É questionável se o trabalho com as analogias biológicas são de fato algo novo ou apenas um condicionamento do senso comum. Reforçar a base da ecologia industrial é útil por proteger a idéia poderosa de a natureza servir como modelo, e não apenas por utilizá-lo como uma mera retórica ou uma nota na literatura de gestão ambiental, apenas como um belo acessório.

Wahl (2006, p. 290) resgata um ensinamento antigo a esse respeito, de 500 anos antes, provindo dos diários de Leonardo da Vinci: *“aqueles que tomarem partido de qualquer estandarte que não seja o da natureza – a mestra de todos os mestres – trabalharão em vão”*

Da Vinci parece ter previsto certa tendência do homem em percorrer um caminho orientado pelo objetivo de aumentar sua capacidade de controle e manipulação da natureza, em vez de aprender e integrar-se a ela. Apesar da advertência de Da Vinci, muitos foram os que tomaram o caminho da “não-natureza”. Galileu Galilei focou seus estudos nos aspectos quantitativos e mensuráveis da natureza, considerando os aspectos qualitativos de importância secundária. Francis Bacon descreveu a visão de homem como "mestre da natureza". René Descartes criou a separação conceitual entre mente e corpo, entre humanidade e natureza, entre sujeito e objeto, categorias mutuamente exclusivas e independentes. Juntos, eles criaram a base para uma ciência reducionista do objetivismo independente (WAHL, 2006).

Esta abordagem científica, predominante a partir do século XVIII, gerou uma separação dos seres humanos da sua natureza biológica, tornando-os observadores objetivos. A causa raiz da insustentabilidade total da civilização moderna reside na separação dualista da natureza e da cultura. É na natureza que todos os povos e todas as espécies são unidos em uma comunidade de vida. No entanto, a cultura é comumente concebida como algo independente e à parte da natureza. Apesar dessa inversão de valores culturais, desde a revolução industrial, a ciência reducionista permitiu ao homem projetar uma série de tecnologias poderosas, manipuladoras, as quais vêm transformando o planeta de maneira arrasadora (WAHL, 2006).

O conhecimento possui uma natureza dual, visto que nele reside um grande poder, o qual pode ser direcionado para diferentes fins. Benyus questiona (1997): “O que fará a Revolução Biomimética diferente da Revolução Industrial? Quem pode afirmar que não se vai simplesmente roubar o trovão da natureza e utilizá-lo em alguma campanha contra a vida?”. Esta não é uma preocupação infantil, pois uma das mais expressivas invenções biomiméticas foi o avião, inspirado no vôo dos pássaros. O homem voou pela primeira vez em 1903, e em 1914, já estava lançando bombas do céu. Talvez aquilo que o homem realmente necessita não seja uma mudança tecnológica, mas uma mudança interna de mentalidade, que lhe permita estar atento às lições da natureza.

Segundo Benyus (1997), não há muito que aprender na cidade, é hora de caminhar na floresta novamente. Uma vez que a natureza é vista como um mentor, o relacionamento do homem com o mundo muda. Neste ponto da história, como se contempla a real possibilidade de perder um quarto de todas as espécies nos próximos trinta anos, a biomimética torna-se mais do que simplesmente uma nova forma de olhar a natureza. Torna-se uma corrida e um resgate.

Segundo Wahl (2006), o design é a expressão da intencionalidade através de interações e relações. Isso muda significativamente quando a intenção de projeto é abordada na perspectiva da cultura como algo separado da natureza, com o objetivo de manipulá-la da forma mais eficaz, ou quando é abordada dentro de uma forma holística, que considera a cultura como um co-participante dependente dos processos naturais. Tais mudanças afetam toda a atividade humana. A criação de uma civilização sustentável se dá primeiramente sobre tais mudanças fundamentais nas visões de mundo dominante, sistemas de valores, intenções e estilos de vida.

A visão dos autores acima citados trazem o tema da Biomimética como uma questão cultural, de respeito à vida e à natureza, o que vai muito além do alcance do designer. Para uma real revolução biomimética, como fala Benyus, é necessário um trabalho conjunto de todas as áreas do saber em reeducar o homem a ser mais ético e mais “humano”. Apesar de restrita, a atuação do designer também pode contribuir para uma sociedade mais sustentável, apropriando-se das ferramentas da Biomimética, conhecendo-as a fundo e aplicando-as em seus produtos. A ferramenta de apoio ao projeto, proposta no presente trabalho, busca coerência com os princípios abordados nesta seção.

2.2.4 Aplicabilidade dos princípios naturais de solução

O propósito deste item é verificar, em alguns exemplares dentro da área do design, da arte, da engenharia e da arquitetura, possíveis aplicações de princípios de solução da natureza. Estes princípios podem ser expressos através de padrões matemáticos, de formas geométricas ou de proposições funcionais que se assemelhem ou busquem inspiração em referências naturais.

Leonardo da Vinci, que foi um expoente na área da engenharia, dizia que, apesar da grande genialidade do homem, este nunca descobrirá uma invenção mais bela ou mais econômica que a da natureza. As observações e experimentos descritos em seus diários, dentre os quais é possível encontrar esboços de submarinos, asa-delta, tanques de guerra, pontes e dezenas de peças mecânicas, são claros exemplos de sua inspiração nos modelos naturais (VINCI, 2004).

György Doczi (1990) também ilustra diversos exemplos de aplicações de padrões naturais na arte e na arquitetura. Segundo ele, os trançados de cestos têm grande semelhança com teias de aranha. As aranhas tecedeiras constroem suas teias começando por fios retos que se juntam no centro. Em seguida tecem espirais ao redor desses fios, que vão se alargando em órbitas cada vez mais amplas. Cesteiros também trabalham em um padrão parecido, iniciando a urdidura com fibras mais duras dispostas radialmente a partir de um ponto que será o centro do cesto. Em seguida, fibras flexíveis são trançadas por cima e por baixo da urdidura de forma rotativa (Figura 45).

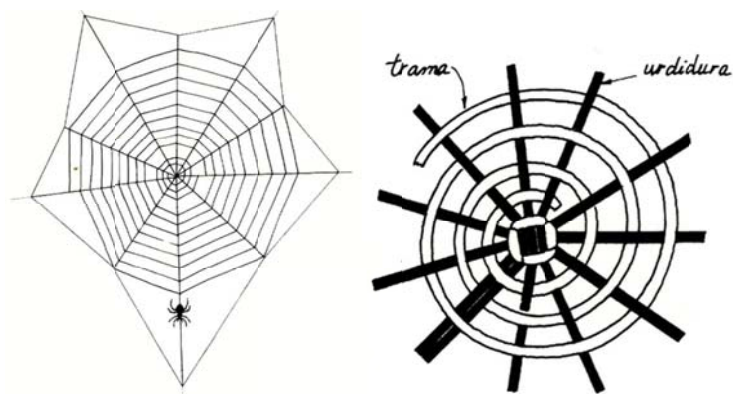


Figura 45: Teia de aranha construída com fios radiais retos com linhas de giro espiral (esq.); Trançado de cesto com hastes de fibra dura, que formam a urdidura (dir.)

Fonte: Doczi, 1990

Segundo o mesmo autor (1990), as formas de arte e arquitetura do oriente e ocidente possuem muitas diferenças, mas há um ponto em comum entre ambas que revela uma unidade

humana escondida sob as diferenças superficiais. As figuras contidas no anexo 04 demonstram alguns estudos de proporções, realizados por Doczi, em obras-ícone de alguns povos da antiguidade, como o Parthenon em Atenas, o Coliseu em Roma e um templo budista em Java.

Segundo Cook (1979), princípios de proporção praticados pelos construtores do Parthenon, também foram descobertos em muitas construções egípcias, romanas, italo-bizantinas, bizantino-romanescas e góticas. Mas paralelo aos padrões geradores da obra, há suaves desvios de valor matemático, os quais conferem ao produto uma beleza viva. Quando se trata do princípio essencial da vida e do crescimento é constante uma variação do padrão rígido. Nenhuma árvore cresce com todos os galhos inclinados no mesmo ângulo com relação ao tronco, assim como nenhuma flor se desenvolve em direção ao sol em linha completamente reta.

A arquitetura moderna de Le Corbusier também serve como exemplo de aplicação das proporções de ouro. Na fachada frontal da residência de Villa Stein, estão indicadas as proporções relativas a 1 e 1,618 (Figura 46):

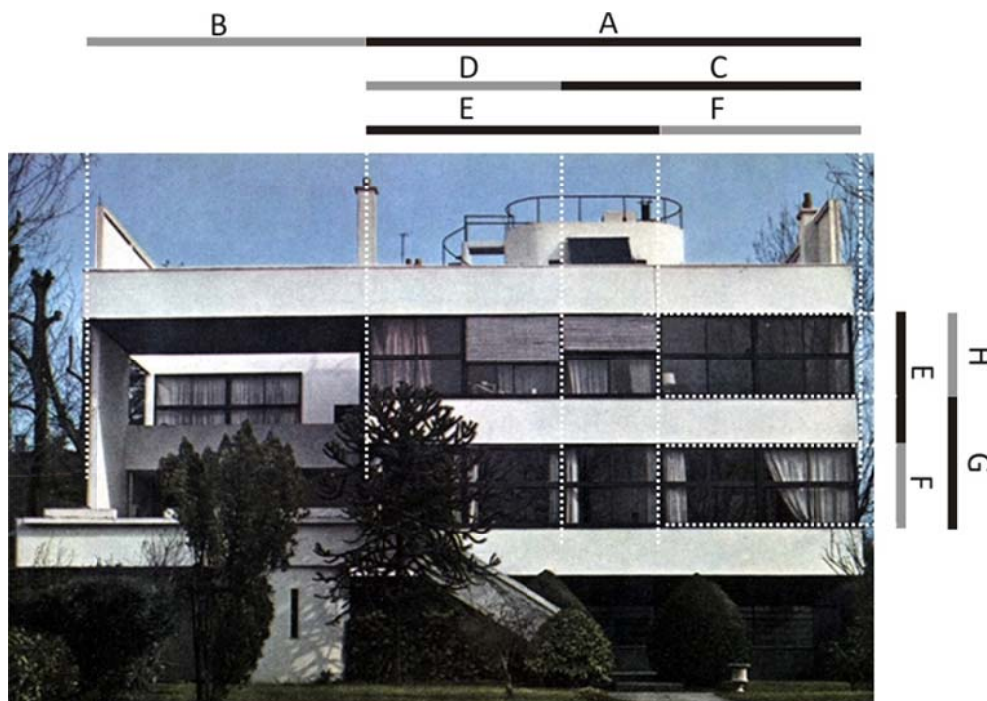


Figura 46: Medidas áureas na fachada da residência de Villa Stein, de Le Corbusier.
Fonte: adaptado de [Http://britton.disted.camosun.bc.ca/goldslide/gold40.jpg](http://britton.disted.camosun.bc.ca/goldslide/gold40.jpg)

A partir das medidas e proporções do corpo humano, Le Corbusier desenvolveu uma ferramenta de ergonomia, conhecida como *modulor*. Essa ferramenta é amplamente utilizada

para o projeto de mobiliário e arquitetura, indicando as medidas mais adequadas ao uso humano em diferentes funções (anexo 05).

Ainda dentro da área da arquitetura, há dois expoentes construídos na China para os jogos olímpicos de 2008, o Cubo D'água e o Ninho de Pássaro, ambos inspirados em elementos da natureza, os quais batizam inclusive os seus nomes. A estrutura básica do primeiro edifício se baseia em bolhas e, apesar de nenhuma ser idêntica à outra, todas seguem um mesmo padrão gerador (Figura 47 e Figura 48). No anexo 06, encontra-se uma breve explicação de parte do processo criativo realizado durante o projeto conceitual deste estádio. Já o segundo edifício se baseia nas tramas e trançados de um ninho, trocando a tradicional palha por aço (Figura 49 e Figura 50).



Figura 47: Foto noturna do Cubo D'água.

Fonte: [Http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/7817442.jpg](http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/7817442.jpg)



Figura 48: Foto da estrutura do Cubo D'água.

Fonte: [Http://www.core.form-ula.com/wp-content/uploads/2008/06/484440654_ee7bb8ddbc_b.jpg](http://www.core.form-ula.com/wp-content/uploads/2008/06/484440654_ee7bb8ddbc_b.jpg)



Figura 49: Ninho de Pássaro.
Foto: Martin Saunders.



Figura 50: Ninho de Pássaro.
Foto: Ben McMilian.

A música é outra área do conhecimento que está repleta de proporções harmônicas. A Figura 51 representa parte do teclado de um piano, instrumento musical tradicional de cordas. Uma oitava musical pode ser compreendida pelo conjunto de duas teclas pretas somado ao conjunto de três teclas pretas, conformando cinco teclas pretas. A seqüência das teclas está em proporção correspondente à seqüência de Fibonacci: 2, 3, 5, 8.



Figura 51: Indicação da seqüência de Fibonacci em uma oitava de piano.
Fonte: a autora

Observando a constituição de algumas obras de arte consagradas também é possível verificar a aplicação da proporção áurea. Alguns exemplos são a escultura da Vênus de Milo, a obra de Mondrian e a célebre Mona Lisa de Leonardo da Vinci (Figura 52).

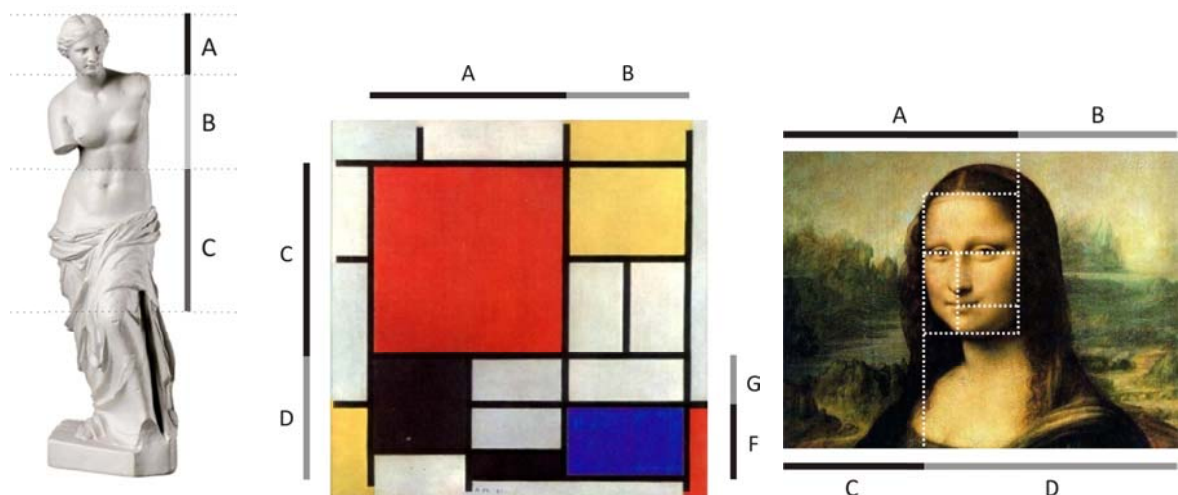


Figura 52: Proporções áureas identificadas na escultura de Vênus de Milo, na obra de Mondrian e na Mona Lisa, de Leonardo da Vinci.

Fonte: adaptado de <http://s0.artquid.fr/art/0/22/5754.1616255705.0.o196404043.jpg>; adaptado de <Http://cealdecote.files.wordpress.com/2007/12/mondrian.jpg>; adaptado de <http://to55er.files.wordpress.com/2009/05/mona-lisa.jpg>

Voltando o olhar para a indústria e para a engenharia, vale ressaltar a invenção dos aviões, cuja base foi a analogia com os pássaros, aliada a profundos estudos de proporções áureas (Figura 53). Outra criação inteligente é o *honeycomb*, estrutura hexagonal desenvolvida a partir da geometria dos favos das colmeias. Essa estrutura é amplamente utilizada na engenharia em peças que necessitam de alta resistência e leveza simultaneamente (Figura 54). Ainda dentro da indústria, é interessante ressaltar a criação do velcro, baseado na morfologia dos carrapichos (Figura 55).

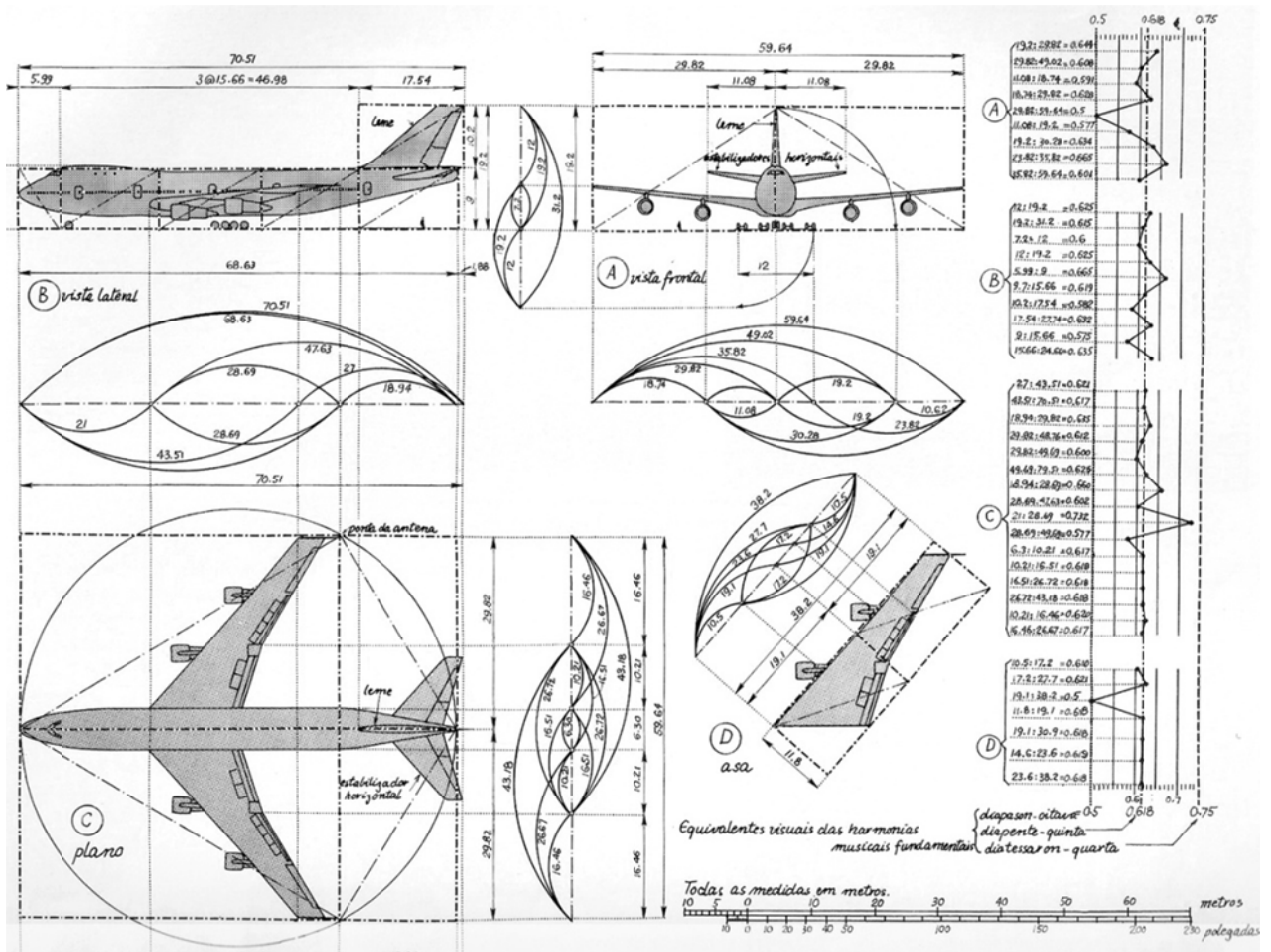


Figura 53: Estudos geométricos do Boeing 747
 Fonte: Doczi, 1990

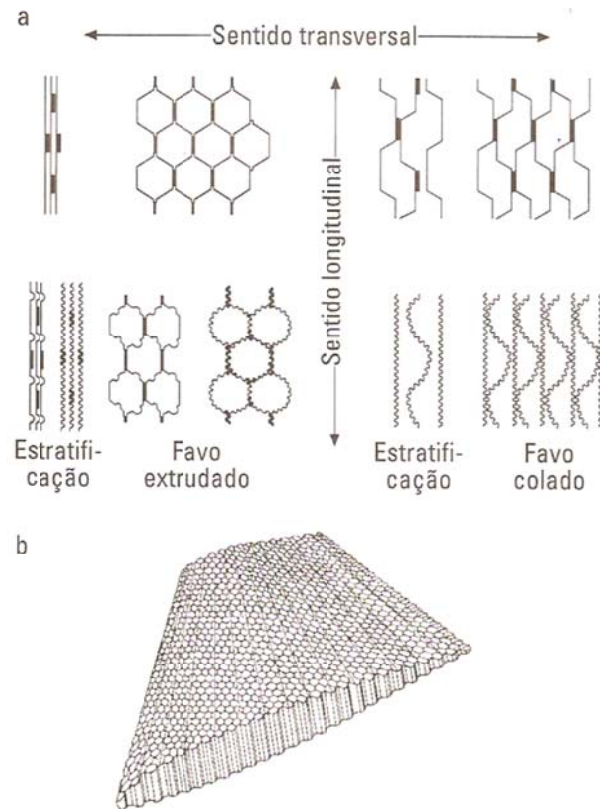


Figura 54: Honeycomb, baseado na geometria das colmeias: construção de sanduíche em estruturas leves
 Fonte: Pahl e Beitz, 2005



Figura 55: Fotos de um carrapicho realizadas em laboratório
 Fonte: CD Biônica – Ldsm UFRGS

Alguns produtos consagrados no mercado também respondem às proporções áureas. As dimensões padrão de um cartão de crédito bancário costumam ser 8,4cm x 5,4cm, chegando a uma razão de 1,55, valor muito próximo de ϕ (Figura 56). O formato de tela widescreen varia em torno de 33,5cm x 21cm, chegando a uma razão de aproximadamente

1,6. Por fim, o design gráfico também possui algumas aplicações de ϕ . É o caso do desenvolvimento da nova logomarca da Pepsi, o qual está demonstrado no anexo 07.

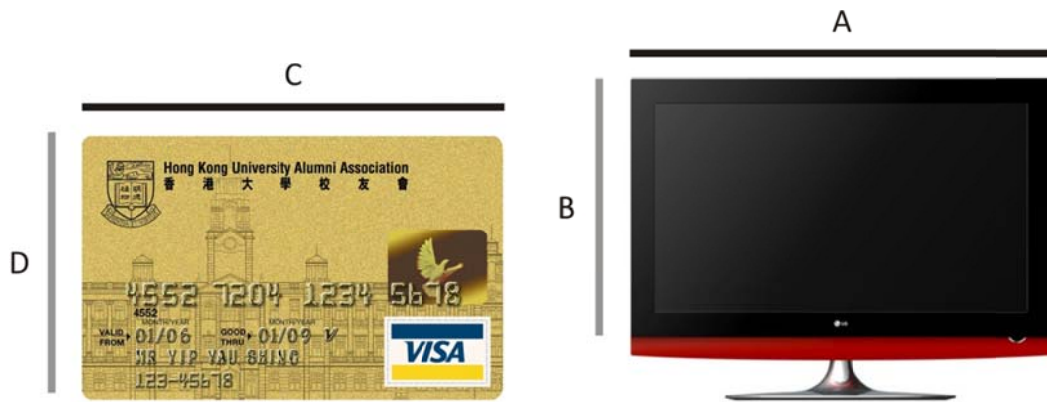


Figura 56: Cartão de Crédito e LCD widescreen

Fonte: adaptado de [Http://www.hkuua.org.hk/download/HKUAA_Gold_VISA_06.jpg](http://www.hkuua.org.hk/download/HKUAA_Gold_VISA_06.jpg) e adaptado de [Http://img140.imageshack.us/i/lglg4000on5.jpg/](http://img140.imageshack.us/i/lglg4000on5.jpg/)

A dissertação de Roner Salvador, intitulada “Metodologia biônica em dobradiças de móveis”, traz alguns exemplos de aplicação direta dos sistemas naturais ao produto. Neste caso, o autor realiza um estudo sobre as diferentes formas de dobradiças e mecanismos de junção nos seres vivos (SALVADOR, 2003):

“As portas que giram sobre dobradiças são muito comuns em nosso dia a dia. Na natureza, se encontram aonde menos se esperam, modelos semelhantes às dobradiças; por exemplo, um ovo de um inseto (mosquitos comuns), tem todos uma ‘portinha’ que se abre apenas no término da incubação, permitindo a larva passar ao elemento líquido. Outro exemplo mais notável de porta com dobradiças é encontrada em um Rotífero (Brachionus, animais aquáticos, unicelulares e microscópicos), chamado assim porque tem um aparato composto de pestanas móveis, que quando funciona parece verdadeiramente uma roda girando e quando saem de dentro do ovo a casca volta a ficar como antes (utilizando a dobradiça), parece quase inteiro, sem presenciar fraturas.”

Segundo o mesmo autor, o estudo dos elementos de junção presentes na natureza é muito útil ao desenvolvimento de novos conceitos de união, fixação e montagem de produtos industriais. A busca é por princípios que facilitem a montagem e desmontagem, o que minimiza os custos, gera menos resíduos e amplia a capacidade de produção. A Figura 57 ilustra uma compilação de elementos de junção, realizada pelo laboratório de seleção de materiais da UFRGS:

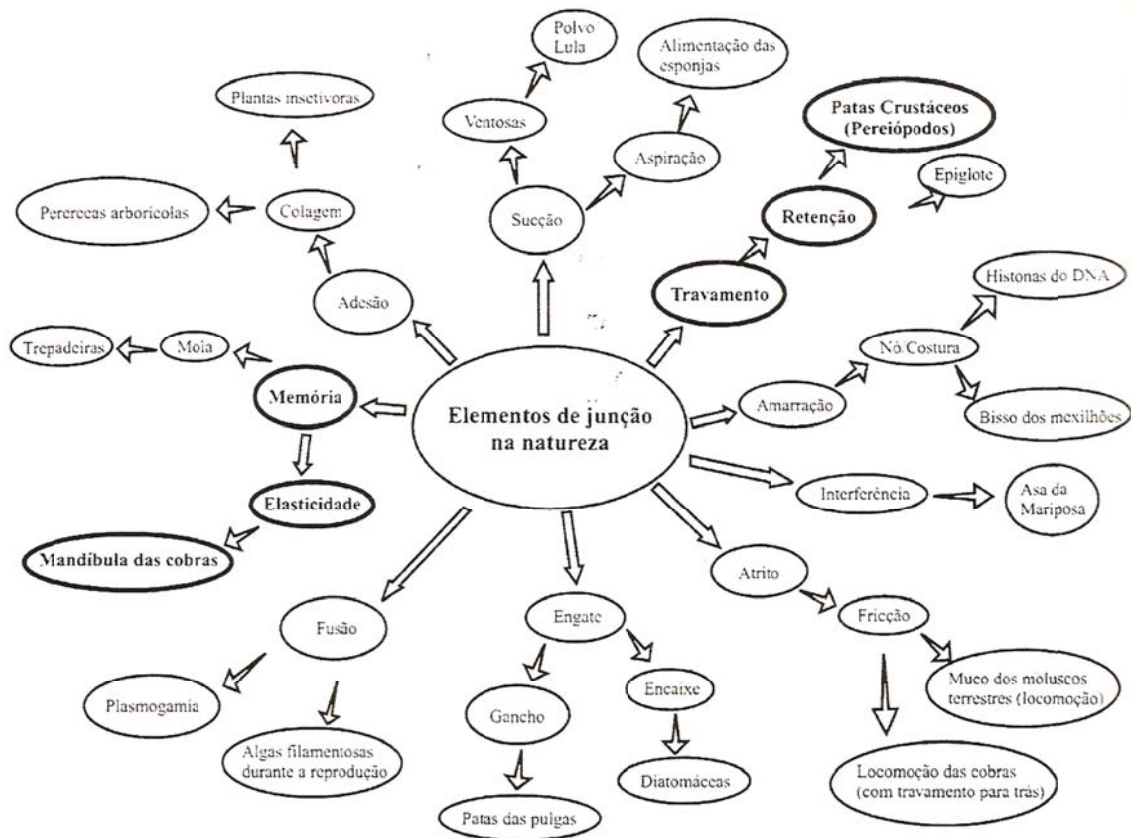


Figura 57: Exemplo de ecossistema de princípios de junção da natureza
 Fonte: Salvador, 2003

As questões acima abordadas tratam de demonstrar a existência de uma ordem matemática e precisa na constituição dos seres. Na natureza, nada parece ser aleatório. A existência de certos princípios comuns, sejam matemáticos, geométricos e/ou funcionais, na constituição do objeto natural, abre uma ampla gama de possibilidades inventivas ao homem. O designer pode e deve se apropriar desses princípios para lançar-se à criação de produtos mais inteligentes, que aliem estética, economia e funcionalidade.

O estudo destes padrões, aqui brevemente explorados, servirá como base para a geração da taxonomia de princípios de solução da natureza, que é o objetivo final do presente trabalho. O passo seguinte consiste em estudar formas de organização da informação, de maneira que os dados obtidos possam ser categorizados e facilmente utilizados pelo projetista durante o processo criativo do projeto de produtos.

2.3 TEORIA DA CLASSIFICAÇÃO

O objetivo desta seção é compreender os conceitos fundamentais da teoria da classificação do conhecimento, de maneira a possibilitar a formulação de uma nova taxonomia para a área do design, mais especificamente para o projeto conceitual durante o desenvolvimento de produtos. Porém antes de demilitar o tema da classificação, é necessário imergir na área da biblioteconomia e arquitetura da informação, buscando entender como se organiza o conhecimento, quais os seus critérios de seleção, agrupamento e hierarquização.

2.3.1 Conceitos Fundamentais

A teoria da classificação possui uma ampla gama de conceitos. Muitos autores coincidem na definição do termo “classificação” como o ato de dividir em grupos ou classes, segundo as diferenças ou semelhanças, ou seja, o ato de colocar juntas as coisas similares. Segundo Robredo (1994), originalmente, a classificação foi descrita como o processo de ordenar o universo do conhecimento, para determinar o lugar preciso e exato das coisas em um esquema organizado. Esse esquema organizado pode ser apresentado através de um sistema ou tabela de classificação, que consiste em um conjunto de classes posto em ordem sistemática. A esse respeito, Langridge (1977) diz que um mapa completo de qualquer área do conhecimento, mostrando todos os seus conceitos e suas relações, pode ser chamado de sistema de classificação.

Na busca por esclarecer as diferenças fundamentais entre os conceitos de termos tão próximos como taxonomia e classificação, são trazidas algumas posições de autores conhecedores do tema. Segundo o professor Prieto-Díaz (2002), taxonomia pode ser compreendida como a estrutura e formulação das categorias de um sistema, enquanto classificação se relaciona ao ato de incluir os objetos dentro das categorias previamente definidas. Hildenise Ferreira Novo (2007), por sua vez, defende a idéia de que a taxonomia não nasce como uma fórmula pronta para solucionar problemas e organizar o conhecimento de um dado domínio. É uma construção teórica resultante de um processo investigativo contínuo e pode ser aplicada para o estudo de qualquer estrutura classificatória. É uma ferramenta de importância fundamental para entendimento de como um domínio do conhecimento é organizado e se relaciona com outro em estruturas hierárquicas:

“A taxonomia ultrapassa a idéia de estruturação de campos ou informações, pois depende de critérios epistemológicos e empíricos e deve fundamentalmente estar apoiada numa teoria que viabilize um método de construção e estruturação de ‘coisa’ e idéias, para que os fenômenos ocorridos em determinado domínio de conhecimento possam ser ordenados, possibilitando o esclarecimento de suas propriedades essenciais e as inter-relações ocorridas entre tais fenômenos” (NOVO, 2007, p. 16)

A definição de taxonomia, segundo Gomes, Motta, Campos (2006), é uma classificação ou sistemática criada segundo uma ordem lógica, apoiada em princípios. Sua construção é mais rápida que a de um tesouro⁴, porém não mais simples, porque a formulação de hierarquias é bem mais complexa do que aparenta. As taxonomias estão ganhando força nos serviços de informação online e têm sido usadas com função semelhante à dos menus/diretórios. Tradicionalmente, as taxonomias sempre estiveram associadas à organização intelectual sistemática de uma área do conhecimento. Hoje, elas também são aplicadas como mapas conceituais dos tópicos explorados em um serviço de recuperação. Em seu formato, na tela do computador, é mais amigável que um tesouro, já que possibilita uma visão global, revelando todas as idéias que compõe determinado conhecimento de uma só vez.

Historicamente, o termo taxonomia foi, pela primeira vez, empregado por Carolus Linnaeus, nas suas pesquisas relativas à biologia, durante o século XVIII. Foi ele quem classificou os seres vivos em *Filos, classes, ordens, famílias, gênero e espécies*, hierarquizando-os e dividindo-os. Segundo Amabis e Martho (1996), taxonomia vem dos radicais gregos *taxon*, (categoria ou grupo) e *nomos* (conhecimento), sendo amplamente utilizada na área da biologia como ferramenta de classificação e nomenclatura dos seres vivos. Há registros da busca pela organização dos seres visos desde Aristóteles, no séc. IV a.C., que iniciou pela classificação dos animais, seguido por seu discípulo Teofrasto (372 a.C. – 287 a.C.), o qual se dedicou à classificação das plantas. Essas classificações vêm como resposta à necessidade de agrupar os organismos de acordo a características comuns, buscando compreender a variedade e multiplicidade da natureza. Logo, na época do Renascimento, os cientistas trabalharam em uma classificação dos seres vivos a partir de características intrínsecas e não somente por critérios de utilidade ou forma arbitrária.

⁴ Tesouro: seleção de termos, baseados em análise de conceitos, na qual se define o termo geral, de maior abrangência, e sua relação com termos mais específicos, que representam os conceitos menores. Tesouros são mecanismos que formam uma estrutura de conceitos, ou seja, criam uma lista de termos relacionados entre si, definindo os termos mais usados, quer de forma geral, quer de forma mais específica e suas co-relações (TRISTÃO, FACHIN e ALARCON, 2004).

Os sistemas de classificação foram motivo de estudo de vários teóricos, não apenas no âmbito da biologia, mas também na busca pela organização global de documentos em uma seqüência útil, que represente o conhecimento registrado. Segundo Vickery (1980), algumas taxonomias podem apresentar relações genéticas, por exemplo, uma árvore genealógica da espécie animal, mas seu objetivo principal é ajudar a identificar as entidades. A taxonomia permite selecionar de um universo completo de entidades conhecidas a que melhor combine com a que foi anteriormente determinada.

Este recurso classificatório foi aplicado em múltiplas áreas do conhecimento com objetivos diversos. A taxonomia de Bloom, por exemplo, foi um mapeamento do conhecimento na área da educação para avaliação do aprendizado. Ele definiu taxonomia da seguinte forma:

“Enquanto um sistema de classificação pode ter muitos elementos arbitrários, um esquema de taxonomia não o pode. Uma taxonomia deve ser construída de forma que a ordem dos termos corresponda a certa ordem real entre os fenômenos representados por estes termos. Pode um esquema de classificação ser validado mediante o atendimento de critérios de comunicabilidade, utilidade e estimulação; no entanto, a validade de uma taxonomia depende da demonstração de sua compatibilidade com conclusões resultantes de dados de pesquisa no campo que busca ordenar [...] Necessitamos de um método de ordenar os fenômenos que permita o esclarecimento das propriedades essenciais e inter-relações dos próprios fenômenos. Este é o problema básico da taxonomia – hierarquizar fenômenos, de forma que se manifestem algumas de suas propriedades essenciais, bem como as inter-relações destas propriedades [...].” (BLOOM, 1972)

O sucesso de uma taxonomia está relacionado à clareza com os propósitos da área, à definição clara de suas categorias e ao desenvolvimento de interatividade. Considerando que a taxonomia seja uma estrutura organizacional conceitual, que possa ser usada para classificar e recuperar informações, a sua construção e implementação deve ser compreendida por quatro fases (CISCO e JACKSON, 2005):

- Planejamento e análise;
- Projeto, desenvolvimento e teste;
- Implementação;
- Manutenção.

Os autores trazem ainda a importante observação da existência de vários “pontos de vista” no ato classificatório. Desta forma, as taxonomias estão sujeitas a uma decisão que irá

determinar a melhor maneira de delimitar ou filtrar um domínio do conhecimento. Elas representam um ponto de vista e são, portanto, um sistema classificatório de entendimento de uma dada realidade, atendendo a diferentes propósitos.

2.3.2 Sistemas de Classificação

Conforme mencionado no item anterior, existe uma variedade de tipos de classificação, os quais serão definidos em base a algumas características, tais como à finalidade à qual se destina a classificação, ao campo de conhecimento que está sendo mapeado por ela e também ao tipo de característica escolhida como base da classificação. Com relação ao critério tipo de característica ou qualidade escolhida para a base das classificações, estas podem ser consideradas (PIEDADE, 1977):

- **Naturais:** quando derivadas da aplicação de característica inseparável do objeto
- **Artificiais:** quando originárias de aplicação de característica artificial ou mutável

Segundo a finalidade a que se destinam as classificações podem ser:

- **Filosóficas:** finalidade de definir, esquematizar e hierarquizar o conhecimento, preocupados com a ordem das ciências ou das coisas.
- **Bibliográficas:** sistemas destinados a servir de base à organização de documentos em estantes, em catálogos, em bibliografias, etc.

Segundo o campo de conhecimento que abrangem, as classificações podem ser:

- **Gerais/enciclopédias:** ordenação de todo o conhecimento humano
- **Especializadas:** ocupam-se de um ramo do conhecimento

Com relação à finalidade, Piedade (1977) conceitua as classificações filosóficas:

“Denominam-se classificações filosóficas, classificações do conhecimento, classificações metafísicas ou classificações das ciências as criadas pelos filósofos com a finalidade de definir e hierarquizar o conhecimento. Surgiram quando os sábios compreenderam que o universo é um sistema harmônico, cujas partes estão dispostas em relação ao todo, que há uma hierarquia das causas e dos princípios e, portanto, uma hierarquia e uma relação entre as ciências que os estudam, e resolveram esquematizar estas hierarquias, criando as classificações filosóficas”.

As classificações bibliográficas podem ou não ter base filosófica. De forma bem simples, H.E. Bliss (1939), o criador da classificação bibliográfica Bliss, explica que, na verdade, há dois principais tipos de classificação: de um lado a lógica, natural e científica e, de outro, a prática, arbitrária e utilitária. Em uma biblioteca, por exemplo, as duas finalidades devem ser combinadas. De acordo com o modo de apresentação dos assuntos, a classificação bibliográfica pode ser enumerativa ou facetada.

Segundo Dahlberg (1977), os sistemas de conceitos podem ser chamados classificações facetadas, o que indica que os elementos da descrição de uma classe se compõem de vários elementos da classificação. As classificações podem ser distribuídas da seguinte maneira:

- **Taxonomia:** quando os elementos dizem respeito a objetos, como minerais, plantas, animais, entre outros.
- **Classificações facetadas mono ou pluridisciplinares:** quando os elementos dizem respeito a uma disciplina.
- **Classificações universais:** quando os elementos dizem respeito a todas as disciplinas ou assuntos.

Conforme artigo de Tristão, Fachin e Alacorn (2004), os tipos de classificação podem ser de quatro naturezas:

- **Classificações especializadas e gerais:** têm por objetivo um assunto em particular como, por exemplo, um sistema de classificação destinado à indústria da construção, ou então um assunto amplo como a área da ciência da informação.
- **Classificações Analíticas e documentais:** objetivo de sintetizar fenômenos físicos e providenciar uma base para a sua explicação e entendimento. Também podem ser chamadas de classificações científicas ou taxonomias, como exemplo, a classificação dos reinos dos seres vivos.
- **Classificações Enumerativas:** prescrevem um universo de conhecimento subdividido em classes sucessivamente menores que incluem todas as possíveis classes compostas. Sua apresentação é através de listagem dos termos. É um tipo limitativo de classificação, pois coloca dificuldade em introduzir novos termos.
- **Classificações por Facetas:** a expressão de análise em facetas indica a técnica de fragmentar um assunto complexo em seus mais diversos aspectos/partes constituintes,

que são as facetas, utilizando, para estabelecer a relação entre eles as categorias fundamentais, denominadas Personalidade, Matéria, Energia, Espaço e Tempo, conhecidas como PMEST.

O indiano Shiyali Ramamrita Ranganathan (1967), criador do sistema de classificação facetada, apresenta o sistemas de classificação em cinco tipos, seguindo uma escala crescente, desde a enumerativa até a facetada:

- Sistemas enumerativos;
- Sistemas quase-enumerativos;
- Sistemas quase-facetados;
- Sistemas rigidamente facetados;
- Sistemas livremente facetados ou analítico-sintéticos.

As principais classificações enumerativas são a CDD (Classificação Decimal de Dewey) e a CDU (Classificação Decimal Universal), as quais seguem a lógica da classificação de Porfírio (Figura 58), que parte do geral para o específico, dividindo o conhecimento consecutivamente por diversas características. Contudo, a necessidade de criar sistemas de classificação que permitam combinar as variadas relações de um mesmo assunto, levou à constatação de que as classificações bibliográficas não poderiam seguir somente o sistema de Porfírio, mas que deveriam originar-se de subdivisões em categorias. O exemplo da Figura 59 ilustra a necessidade de organizar as aves segundo quatro diferentes propriedades.

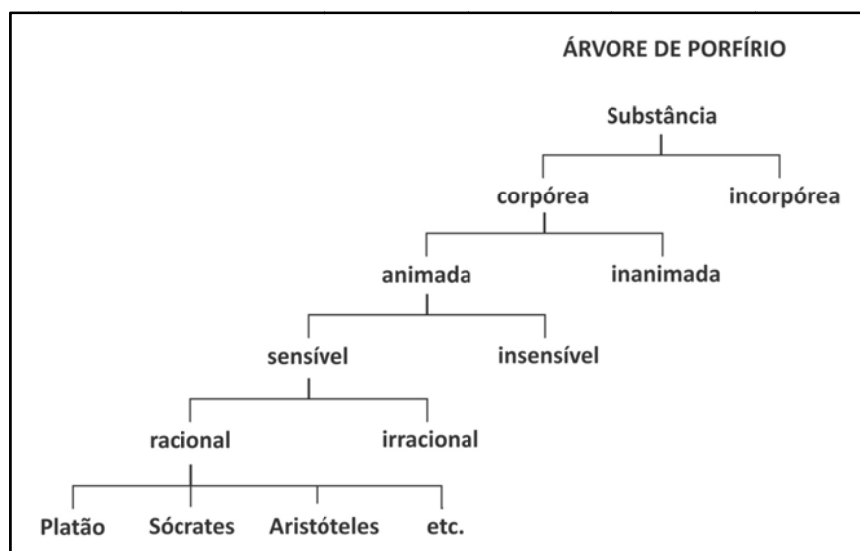


Figura 58: Árvore de Porfírio
Fonte: Adaptado de Piedade (1977)

AVES			
PELA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA	PELA ALIMENTAÇÃO	PELAS PARTES	PELAS ESPÉCIE
- Amazônia	- Alpiste	- Bico	- Canários
- Alasca	- Farelo	- Asa	- Pardais
- Patagônia	- Milho	- Plumagem	- Sabiás

Figura 59: Tabela de classificação de aves
Fonte: Adaptado de Piedade (1977)

2.3.3 Classificações Facetadas

Diferentemente das classificações enumerativas, a classificação facetada é analítico-sintética, possuindo uma estrutura multidimensional e flexível. Permite, portanto, diversas possibilidades de busca da mesma informação, oferecendo ao usuário uma variedade grande de estratégias de procura. Um sistema facetado reconhece muitos aspectos em um único assunto, e tenta sintetizá-los da maneira mais adequada. Ranganathan mostrou que o conhecimento pode ser multidimensional e que essas relações podem tomar rumos diferentes, dependendo da síntese entre vários conceitos múltiplos. Segundo sua teoria, qualquer atividade de sistematização de elementos (concretos ou abstratos) leva em consideração a adoção de princípios normativos ou leis, os quais são descritos a seguir (GOMES, MOTTA e CAMPOS, 2006):

- **Leis da Biblioteconomia:** os livros são para uso; para cada leitor o seu livro; para cada livro o seu leitor; poupe o tempo do leitor; a biblioteca é uma organização em crescimento.
- **Leis da Interpretação:** os conflitos que surgirem nos princípios e cânones durante o processo de classificação devem ser corrigidos à luz da experiência, de modo a remover antigos conflitos e reduzir os novos ao mínimo.
- **Lei da Imparcialidade:** Possibilita uma ordenação de classes com precedência, não de forma arbitrária. Exemplo: na sistematização do universo do conhecimento relativo à indústria do couro, a classe Pele deveria preceder a classe Couro, da qual decorre.
- **Lei da Simetria:** na simetria que possa vir a ocorrer com entidades, o mesmo tratamento deve ser dado a ambas.

- **Lei da Parcimônia:** quando ocorrer mais de uma alternativa para um dado fenômeno, deve ser usado um princípio de economia, ou seja, evitar a reclassificação, usando nota de orientação.
- **Lei de Variação Local:** estabelece alternativas de uso local e geral para um determinado fenômeno. Usada para o sistema notacional.
- **Lei de osmose:** refere-se à mudança em tabelas de classificação, alterando a ordem do acervo e dos catálogos.

Para auxiliar na elaboração de tabelas de classificação, Ranganathan propôs um método de três planos de trabalho: o plano das idéias, onde são encontrados os conceitos, o plano verbal, para que se pudessem expressar verbalmente os conceitos e o plano notacional, a fixação abstrata dos conceitos para possibilitar uma seqüência útil nas estantes. Para a construção de tesouros e taxonomias, são suficientes os cânones do plano das idéias, ou seja, os princípios para organização das classes, das subclasses e dos elementos no interior destas (cadeias e renques). Os cânones a seguir servem para a construção de uma taxonomia e foram organizados através de um quadro (Quadro 1), que visa fornecer uma visão abrangente dos mesmos (GOMES, MOTTA e CAMPOS, 2006):

Característica	Sucessão de características	Renque de classes	Cadeia de classes	Seqüência de filiação
Diferenciação	Concomitância	Exaustividade	Extensão decrescente	Classes subordinadas
Relevância	Sucessão relevante	Exclusividade	Modulação	Classes coordenadas
Verificabilidade	Sucessão consistente	Seqüência útil		
Permanência		Seqüência consistente		

Quadro 1: Cânones para o Trabalho no Plano das Idéias
Fonte: Novo (2007)

Os Cânones das Características representam o conteúdo de um assunto, de um tópico ou de uma idéia. Aplicam-se à classificação de qualquer universo de entidades e são destinados a produzir classes e subclasses. Os cânones incluídos na classe “Sucessão de Características”, devem visar à sucessão das grandes classes num universo de assunto. Já no conjunto de Cânones para Renques estão reunidos os princípios para a construção dos renques, que são classes de termos gerados a partir de uma única característica de divisão. Da mesma forma, os princípios para a construção das cadeias se encontram nos Cânones para

Cadeias, as quais são uma série vertical de classes (Instrumento musical > Instrumento de sopro > Flauta > Flauta doce). Por fim, no conjunto de Cânones relativos à Seqüência de Filiação estão os princípios para construção de uma hierarquia rígida e consistente (GOMES, MOTTA e CAMPOS, 2006).

Classificar é mapear e organizar a informação. E, segundo Ranganathan, é muito difícil colocar em uma linha reta milhões de idéias, considerando ainda as possíveis relações entre elas. A solução proposta por ele é um método de aprofundamento, que leva a um número cada vez menor de exemplos em qualquer universo de idéias. Neste aprofundamento deve-se chegar a um nível produtivo que funcione para fins de classificação.

Para Aristóteles, por exemplo, esse nível produtivo mínimo são as Categorias Fundamentais de uma classificação ou Predicáveis, as dez essências ou gêneros supremos de um determinado conhecimento (PIEDADE, 1977):

- Substância (homem, pedra, casa)
- Qualidade (azul, virtuoso)
- Quantidade (grande, comprido)
- Relação (mais pesado, escravo, Duplo, mais barulhento)
- Duração (ontem, 1970, de manhã)
- Lugar (aqui, Brasil, no pátio)
- Ação (correndo, cortando)
- Paixão/sofrimento (derrotado, cortado)
- Maneira de ser (saudável, febril)
- Posição (horizontal, sentado)

Ranganathan, por sua vez, chegou a cinco idéias gerais, cinco categorias, as mais genéricas possíveis e passíveis de se manifestarem de diversas formas, capazes de hospedar todos os objetos da natureza até então conhecidos pelo Homem, e de classificá-los de acordo com sua natureza conceitual, cada um em uma categoria. Após a utilização dos cânones para a organização das classes, subclasses, cadeias e renques, é necessário dar uma seqüência a estes conjuntos, reunindo-os em categorias. A próxima etapa é reunir as facetas segundo as cinco categorias fundamentais e, dentro destas, adotar princípios para a sua seqüência. As cinco categorias fundamentais, conhecidas pela sigla PMEST, estão expressas a seguir (GOMES, MOTTA e CAMPOS, 2006):

- **Personalidade (P):** distingue o assunto, mas nem sempre é de fácil identificação. Ranganathan, portanto, propõe o método do resíduo para identificar sua manifestação. Se não é "Tempo", se não é "Espaço", se não é "Energia" ou "Matéria", então é "Personalidade".
- **Matéria (M):** suas manifestações são de duas espécies - Material e Propriedade.
- **Energia (E):** sua manifestação é ação de uma espécie ou outra. A ação pode ser entre e por todas as espécies de entidade, inanimada, animada, conceitual, intelectual e intuitiva.
- **Espaço (S):** identifica o local onde o assunto acontece, existe ou o local de pertencimento de um dado objeto, seja ele indivíduo, coisa, idéia, fenômeno, entre outras entidades.
- **Tempo (T):** identifica quando o assunto ocorre, um período de tempo associado ao assunto ou mesmo qualidades meteorológicas.

O *Classification Research Group* (CRG), da Inglaterra, que data de 1952, do qual fazem parte D.J. Foskett, Barbara Kyle, B.C. Vickery, Derek Langridge, J.E. L. Farradane, Jack Mills e E. J. Coats, adotou o sistema de Ranganathan e desenvolveu estudos sobre a teoria da classificação facetada, desdobrando as categorias fundamentais (PMEST) da seguinte forma (NOVO, 2010):

- Coisas, Substâncias, Entidades
 - Que ocorrem naturalmente
 - Produtos
 - Instrumentos
 - Constructos mentais
- Suas partes
 - Constituintes
 - Órgãos
- Sistema de coisas
- Atributos de coisas
 - Qualidades, propriedades, incluindo
 - Estrutura
 - Medidas
 - Processo, comportamento

- Objeto da ação (paciente)
- Relações entre coisas, interações
 - Efeitos
 - Reações
- Operações sobre coisas
 - Experimentos, ensaios
 - Operações mentais
- Propriedades de atributos, relações e operações
- Lugar, condição
- Tempo

Com relação à característica ou princípio da classificação, pode ser definido como a qualidade ou o atributo escolhido para servir de base à classificação ou à divisão. Existem tantas classificações quantas forem as características possíveis de serem empregadas como base na divisão. A característica pode ser natural (inerente ou inseparável do objeto) ou artificial (ocasional, acidental ou variável). O emprego de uma característica deve ser consistente e exaustivo. Deve-se aplicar uma só característica de cada vez para subdividir todos os membros de uma classe, sem omissão de nenhum deles. A totalidade das subdivisões resultantes da aplicação de uma única característica constitui uma faceta. Ou seja, facetas são manifestações das categorias fundamentais em cada campo do conhecimento, reunindo conceitos que têm determinada característica em comum (PIEDADE, 1977).

2.3.4 Aplicações

Existem etapas para a elaboração de uma taxonomia, as quais são aplicadas à presente pesquisa, no capítulo seguinte de metodologia. Essas etapas podem sofrer variações, segundo os diversos autores que abordam o assunto, mas seguem uma seqüência lógica semelhante. Este tópico visa ilustrar algumas aplicações e metodologias para a criação de novas classificações e taxonomias. Como ponto de partida, é apresentada a metodologia proposta por Hildenise Novo (2007) para a geoquímica ambiental, que instrui a construção da taxonomia pelos princípios e procedimentos citados a seguir:

- **O método de raciocínio:** Para a organização dos conceitos dentro de um domínio, há dois métodos que conduzem o ato do raciocínio: o dedutivo e o indutivo, sendo ambos passíveis de aplicação para a construção de uma taxonomia. O método dedutivo

possibilita que se elaborem elementos de abstração, como categorias, para pensar primeiramente o domínio, independente dos elementos menores e suas relações. Ou, seja, é a partir das categorias que os elementos serão ordenados para formarem classes de conceitos (facetas) em um estrutura hierárquica. O método indutivo, por sua vez, parte dos elementos/objetos e suas relações, iniciando com uma descrição bastante específica dos mesmos e possibilitando a organização dos conceitos a partir da análise do próprio conceito e não do contexto em que ele está inserido. É possível ainda associar os dois métodos (indutivo e dedutivo) na construção de uma taxonomia, e foi esse “modelo híbrido” que a autora utilizou para a sua organização do conhecimento em geoquímica ambiental.

- **O objeto de representação:** é o conceito ou unidade mínima de representação. A análise conceitual possibilita o entendimento do conteúdo do conceito, mostrando que é possível descrever o objeto e suas propriedades. As formas essenciais de relações entre os conceitos para uma taxonomia são: relação categorial; relação hierárquica e relação partitiva. Para identificar os conceitos, Hildenise, partiu para uma análise conceitual das palavras-chave apresentadas na amostra do seu trabalho de pesquisa:
 - Identificação das palavras-chave na amostra levantada: O levantamento da amostra é resultado de uma coleta de informações, para que através delas sejam identificadas as palavras-chave determinadas pelos autores. Exemplo: 27 teses de doutorado, as quais continham 152 palavras-chave. Após um corte necessário de palavras que se repetiam, chegou-se a um total de 123 palavras-chave. Essa amostra serviu como base para a identificação dos conceitos.
 - Levantamento dos conceitos: para as 123 palavras-chave foram encontrados 134 conceitos, visto que algumas delas possuíam mais de um conceito.
 - Determinação das fontes para definição e apresentação da definição dos conceitos: para a escolha das fontes que serviram de base para a definição dos conceitos, foram consultados pesquisadores, que indicam glossários e dicionários técnicos da área em questão. Quando, nas fontes consultadas, não se encontraram as definições, utilizamos as definições do próprio autor da tese, pois pode ser um termo “novo”. A metodologia utilizada no levantamento das definições possibilitou a escolha de mais de uma definição para um dado conceito. A definição do conceito não é diretamente inserida em uma taxonomia, mas para que se possa classificar o conceito é necessário o

entendimento do seu conteúdo conceitual, o que determinará o entendimento do contexto onde esteja inserido.

- **Relação entre conceitos:** as relações em uma taxonomia são do tipo categorial, hierárquica e partitiva.
 - Classificação dos conceitos em categorias: a relação categorial, cujo objetivo é relacionar os conceitos às suas categorias formais, utilizando-se como base o sistema PMEST de Ranganathan e as orientações do CRG. Baseados nas relações categoriais, os conceitos foram agrupados e estruturados, conformando as bases da taxonomia. Em um primeiro momento, foram separados os temas por categorias e posteriormente foram definidas as facetas.
 - Organização dos conceitos e suas relações: estabelecimento de relações hierárquicas e partitivas. Para trabalhar com essas relações e construir as cadeias (séries verticais) e renques (séries horizontais) da taxonomia, foram seguidos os princípios estabelecidos por Ranganathan no plano das idéias: diferenciação, relevância, concomitância, verificação, exaustividade, exclusividade e extensão decrescente. Foi, então, estabelecida uma ordem para as classes, que partisse do aspecto simples para o complexo, preservando a constituição de cada conceito.

- **Definição da forma gráfica de representação:** Para expressar graficamente a taxonomia, foi realizado um mapa conceitual, cujo objetivo é demonstrar a estrutura construída, considerando as relações hierárquicas e partitivas, possíveis de serem visualizadas a partir das facetas, renques e cadeias.

Não contraditória, porém complementar, é a metodologia proposta por Piedade (1977), que compila os principais pontos para a elaboração de um sistema de classificação facetado em 11 passos:

- Definir e delimitar os assuntos centrais/núcleo (diretamente relacionados com o tema da classificação) e delimitar os assuntos marginais (temas de outras disciplinas que interessam) a serem classificados;
- Examinar a literatura do assunto, a fim de identificar a terminologia e estabelecer as características e as facetas que apresenta;

- Examinando a literatura especializada, seleciona-se a terminologia do assunto e definem-se os termos encontrados;
- À luz das definições, distribuem-se os termos pelas categorias;
- Em seguida, os termos de cada categoria serão agrupados, conforme suas relações recíprocas, para construir facetas;
- Estabelecidas as facetas, é necessário decidir a ordem em que aparecerão no sistema de classificação. Ordenar as facetas de cada categoria. Seguir a ordem de dependência;
- Estabelecida a ordem de citação das facetas, procede-se a ordenação dos focos (componentes das facetas). Pode-se seguir a ordem alfabética;
- A fim de obter uma tabela que parta do geral para o específico, invertem-se todas as facetas (mas não é alterada a ordem dos focos), isto é, a última faceta passa para primeiro lugar, a penúltima ao segundo e assim sucessivamente (princípio da inversão);
- Escolha e atribuição de uma notação;
- Determinação da ordem de citação e ordem de intercalação;
- Compilação do índice.

2.3.5 Algumas sistematizações biomiméticas

Os sistemas de classificação são inúmeros e por isso se faz tão importante identificar claramente a delimitação da área do conhecimento, assim como o objetivo final da classificação. Com relação ao tema dos princípios da natureza, há algumas fontes interessantes, como, por exemplo, um artigo escrito por Helm, Vattan e Goel (2009), que expõe como resultado do trabalho com as equipes de projeto em sala de aula, alguns quadros de organização, com um processo de seis passos:

- Definição do problema;
- Reequadramento do problema;
- Busca pela solução biológica;
- Definição da solução biológica;

- Extração do princípio;
- Aplicação do princípio.

Na terceira etapa, os autores propuseram quatro estratégias ou técnicas que auxiliam na identificação de soluções biológicas relevantes para um determinado problema. Os itens a seguir indicam quais são estas estratégias (HELMS, VATTAM e GOEL, 2009):

- **Alterar (expandir) restrições:** a partir de uma especificação, ampliar o leque;
- **Descobrir quais são os vencedores:** os que resistem às situações mais extremas;
- **Variação dentro de uma família de solução:** observar as pequenas diferenças e identificar as correlações entre as diferentes soluções encontradas;
- **Multifuncionalidade:** encontrar organismos que possuam uma única solução que resolva múltiplos problemas simultaneamente.

Segundo os autores Mak e Shu (2004), embora os fenômenos biológicos tenham sido utilizados desde sempre como inspiração para a concepção, eles não tem sido sistematicamente utilizados a partir de um projeto de necessidades. Um método generalizado é necessário para identificar o uso dos fenômenos biológicos relevantes para um determinado problema de engenharia de forma objetiva.

O artigo *Abstraction of Biological Analogies for Design*, dos mesmos autores, descreve os esforços para determinar os fatores que afetam a extração de analogias relevantes para aplicar a um problema de engenharia. O estudo utiliza uma ferramenta de busca biomimética já desenvolvida, que identifica os fenômenos relevantes, localizando em linguagem natural o conhecimento biológico, as ocorrências de palavras-chave descrevendo problemas de engenharia. Apesar de algumas dificuldades, essa ferramenta não necessita do tremendo trabalho de categorização de todos os fenômenos biológicos por função de engenharia. Essa fonte inicial de informações biológicas está no livro *Vida: a Ciência da Biologia*, dos autores Sadava, Heller, Orians, Purves e Hillis. O método pode ser entendido através das etapas a seguir (MAK e SHU, 2004):

- Definição do problema;
- Definição de palavras-chave funcionais que possam ser buscadas analogias;
- Uso da ferramenta de pesquisa biomimética para identificar possíveis fenômenos os quais correspondam às palavras-chave funcionais definidas;

- Os resultados são filtrados. São selecionados os mais relevantes para o problema em questão;
- De cada resultado selecionado (de cada fenômeno biológico) se desenvolve um conceito de engenharia.

É importante diferenciar uma correspondência analógica, que simplesmente relata a existência e conhecimento do fenômeno análogo, de uma transposição análoga, necessária para o desenvolvimento de um conceito em engenharia, baseado em um fenômeno biológico, que é o foco da biomimética. Uma das dificuldades da biomimética é essa extração de analogias relevantes do fenômeno biológico, que possam ser livremente aplicadas aos problemas de projeto na área do design. As descrições do fenômeno biológico apresentadas neste estudo podem ser classificadas em três categorias, que se organizam hierarquicamente como demonstra a Figura 60 (MAK e SHU, 2004):

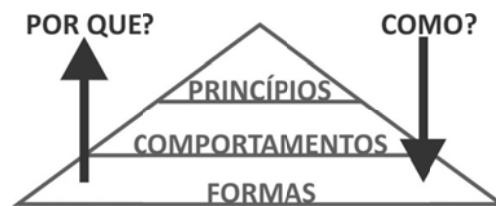


Figura 60: Natureza das descrições do fenômeno biológico (hierarquia abstrata)
Fonte: Mak&Shu (2004)

- **Forma:** descrições que apresentam apenas referência a formas biológicas, sem entrar no mérito do por que essa forma existe ou como ela funciona. A descrição identifica que ação é feita e quem está realizando a ação;
- **Comportamento:** descrições que apresentam formas biológicas e os seus correspondentes processos. A mesma descrição identifica que ação é feita, quem está realizando a ação e como está sendo realizada a ação;
- **Princípio:** fenômeno que apresenta os princípios subjacentes. Em geral, a descrição de um princípio inclui as razões pelas quais um fenômeno acontece na natureza.

Quatro tipos de relações de similaridade são observadas entre os conceitos gerados e os fenômenos biológicos apresentados. São elas (MAK e SHU, 2004):

- **Implementação literal:** a estratégia implementada é a mesma apresentada, porém os mesmos agentes biológicos do fenômeno de referência foram utilizados no conceito gerado, sem abstração;
- **Transferência Biológica:** não implementa a estratégia apresentada, porém transfere o agente biológico do fenômeno para outra estratégia;
- **Analogia:** implementa o princípio estratégico derivado do fenômeno apresentado, porém não transfere o agente biológico;
- **Anomalia:** aparentemente não há nenhuma similaridade com o fenômeno biológico.

Chega-se à conclusão de que descrições orientadas pela forma resultam em implementações mais literais do fenômeno biológico, enquanto descrições orientadas por princípios resultam em semelhança de estratégias. As descrições orientadas por comportamento, por sua vez, também podem resultar em boas semelhanças de estratégia de solução. A Figura 61 e a Figura 62 ilustram as relações descritas acima. O potencial do design biomimético é pleno quando é possível abstrair a estratégia usada em um fenômeno biológico e implementá-la de um modo não condicionado ao literal (MAK e SHU, 2004).

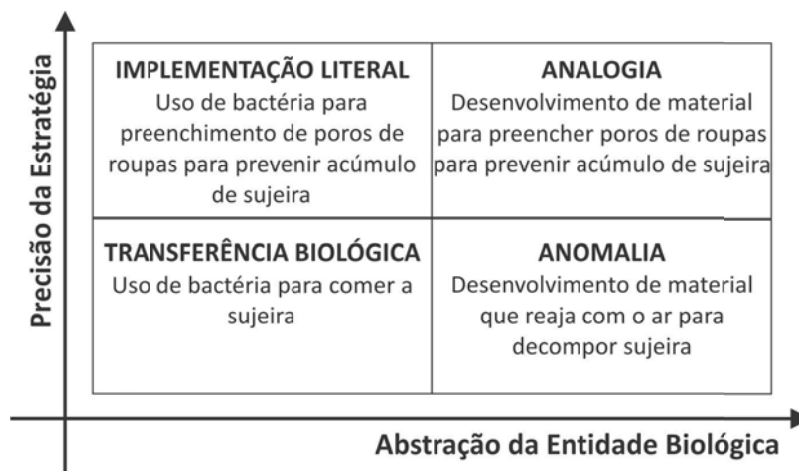


Figura 61: Tipos de similaridade (gráfico)
 Fonte: adaptado de Mak&Shu (2004)



Figura 62: Tipos de similaridade (esquema)
 Fonte: adaptado de Mak&Shu (2004)

3. METODOLOGIA DE INTERVENÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é descrever os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento do trabalho sobre a criação da taxonomia dos princípios naturais de solução, de forma a facilitar a geração de alternativas durante a fase conceitual do projeto de produtos. Esta etapa está embasada na fundamentação teórica, desenvolvida no capítulo anterior, na qual são apresentadas as ferramentas necessárias para alcançar os objetivos da pesquisa.

A fundamentação teórica abordou, primeiramente, as características do processo criativo dentro do projeto do produto, levantando necessidades e possibilidades de otimização da geração de alternativas durante a fase conceitual do projeto. A revisão realizada nesta área do conhecimento foi importante para compreender o contexto de atuação da pesquisa em questão, de forma que seja possível uma intervenção mais eficiente e relevante. A taxonomia dos princípios naturais de solução pretendida deve atuar de forma direta junto aos métodos criativos, abrindo mais um caminho na busca de concepções para o produto.

O segundo tópico abordado pela fundamentação teórica diz respeito aos princípios de solução da natureza, desde suas formações matemático-geométricas até os preceitos biomiméticos, que reconhecem na natureza uma inesgotável fonte de inspiração para as criações humanas. A partir da bibliografia estudada, foi possível identificar princípios naturais de solução já reconhecidos como padrões existentes, muitos dos quais foram analisados quanto a sua aplicabilidade em processos de desenvolvimento de produtos. Essa avaliação dos padrões matemáticos naturais e dos princípios da biomimética aplicados ao produto ocorreu a partir da análise funcional e formal dos mesmos, buscando as relações existentes.

O terceiro e último tema tratado fundamentação teórica deste trabalho foi a teoria da classificação, a partir da qual foi possível compreender os diferentes tipos de organização do conhecimento e suas aplicações práticas. Foi também investigado o conceito de taxonomia, que se configura como uma classificação de idéias ordenadas hierarquicamente para a representação de um assunto. Dentre os sistemas estudados, o que se demonstrou mais apropriado para aplicação na metodologia desta pesquisa foi a taxonomia facetada, tendo em vista a necessidade da formulação das categorias do sistema classificatório e a multiplicidade

de abordagens possíveis sobre o mesmo objeto de estudo (princípios de solução da natureza). Desta forma, foi necessário compreender os componentes de uma taxonomia facetadas e todas as etapas para a sua construção, o que será aplicado no presente capítulo para a elaboração da taxonomia dos princípios naturais de solução.

A partir das considerações levantadas na fundamentação teórica, esta pesquisa pode assim ser classificada:

- Quanto à natureza, como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar resultado de aplicação prática, ou seja, uma proposta de taxonomia dos princípios naturais que se transforme em ferramenta aplicada ao processo de projeto de produto;
- Quanto à abordagem do problema, como pesquisa qualitativa, visto que o conhecimento apreendido é aplicado a partir das bases teóricas e metodológicas relacionadas à organização do conhecimento, não podendo ser mensurado quantitativamente;
- Quanto aos processos técnicos, como pesquisa bibliográfica, pois utilizou, como fonte de consulta, material publicado.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A TAXONOMIA

Os procedimentos descritos para o projeto e desenvolvimento da taxonomia dos princípios naturais de solução têm como base as diretrizes de elaboração de uma classificação facetada descritas pelas autoras Piedade (1977) e Novo (2007). Seguindo os passos expostos pelas mesmas autoras e adaptando alguns pontos às necessidades da área de conhecimento em questão, foi possível chegar às principais etapas para o desenvolvimento da taxonomia:

- Definir e delimitar os assuntos centrais e secundários a serem classificados, levando em consideração as possíveis relações entre os mesmos;
- Examinar a literatura do assunto, a fim de identificar a terminologia utilizada, de onde será extraída a amostra para posterior desenvolvimento da classificação;
- Em base a amostra recolhida, selecionar os elementos relevantes e defini-los conceitualmente;

- À luz das definições, distribuir os elementos nas categorias básicas (PMEST);
- Desenvolver e adaptar as categorias básicas para que se tornem as facetas organizadoras da classificação;
- Estabelecidas as facetas, é necessário encontrar os seus subgrupos ou subfacetas. Para tanto, é necessário filtrar e reorganizar a amostra, segundo os critérios das facetas construídas na etapa anterior;
- A partir da reorganização da amostra, devem-se agrupar os elementos semelhantes em cada grupo, para chegar-se a definição das subfacetas da classificação;
- Estabelecidas as subfacetas, devem-se ordenar hierarquicamente as mesmas, assim como identificar a existência de outros subgrupos.

4. ELABORAÇÃO DA TAXONOMIA

A partir das bases teóricas, de fontes bibliográficas, e da metodologia exposta nos tópicos anteriores, procede-se a elaboração da taxonomia propriamente dita, seguindo oito etapas.

4.1 PRIMEIRA ETAPA: DEFINIÇÃO DO TEMA

Os princípios de solução da natureza são o assunto central definido para a classificação e a delimitação é fornecida pelas relações que estes princípios têm com a área do design, ou seja, a área de integração entre essas duas áreas do conhecimento. Com base na fundamentação teórica, é possível identificar os aspectos funcionais como ponto de encontro e complementação entre os princípios de solução para o produto e os princípios de solução da natureza.

Seguindo essa linha de raciocínio, os princípios naturais devem ser organizados segundo as funções que exercem, pois é através delas que o designer vai buscar referências para o projeto de produto. Sendo assim, o critério “Função” é orientador da organização da informação dentro da taxonomia (Figura 63). É importante lembrar que “Função”, segundo Rozenfeld *et al.* (2006), é a união de um verbo com um substantivo, ou seja, uma ação e um objeto que sofre a ação.

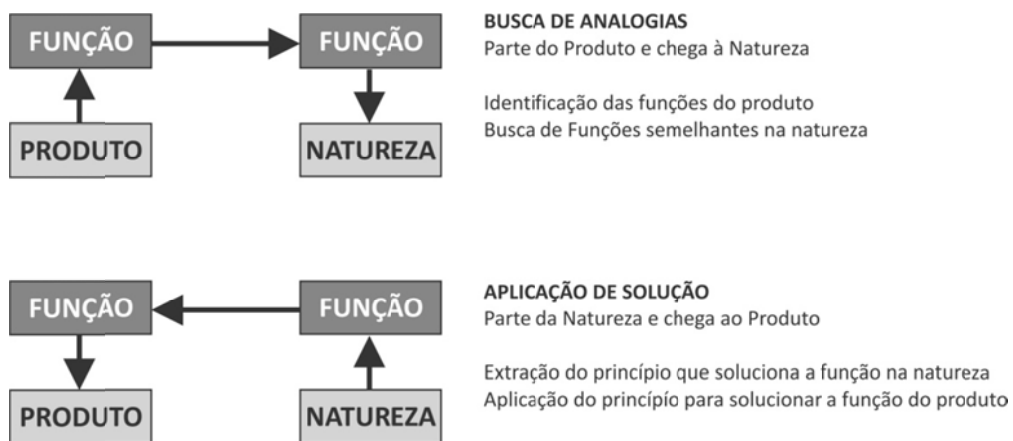


Figura 63: Analogia entre funções do produto e da natureza.
Fonte: a autora

4.2 SEGUNDA ETAPA: SELEÇÃO DE AMOSTRA

A partir da realização da pesquisa bibliográfica na área da biologia, do design e fundamentalmente na área da biomimética, foi possível identificar uma obra de referência na área, citada por Mak e Shu (2004) como fonte de busca de informações biológicas para possível aplicação nos projetos biomiméticos. Essa obra, que já está em sua oitava edição, intitula-se *Vida: a Ciência da Biologia* e foi desenvolvida por uma equipe de biólogos (Craig Heller, Gordon Orians, Bill Purves, David Sadava e David Hillis). O livro ilustra e explica com profundidade uma infinita gama de princípios de solução da natureza, desde a estrutura funcional das células até os sistemas complexos dos mamíferos. Com base no seu extenso glossário, localizado no terceiro volume da obra, são retirados os conceitos de alguns princípios, gerando a amostra necessária para dar continuidade à elaboração da taxonomia. A amostra pode ser consultada no apêndice 04.

4.3 TERCEIRA ETAPA: ANÁLISE DA AMOSTRA

Depois de extraída a amostra dos princípios naturais de solução, presentes na obra *Vida: a ciência da Biologia*, é realizada a seleção dos termos relevantes. Não são considerados relevantes elementos tais como preposições, conjunções, pronomes, entre outros. O exemplo a seguir ilustra esse procedimento, passo a passo (Figura 64). Ao todo, foram identificados 336 termos relevantes, os quais estão organizados em forma de lista. Por sua grande extensão, essa lista está colocada no apêndice 07.

Amostragem:		Listagem dos termos selecionados:	
microtúbulos	estruturas tubulares encontradas nos centríolos, cílios, flagelos, etc. Esses túbulos têm a função de locomoção e manutenção da forma das células eucariontes.	Microtúbulos	
		Estruturas tubulares	
		Encontrar	
		Centríolos	
		Cílios	
		Flagelo	
		Túbulos	
		Locomoção	
		Mantenimento da forma	
		Células eucariontes	
Seleção dos termos relevantes:			
microtúbulos	<u>estruturas tubulares encontradas nos centríolos, cílios, flagelos, etc. Esses túbulos têm a função de locomoção e manutenção da forma das células eucariontes.</u>		

Figura 64: Seleção dos termos relevante da amostra
Fonte: a autora

4.4 QUARTA ETAPA: ORGANIZAÇÃO DOS ELEMENTOS

A etapa que segue é o agrupamento dos termos selecionados por critério de semelhança e sua organização segundo categorias gerais. O mais difícil, nesta etapa, é definir quais as categorias orientadoras da organização, visto que devem ser aplicáveis a todos os elementos. As classificações facetadas propostas por Ranganathan trabalham sobre cinco categorias fundamentais para a organização do conhecimento: Personalidade, Matéria, Energia, Espaço e Tempo. Foram essas as categorias escolhidas para iniciar a organização dos elementos da amostra.

Essas categorias servem de base, porém precisam ser adaptadas às necessidades do trabalho em questão. Desta forma, é possível agrupar os termos da amostra em quatro grandes partes, considerando integradas as categorias “Personalidade” e “Matéria”, visto a dificuldade de desassociação das duas características em alguns termos encontrados. O processo de identificação da categoria correspondente a cada termo foi guiado por algumas questões (Quadro 2). Se o elemento responde à pergunta “quando?” ou faz referência a aspectos climáticos, fica classificado dentro da categoria “TEMPO”. Caso o termo em questão responda à pergunta “onde ocorre o fenômeno? Em que meio?” então esse termo deve ser enquadrado na categoria “MEIO/ESPAÇO”. Quando o elemento é algum material, algum objeto (vivo ou não-vivo), ou ainda uma propriedade de um objeto, pode ser classificado dentro de “PERSONALIDADE/MATÉRIA”. E, por último, se o termo corresponde a uma ação ou fenômeno (geralmente um verbo) pertencerá ao grupo “ENERGIA”. Esta primeira categorização da amostra, considerando a identificação de cada termo em um dos quatro grupos, pode ser encontrada no apêndice 06.

PERSONALIDADE/MATÉRIA	É material, objeto ou propriedade de algum objeto?
ENERGIA	É ação ou fenômeno?
MEIO/ESPAÇO	É relativo ao local ou meio onde ocorre?
TEMPO	É relativo ao tempo no sentido de duração ou meteorologia?

Quadro 2: Os quatro grupos de classificação dos elementos da amostra
Fonte: a autora

4.5 QUINTA ETAPA: ADAPTAÇÃO DAS CATEGORIAS

Nesta etapa, ocorre o aprofundamento e desenvolvimento das categorias fundamentais, de forma que assumam o papel de organizadoras do conhecimento dos princípios de solução da natureza aplicados ao design. Para que a taxonomia cumpra o seu propósito de servir como ferramenta para o designer durante a fase conceitual do projeto de produto, são necessárias algumas adaptações.

Dentro do grupo “Personalidade/Matéria” é possível identificar elementos de duas naturezas diferentes: objetos que sofrem a ação e objetos que realizam a ação. Considerando que, para o designer, é fundamental a identificação do portador/executor da ação, em razão de seu envolvimento direto na concepção do princípio de solução, foi delimitada a faceta “Portador do Efeito”. A outra faceta é concebida com base no que sofre/recebe a ação, sendo chamada de “Objeto da Ação”.

O grupo “Energia” pode também ser dividido a partir de duas características. No caso do elemento representar uma ação direta, como verbo, será enquadrado na faceta “Ação”. Porém, se o elemento for considerado um fenômeno ou efeito físico, será classificado dentro da faceta “Efeito Físico”. Com relação à categoria “Tempo” não foram encontrados termos significativos geradores de facetas. Sem agrupamentos relevantes dentro desta categoria, ela mantém-se como “Tempo”, o que deve mudar à medida que são aprofundados os estudos nesta área, possibilitando o aprimoramento da estrutura de taxonomia aqui proposta.

O desenvolvimento das categorias originais, baseados no PMEST, e os seus desdobramentos nas facetas finais, descritas acima, são realizados para definir os principais critérios de organização do conhecimento da natureza (princípios de solução) voltados à aplicação no design. Esta transformação está sintetizada no esquema da Figura 65.



Figura 65: Esquema de adaptação das facetas da classificação
Fonte: a autora

É importante, ainda nesta etapa, conceituar cada uma das categorias, para que fiquem claros os critérios de enquadramento dos termos dentro das diferentes categorias:

- **Ação:** Os elementos enquadrados nesta faceta correspondem aos atos que determinados princípios de solução exercem sobre alguns objetos. Pela união das facetas Ação e Objeto da Ação são identificadas as funções possíveis de serem cumpridas por um determinado princípio de solução. Os elementos que compõem essa faceta são expressos, geralmente, através de verbos. Alguns exemplos são *absorver*, *consumir*, *encaixar*, *misturar*, *extrair*, entre outros.

- **Objeto da Ação:** Nesta faceta são classificadas as substâncias ou objetos que estão sofrendo a ação de determinado princípio de solução. São geralmente substantivos, tais como *água, planta, fungo, células, raiz e luz*.
- **Portador do Efeito:** Nesta categoria, são colocados os sujeitos da ação, aqueles dispositivos que, junto com o efeito físico, configuram o princípio de solução. Também são, em sua maioria, substantivos. Alguns exemplos são *microvilosidades, sulcos, flagelos, pecíolo e estômato*.
- **Efeito Físico:** Juntamente com a faceta Ação, é uma derivação da categoria original denominada Energia, porém a diferença consiste em que o Efeito Físico é o princípio de solução para o problema levantado pela Ação. Ou seja, para cada função necessária a um produto, é possível identificar mais de um efeito físico correspondente para solucioná-la. São exemplos de termos classificados nesta categoria *oxidação, filtração, congelamento, flexão e transpiração*.
- **Meio/Espaço:** Essa faceta identifica o meio onde ocorre o fenômeno em questão, seja ele um ambiente físico ou uma condição meteorológica. Como exemplo, é possível encontrar *oceano, barro, citoplasma, xilema, superfície terrestre*, entre outros.
- **Tempo:** Essa faceta identifica a duração ou o momento específico em que determinada ação se realiza. Alguns exemplos são: *ao longo de, devagar, estágio, duração e hora*.

4.6 SEXTA ETAPA: REORGANIZAÇÃO DOS ELEMENTOS

Esta etapa tem o objetivo de definir os subgrupos ou facetas da classificação, agrupando os elementos por critério de semelhança. Com base nas categorias definidas na etapa anterior, é possível refazer a amostra proveniente da obra *Vida: a Ciência da Biologia*. Desta vez, a amostra é menor, porém realizada em maior profundidade. É necessária uma análise de cada princípio de solução da natureza, buscando extrair dele a Ação, o Objeto da Ação, o Portador do Efeito, o Efeito Físico, o Meio/Espaço e o Tempo. Ou seja, um dado Portador, por um determinado Efeito Físico, realiza uma Ação específica sobre tal Objeto, em determinado Meio/Espaço durante certo período de Tempo.

Desta forma, é possível criar um quadro (Quadro 3) que contém os pormenores extraídos de cada princípio biológico, ordenados segundo as categorias anteriormente definidas. Para facilitar a busca daquele que tiver interesse em se aprofundar em determinado

princípio de solução, é acrescentada neste quadro uma coluna com exemplos de ocorrência dos fenômenos abordados, assim como o número da página do livro *Vida: a Ciência da Biologia* que contém o fenômeno. Em função da pequena quantidade de termos para a categoria Tempo, esta não foi incluída no quadro.

A título de exemplo, a leitura das informações do quadro deve ser feita da seguinte forma: O primeiro princípio de solução da lista se refere ao dispositivo (portador do efeito) *fendas*, o qual, através do efeito de *filtração*, realiza a função de *ingestão* de *presas*, em meio *aquoso*. Este princípio de solução está presente nas *fendas faríngeas dos cordados* e pode ser analisado mais detalhadamente na página 722 do livro acima citado.

Através desta leitura são extraídas as informações mais importantes para o entendimento do princípio de solução e sua conseqüente utilização no projeto do produto. O quadro completo das informações da amostra encontra-se no apêndice 07.

BANCO DE DADOS INICIAL (DADOS DA AMOSTRA)						
FUNÇÃO		MEIO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO		DETALHAMENTO	
AÇÃO	OBJETO DA AÇÃO	MEIO/ESPAÇO	PORTADOR DO EFEITO	EFEITO FÍSICO	EXEMPLO	PG
Ingestão	presas	água	fendas	filtração	fendas faríngeas dos cordados	722
selecionar	sólido	mistura lamacenta	bico serrado	filtração	bico serrado dos flamingos	677
capturação	pequenas partículas	marinho	poros + canais	filtração	esponjas	677
Deslocamento	água	marinho	flagelos	batimentos	flagelos dos coanócitos das esponjas	677
ingestão	minúsculos organismos	marinho	placas com longos pêlos (semelhantes a pentes)	filtração	baleias azuis	676
Divisão	rocha	indeterminado	água, ácido carbônico	hidrólise	Rochas	922
Divisão	rocha	indeterminado	oxigênio, ácido carbônico	oxidação	Rochas	922
Divisão	rocha	aéreo	agente de secagem	dessecação	Rochas	922
Divisão	rocha	aéreo	agente resfriador	congelamento	Rochas	922
Divisão	genoma ou cromossomo	celular	enzimas (endonuclease) de restrição	por isolamento e quebra em fragmentos	biblioteca gênica	362

Quadro 3: Trecho da amostra dos princípios de solução na natureza
Fonte: a autora

4.7 SÉTIMA ETAPA: DEFINIÇÃO DAS SUBFACETAS

A partir da tabela realizada na etapa anterior é possível agrupar os termos semelhantes dentro de cada faceta, com o objetivo de encontrar as subfacetas. Essas subfacetas são criadas considerando-se a relevância simultânea para o conhecimento da natureza (de onde provém) e para a área do design (onde será aplicada). Ou seja, as subfacetas identificadas precisam ser como pontos de conexão que unem essas duas áreas do saber, pois é através delas que o designer poderá buscar as analogias biomiméticas e encontrar possíveis soluções de projeto, conforme indica a Figura 66:

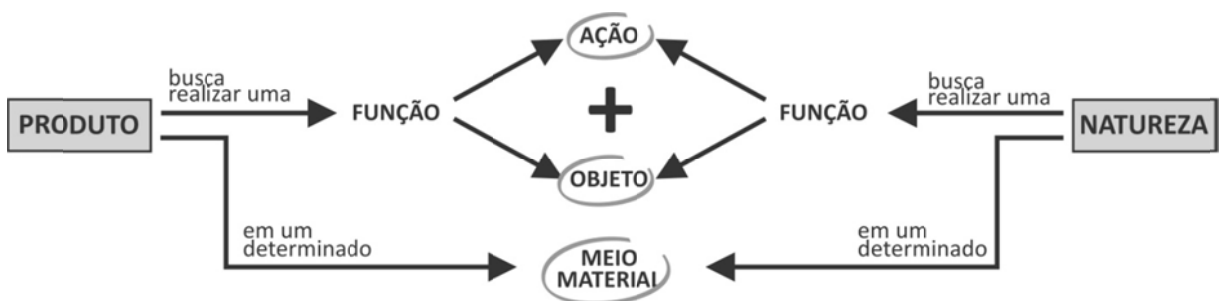


Figura 66: Esquema de identificação das inter-relações entre o produto e a natureza
Fonte: a autora

Seguindo as diretrizes expostas acima, os elementos são agrupados em cada faceta segundo o critério de semelhança. Para fortalecer as características dos subgrupos, são acrescentados alguns termos que não fazem parte da amostra original deste trabalho. A faceta Ação está complementada pelas 24 funções elementares de Koller, apresentadas anteriormente no tópico 2.1.2.1, a respeito da modelagem funcional, dentro da revisão bibliográfica sobre o processo de desenvolvimento de produtos. Os quadros a seguir identificam a categorização de cada elemento nas subfacetas (Quadro 4, Quadro 5, Quadro 6, Quadro 7 e Quadro 8).

FACETA	AÇÃO
SUBFACETAS	Acumular: carregar, armazenar, depositar, encher, abastecer, acrescentar, gravar, registrar
	Absorver: reter, amortecer, receber, capturar, ingerir
	Emitir: abastecer, alimentar, fornecer, prover, suprir
	Desacumular: consumir, extrair, gastar, vazar, descarregar, perder, usar
	Dispersar: borrifar, espalhar, decompor, distribuir, desagregar
	Agrupar: reunir, agrupar, unir, aglomerar, amontoar, encaixar, incluir, juntar, somar
	Misturar: combinar, mesclar, misturar
	Ligar: abrir, acoplar, conectar
	Dividir: cortar, romper, bifurcar, derivar, desintegrar, desmontar, fracionar, ramificar, repartir
	Isolar: barrar, bloquear, cobrir, impedir, proteger
	Interromper: desligar, fechar, cortar, desatar, obstruir
	Selecionar: classificar, decantar, decompor, depurar, destilar, extrair, filtrar, peneirar
	Transmitir: transferir, transportar
	Guiar: passar, conduzir, impulsionar, levar
	Oscilar: mudar a direção, agitar, alternar, balançar, embalar, sacudir, alterar
	Conversão: alterar, condensar, congelar, derreter, evaporar, fundir, liquefazer, modificar
	Reduzir: restringir, atrasar, baixar, contrair, descer, diminuir, encolher, minguar
	Ampliar: acelerar, acrescentar, aquecer, aumentar, dilatar, distender, elevar, encher, erguer, estufar, inflar, levantar, crescer
Moldar: aplainar, plasticidade, retificar, alisar, alterar, esticar	
Reproduzir: copiar, reproduzir, repetir	
Estruturar: sustentar, construir, estruturar	
Equilibrar: estabilizar, equilibrar	

Quadro 4: Organização da amostra nos subgrupos da faceta Ação
Fonte: a autora

FACETA	OBJETO DA AÇÃO
SUBFACETAS	Objeto Sólido: plantas, fungos, corpo humano, corpo do peixe, rocha, minerais, estômato, presas, pequenas partículas, minúsculos organismos, vasos sanguíneos, tecido externo das plantas, corpo da planta, vegetais, membros do corpo, células, tecidos, glóbulos brancos, glóbulos vermelhos, plaquetas, raiz
	Objeto Líquido: água, plasma
	Objeto Gasoso: gás carbônico, oxigênio
	Objeto Eletromagnético: radiação, calor, luz, elétrons, íons, eletricidade, estímulos nervosos, canais iônicos, energia química, energia luminosa, energia da vegetação
	Indeterminado: proteínas, sacarose, prótons, neurotransmissores, pequenas moléculas, genoma/cromossomo, substância moleculares, nutrientes

Quadro 5: Organização da amostra nos subgrupos da faceta Objeto da Ação
Fonte: a autora

FACETA	MEIO/ESPAÇO
SUBFACETAS	Meio Gasoso: no ar à luz do dia, no ar à noite, aéreo, atmosfera
	Meio Líquido: água, sistema vascular, xilema, floema, citoplasma, marinho, oceanos, aquoso, águas doces, sangue
	Meio Sólido: mistura lamacenta, membrana plasmática, celular, ambiente terrestre, pântano, deserto, barro, areia
	Meio Eletromagnético: sistema nervoso
	Meio Indeterminado: dentro das plantas, indeterminado, sob a lei da gravidade, intercelular
	Orientação no Espaço: em cima, embaixo, ao lado, dentro, fora

Quadro 6: Organização da amostra nos subgrupos da faceta Meio Espaço

Fonte: a autora

FACETA	EFEITO FÍSICO
SUBFACETAS	Efeito Químico: reação de hidrólise, oxidação, ligação a facilitadores de passagem, por concentração de solutos, por difusão, por alteração na composição sanguínea, secreção de revestimento ceroso, penetração por difusão
	Efeito Mecânico: por filtração, por penetração, formação de canais, brotamento de vesículas (pacotes), por flexão/curvatura, por fissão, por brotamento, por carregamento de sacos, afrouxamento e extensão dos limites, enrijecimento de células, criação de invólucro protetor
	Efeito Físico: dessecação, congelamento, reação de condensação, degradação, por fusão de membrana, sob a lei da gravidade, variação de pressão, produção de esporos, por alteração na pressão sanguínea, por transpiração
	Efeito Eletromagnético: compatibilidade da molécula com os comprimentos de onda do espectro eletromagnético incidido

Quadro 7: Organização da amostra nos subgrupos da faceta Efeito Físico

Fonte: a autora

FACETA	PORTADOR DO EFEITO
SUBFACETAS	Reagentes Químicos: barorreceptor, quimiorreceptor, endonucleases (enzimas de restrição), pigmentos acessórios, proteínas carreadoras, células dreno, células guarda, células fonte, fotoreceptor, bombas sódio-potássio, molécula, água, oxigênio
	Mecanismos de Superfície: sulcos, saliências, microvilosidades, apoplasto, membrana, poros, fendas, bicamada fosfolipídica, canais semicirculares, malha contínua da parede celular, epiderme de folhas e caules, sistema fundamental, sistema dérmico
	Mecanismos de Junção: pecíolo
	Apêndices: flagelos, asco (sacos microscópicos), esporângios
	Organelas: órgão reprodutores, complexo de golgi, aparelho vestibular, sementes, aparelhos peneiradores, estômato, traqueídeo, botões gustativos
	Agentes Físicos: agente de secagem, agente resfriador
	Agentes Eletromagnéticos: nervos simpáticos e parassimpáticos

Quadro 8: Organização da amostra nos subgrupos da faceta Portador do Efeito

Fonte: a autora

4.8 OITAVA ETAPA: HIERARQUIZAÇÃO DOS ELEMENTOS

Depois de criadas as subfacetas, é necessário um processo de ordenação e hierarquização das mesmas, configurando, por fim, a taxonomia dos princípios de solução da natureza. Faz parte desta fase a conceituação de cada subfaceta, identificando o critério de organização dos elementos dentro das mesmas. A taxonomia está organizada segundo os esquemas indicados na Figura 67. Com base nas subfacetas e categorias da taxonomia, é também realizada uma intervenção sobre o banco de dados dos princípios de solução da natureza, agrupando os termos nos seus grupos correspondentes, o que será útil posteriormente para a configuração da ferramenta de pesquisa (apêndice 08).

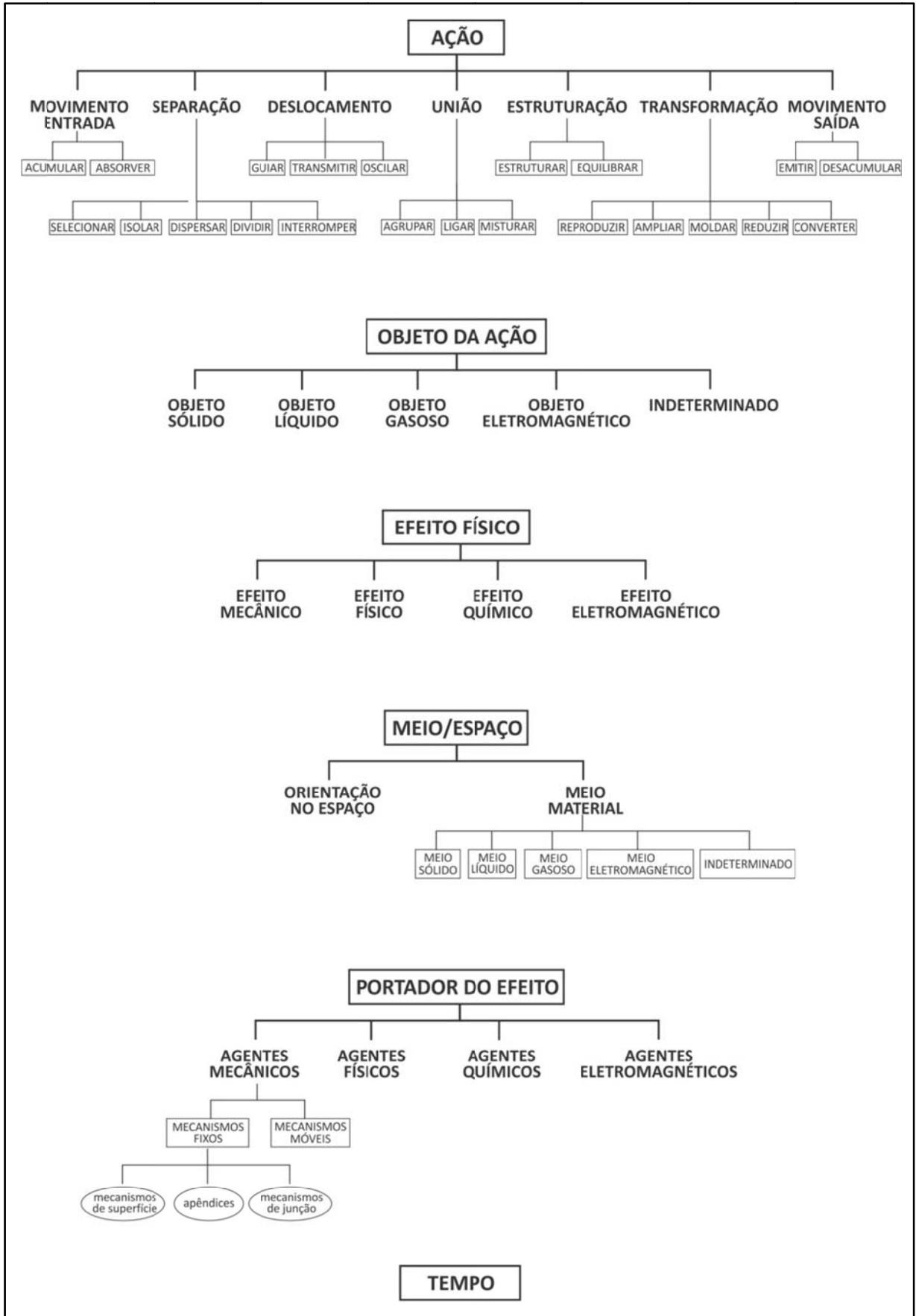


Figura 67: Esquema de apresentação da taxonomia dos princípios de solução da natureza
 Fonte: a autora

4.8.1 Faceta Ação

A faceta Ação (Figura 68) é formada por algumas funções que podem ser consideradas elementares, decompostas das funções globais originais. A organização proposta tem como base as 24 funções elementares definidas por Koller, que se referia a cobrir as ações sobre energia, material e informação em sistemas técnicos (BACK *et al.*, 2008). A partir dos estudos de Koller e da amostra recolhida dos princípios da natureza, chega-se às funções e subfunções indicadas no esquema da Figura 67. Os grupos identificados foram: Movimento de Entrada (Acumular e Absorver), Movimento de Saída (Emitir e Desacumular), Deslocamento (Guiar, Transmitir, Oscilar), União (Agrupar, Ligar, Misturar), Separação (Selecionar, Isolar, Dispersar, Dividir, Interromper), Estruturação (Estruturar, Equilibrar) e Transformação (Reproduzir, Ampliar, Moldar, Reduzir, Converter).



Figura 68: Taxonomia da Faceta Ação

Fonte: a autora

4.8.2 Faceta Objeto da Ação

Quando é realizada a busca por uma ação, o projetista também precisa definir o objeto/matéria sobre o qual ela incide. Desta forma, tem-se uma função completa: ação + objeto da ação, ou verbo + substantivo. Conhecendo as necessidades do projetista, entende-se que os elementos dentro da faceta Objeto da Ação (Figura 69) devem estar ordenados de forma que respondam aos problemas funcionais de um produto. Um dos critérios possíveis de ordenação é através das formas que as substâncias assumem, os chamados “estados físicos da matéria”, sendo o estado sólido, o líquido e o gasoso os mais conhecidos.

Segundo Valadares (2010), além de sólido, líquido e gasoso, existem outros estados físicos da matéria. O plasma é um deles, considerado um tipo diferente de gás, pois conduz

eletricidade e pode emitir luz. Alguns exemplos de plasma na natureza são o raio, as auroras e o sol. Em produtos, podemos encontrar uma substância no estado de plasma nas lâmpadas fluorescentes e em alguns monitores tipo plasma. Há ainda outros estados físicos possíveis para a matéria, os quais variam segundo as condições de temperatura e pressão (VALADARES, 2010).

Há muitas discussões a respeito de quais são, de fato, os estados físicos da matéria. Mas não é o objetivo deste trabalho se aprofundar neste assunto, pois é bastante amplo e diverso. Desta forma, serão considerados os três estados consagrados da matéria (sólido, líquido e gasoso) e um quarto estado, o qual será denominado “eletromagnético”, por integrar e justificar um considerável grupo de elementos identificados na amostra realizada. Deste grupo fazem parte todos os tipos de radiação eletromagnética, tais como ondas de rádio, microondas, luz visível, raios X, entre outros.



Figura 69: Taxonomia da Faceta Objeto da Ação
Fonte: a autora

4.8.3 Faceta Meio/Espaço

O grupo Meio/Espaço (Figura 70), seguindo os mesmos critérios de relevância da faceta anterior, também precisa ser organizado visando interligar os princípios naturais de solução à área do design. Dois grandes grupos podem ser identificados: Meio Material e Orientação Espacial. Orientação Espacial se refere à posição em que o objeto se encontra com relação ao entorno ou a outro objeto. Alguns exemplos de orientação no espaço são: dentro, fora, em cima, em baixo, ao lado, inclinado, vertical e horizontal. O grupo Meio Material classifica a matéria segundo a condição que esta se apresenta, os chamados “estados físicos da matéria”. Da mesma forma como estes estados estão sendo tratados na faceta Objeto da Ação, serão adotados aqui os meios sólidos, líquidos, gasosos e eletromagnéticos. É também necessária a criação da subfaceta Indeterminado para aqueles casos em que o meio não interfere na formulação do princípio de solução.

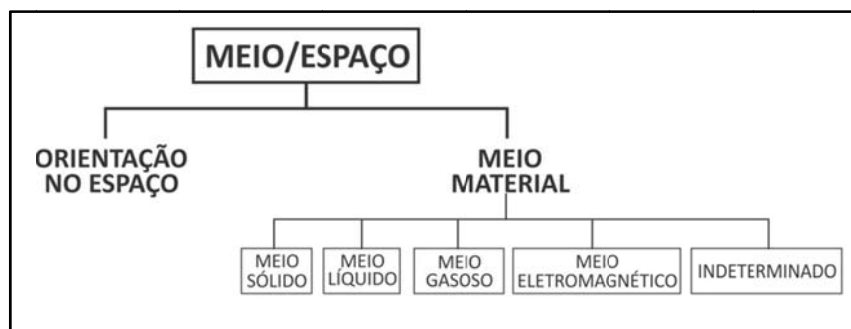


Figura 70: Taxonomia da Faceta Meio/Espaço
Fonte: a autora

4.8.4 Faceta Efeito Físico

A faceta Efeito Físico (Figura 71) pode ser subdividida em quatro diferentes naturezas de efeito: mecânico, químico, físico e eletromagnético. Segundo Silva (2011), a Mecânica é a parte da Física que estuda os movimentos dos corpos e através dela o homem procura explicações para os fenômenos ocorridos na natureza. Desta forma, a subfaceta Efeito Mecânico contempla os fenômenos relacionados ao movimento dos corpos, tais como penetração, flexão, curvatura, fissão, entre outros.

O Efeito Físico propriamente dito caracteriza-se pela mudança na forma física da matéria, ou seja, pelo movimento de agregação e desagregação de moléculas, tais como os conhecidos estados físicos da água, que variam do sólido ao gasoso. A forma muda, porém a substância se mantém a mesma (água). Alguns exemplos dessa natureza de efeito são a queda de um corpo, a reflexão da luz em um espelho, a dilatação dos corpos, os pontos de fusão e ebulição, entre outros (ALVES, 2011).

Já o fenômeno químico, segundo a mesma autora, é todo aquele que ocorre com a formação de novas substâncias. Neste caso, são realizadas alterações mais profundas na matéria, não somente na forma, mas fundamentalmente na sua natureza. Quando um material sofre uma reação ou efeito químico, haverá modificação dentro de suas moléculas, dissociando os átomos e possibilitando novas formações moleculares. São exemplos deste tipo de fenômenos o enferrujamento do ferro, a respiração dos seres vivos e a fotossíntese realizada pelos vegetais clorofilados (ALVES, 2011).

Por fim, o Efeito Eletromagnético pode ser considerado todo aquele fenômeno que ocorre em função de forças elétricas e/ou magnéticas. É um campo bastante vasto de fenômenos, os quais podem ser percebidos em diversos mecanismos e equipamentos de uso cotidiano como, por exemplo, o funcionamento da campainha elétrica, os motores elétricos, os transformadores de tensão, os cartões magnéticos, entre muitos outros. Na área da medicina moderna, o eletromagnetismo está aplicado nos diagnósticos por imagem, os quais são feitos através da ressonância nuclear (SILVA, 2011). Na natureza, exemplos de fenômenos eletromagnéticos são o raio, a aurora boreal, espectros luminosos e todo o tipo de interação atômica.



Figura 71: Taxonomia da Faceta Efeito Físico
Fonte: a autora

4.8.5 Faceta Portador do Efeito

A faceta Portador do Efeito (Figura 72) se refere precisamente aos dispositivos responsáveis pela ocorrência do fenômeno. Conforme Rozenfeld *et al.* (2006), o princípio de solução só existe quando se integra um efeito físico (físico, químico, mecânico ou eletromagnético) e um mecanismo portador do efeito em questão. Desta forma, os dispositivos podem ser ordenados conforme o tipo de efeito que geram. Dentre os efeitos mecânicos é possível identificar dois grandes grupos: Mecanismos Móveis e Mecanismos Fixos. O primeiro se refere não simplesmente aos dispositivos que se movem, mas precisamente àqueles que se deslocam no espaço, não possuindo pontos de fixação. Os mecanismos fixos, por sua vez, podem ser peças de junção, apêndices ou ainda componentes de uma superfície.

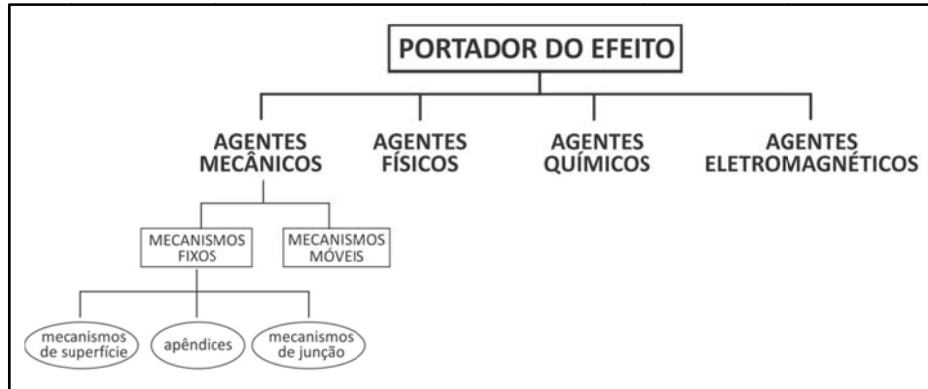


Figura 72: Taxonomia da Faceta Portador do Efeito
Fonte: a autora

4.8.6 Tempo

A faceta Tempo (Figura 73) pode ser compreendida como duração ou definição de um momento específico. Para a escolha de princípios de solução, a categoria Tempo não é definidora, porém pode complementar a busca, quando se deseja uma solução rápida, lenta, de alta ou baixa frequência, etc. São aspectos interessantes, porém apresentados com pouca relevância nos fenômenos naturais pesquisados. Entende-se que a categoria Tempo é um campo bastante vasto ainda a ser explorado.

Compreendidos os componentes da taxonomia e realizada a hierarquização de suas facetas/subfacetas, segue o próximo capítulo, no qual é proposta a aplicação prática da mesma em uma ferramenta de trabalho, para uso do designer, durante a fase conceitual do projeto de produto.

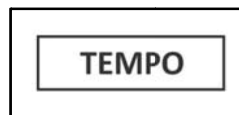


Figura 73: Taxonomia da Faceta Tempo
Fonte: a autora

5. FERRAMENTA PARA APLICAÇÃO DA TAXONOMIA

5.1 PROPOSIÇÃO DA FERRAMENTA

Após criada a taxonomia dos princípios de solução da natureza, é necessário implementá-la para que de fato torne-se uma ferramenta de apoio ao designer, durante a fase do projeto conceitual. Não faz parte do escopo deste trabalho a implementação propriamente dita, porém, são fornecidas as informações necessárias para uma futura implementação. Este capítulo, portanto, visa à elaboração de uma proposta de ferramenta de aplicação da taxonomia. Para melhor entender o processo de uso desta ferramenta dos princípios naturais de solução, segue o esquema da Figura 74:

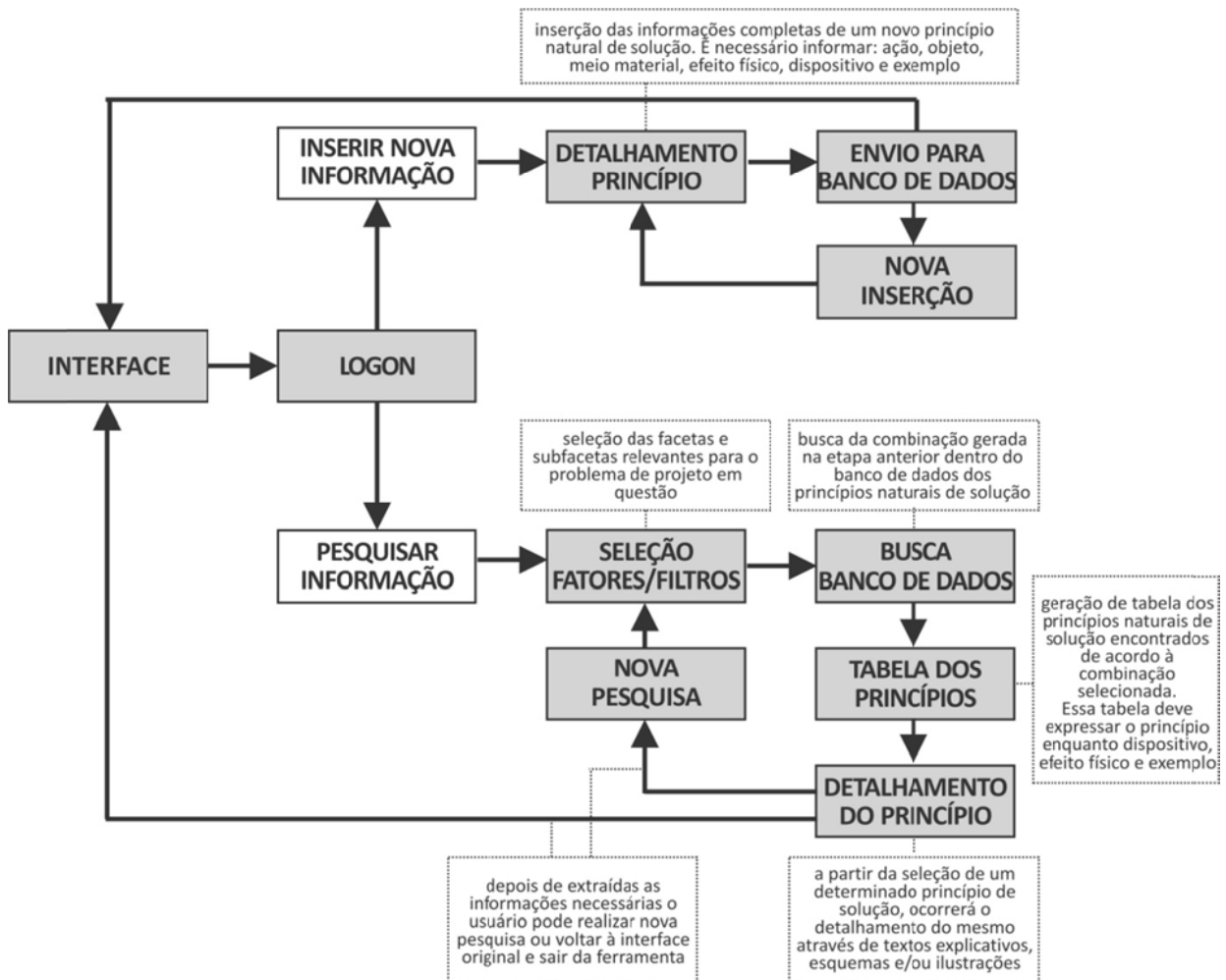


Figura 74: Esquema do processo de utilização da ferramenta
Fonte: a autora

Para melhor visualizar as etapas do processo de utilização da ferramenta, segue um exemplo de pesquisa de informação, esboçando as interfaces da etapa de “seleção de filtros de pesquisa” e a “tabela dos princípios de solução”. A primeira delas é composta por três filtros de busca, baseados na taxonomia já construída. São eles Ação, Objeto e Meio Material, sendo que a Ação ainda se desdobra nas suas subfacetas. O procedimento é ilustrado, passo a passo, desde a seleção de filtros até a geração da tabela com os princípios naturais de solução correspondentes à combinação realizada (Figura 75, Figura 76 e Figura 77).

The figure displays two sequential screenshots of a search filter selection interface, both titled "Seleção dos Filtros de Pesquisa".

Left Screenshot: Shows three dropdown menus. The "AÇÃO" menu is open, listing: MOVIMENTO ENTRADA, MOVIMENTO SAÍDA, UNIÃO, SEPARAÇÃO, DESLOCAMENTO, TRANSFORMAÇÃO, and ESTRUTURAÇÃO. The "OBJETO" menu is open, listing: OBJETO SÓLIDO, OBJETO LÍQUIDO, OBJETO GASOSO, OBJETO ELETROMAGNÉTICO, and INDETERMINADO. The "MEIO MATERIAL" menu is open, listing: MEIO SÓLIDO, MEIO LÍQUIDO, MEIO GASOSO, MEIO ELETROMAGNÉTICO, and INDETERMINADO. A "BUSCAR" button is located at the bottom left.

Right Screenshot: Shows the same interface with specific selections. The "AÇÃO" dropdown is set to "MOVIMENTO ENTRADA". The "OBJETO" dropdown is set to "OBJETO SÓLIDO". The "MEIO MATERIAL" dropdown is set to "MEIO LÍQUIDO". The "BUSCAR" button remains at the bottom left.

Figura 75: Esboço de interface da ferramenta
Fonte: a autora

Seleção dos Filtros de Pesquisa

AÇÃO ▼

▼

OBJETO ▼

MEIO MATERIAL ▼




Figura 76: Esboço de interface da ferramenta
Fonte: a autora

Resultado da Pesquisa

Critérios de seleção Princípios de Solução

AÇÃO	OBJETO	MEIO	DISPOSITIVO	EFEITO FÍSICO	EXEMPLO
MOV. ENTRADA ABSORVER	OBJETO SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	Complexo Golgi	Por fusionamento de membrana	<u>Complexo de Golgi</u>
MOV. ENTRADA ABSORVER	OBJETO SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	Estômatos	Penetração por difusão	<u>eudicotiledôneas e monocotiledôneas</u>
MOV. ENTRADA ABSORVER	OBJETO SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	pigmentos acessórios	compatibilidade da molécula com os comprimentos de onda do espectro eletromagnético incidido	<u>organismos fotossintéticos</u>

Figura 77: Esboço de interface da ferramenta (tabela dos princípios de solução)
Fonte: a autora

5.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA

Apesar de não ser objetivo desta pesquisa a avaliação da taxonomia ou da ferramenta criadas, vê-se necessária a demonstração do funcionamento da ferramenta, bem como da importância da taxonomia desenvolvida. A utilização da ferramenta em questão ocorre durante o processo criativo do projeto de produto, sendo importante para a geração de alternativas de concepção a partir de um determinado problema de projeto.

O problema de projeto escolhido para a construção do exemplo, neste caso, é a “limpeza de mexilhões”, o qual é levantado por Rozenfeld *et al.* (2006). A estrutura funcional inicia pela definição de uma função global, a qual é posteriormente desmembrada em subfunções elementares (Quadro 9):

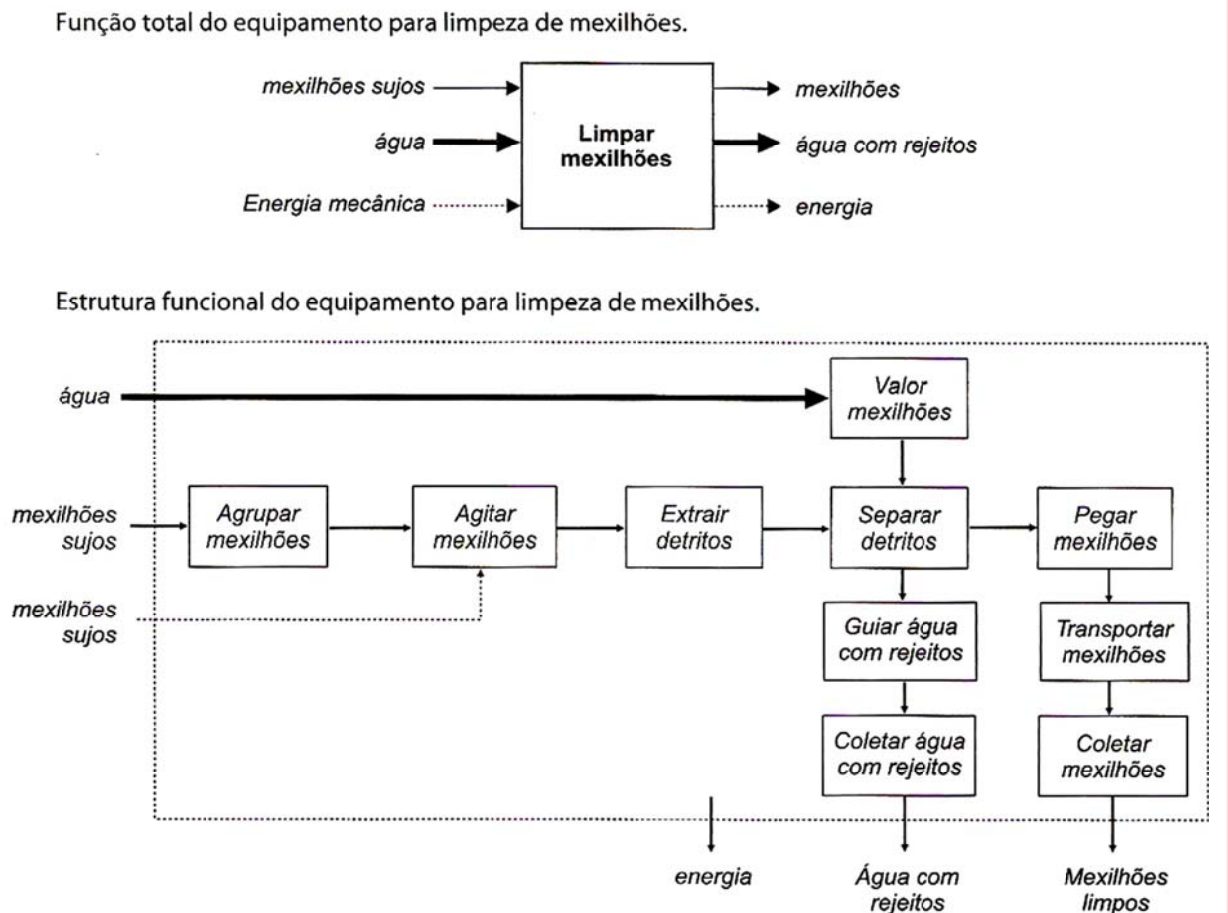


Figura 78: Estrutura funcional do equipamento para limpeza de mexilhões
Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

Cada uma das subfunções identificadas na estrutura funcional do problema de projeto pode ser atendida por um ou mais princípios de solução. Os princípios de solução, por sua vez, surgem do processo criativo, para o qual foram criados uma série de métodos de apoio. É importante utilizar uma metodologia durante o processo criativo, de forma que estimule o designer na geração de soluções alternativas para o produto. Um dos métodos criativos bastante utilizados por equipes de projeto é a matriz morfológica, uma matriz de combinação de princípios de solução. Conforme exemplifica a Figura 79, na coluna da esquerda, são elencadas todas as subfunções do problema de projeto. Para cada uma dessas subfunções, são selecionados uma gama de princípios de solução possíveis, representados graficamente. O passo seguinte é a combinação desses princípios de solução elencados, testando todas as possibilidades de arranjos viáveis. Desta forma, como resultado do método, encontram-se possíveis alternativas de solução para o problema em questão (Figura 80).



















































































FUNÇÕES	Princípios de solução					
Agrupar mexilhões	 Casca esférica	 Tambor vertical	 Funil	 Redução aberta	 Redução aberta	 Tambor horizontal
	 Cone	 Empurrando	 Canaleta	 Copo		
Agitar mexilhões	 Tambor rotativo	 Eixo com aparatos	 Pás rotativas	 Caixa vibratória	 Agitador	 Planetária-1
	 Planetária-2	 Oscilação				
Extrair detritos dos mexilhões	 Placa rotativa	 Escova	 Tambor rotativo	 Tambor com grades	 Grade vibratória	 Eixo com placas
	 Jato de areia	 Eixo com placas com orifícios	 Placa com orifícios	 Eixo com pás	 Barra rotativa	 Cabo rotativo
Lavar mexilhões	 Jato d'água	 Jato de ar	 Jato de vapor	 Banho d'água	 Banho químico	 Eixo com orifícios
	 Fluxo d'água	 Tubo com jatos	 Ducha d'água			
Separar detritos	 Peneira	 Grade	 Descolamento de ar	 Densidade	 Placa com orifícios	 Jato d'água
Guiar água com detritos	 Bombear	 Tubulação	 Mangueira	 Tubo flexível	 Canaleta	 Rampa
Coletar água com detritos	 Tanque	 Recircular	 Sistema de esgoto			
Pegar mexilhões	 Abrindo dispositivo	 Manter fluxo	 Com ferramenta	 Manualmente		
Transportar mexilhões	 Esteira	 Gravidade	 Canaleta	 Placa plana	 Tubo flexível	 Manualmente
	 Empurrando	 Tubulação	 Fluxo d'água	 Fluxo de ar	 Conduzindo	 Puxando
	 Placa vibratória	 Espiral de Arquimedes	 Bombear	 Estornando	 Fluxo de material	
	 Caixa	 Saco	 Empilhar	 Esteira	 Cesto	 Carrinho
	 Copo					

Figura 79: Matriz morfológica dos princípios de solução para o exemplo dos mexilhões
 Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)































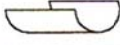





























FUNÇÕES ELEMENTARES	ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO					
	1	2	3	4	5	6
Agrupar mexilhões						
	Casca esférica	Tambor vertical	Funil	Redução aberta	Tambor horizontal	Tambor horizontal
Agitar mexilhões						
	Tambor rotativo	Eixo com aparatos	Eixo com aparatos	Tambor rotativo	Eixo com aparatos	Tambor rotativo
Extrair detritos dos mexilhões						
	Escova	Escova	Escova	Tambor com grades	Escova	Tambor com grades
Lavar mexilhões						
	Banho d'água	Banho d'água	Ducha d'água	Ducha d'água	Banho d'água	Banho d'água
Separar detritos						
	Grade	Grade	Grade	Grade	Grade	Grade
Guiar água com detritos						
			Mangueira	Mangueira	Tubo flexível	Tubo flexível
Coletar água com detritos						
	Tanque	Tanque	Recircular	Recircular	Sistema de esgoto	Sistema de esgoto
Pegar mexilhões						
	Abrindo dispositivo	Abrindo dispositivo	Manter fluxo	Manter fluxo	Com ferramenta	Com ferramenta
Transportar mexilhões						
	Entornando	Entornando	Fluxo de material	Fluxo de material	Manualmente	Manualmente
Coletar mexilhões						
	Cesto	Cesto	Cesto	Cesto	Cesto	Cesto

Figura 80: Alternativas de Solução geradas a partir da matriz morfológica
 Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

Assim como a matriz morfológica, existem outros métodos que cumprem a função de geração de alternativas. A ferramenta proposta neste trabalho, contudo, tem como objetivo servir de método criativo quando a fonte de busca é a própria natureza. Para exemplificar o uso da ferramenta, será escolhida uma das diversas subfunções: “Separar detritos”. A ação “separação”, seguindo as orientações da taxonomia, ainda se subdivide em outras ações, das quais a mais adequada para o presente caso é “selecionar”. O objeto que sofre a ação é de natureza sólida e o meio material onde a função deve ocorrer é líquido. Desta forma, é possível completar todos os campos da busca, conforme mostra a Figura 81.

FUNÇÃO GLOBAL	Limpar mexilhões
SUBFUNÇÕES ELEMENTARES	Agrupar mexilhões Agitar mexilhões Extrair mexilhões Separar detritos Pegar mexilhões Guiar água com rejeitos Transportar mexilhões Coletar água com rejeitos Coletar mexilhões

Quadro 9: Função global e subfunções para o exemplo “limpeza de mexilhões”
Fonte: adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

Figura 81: Seleção dos filtros de pesquisa para a função "Separar detritos"
Fonte: a autora

O passo seguinte é a busca da combinação proposta dentro do banco de dados dos princípios de solução da natureza. Neste trabalho, consta um pequeno banco de dados, desenvolvido a partir da tabela dos princípios naturais de solução, criada durante a elaboração da taxonomia. Esse banco de dados, mesmo que pequeno, é necessário para definir o funcionamento da ferramenta. O objetivo é que seja a semente para um futuro banco de dados repleto de princípios de solução, alimentado constantemente com novas informações por parte dos designers. O resultado da busca realizada é um quadro com a indicação dos princípios

naturais de solução: possíveis respostas às necessidades do produto em questão (Quadro 10). Para que seja compreendido em maior profundidade, e posteriormente aplicado, cada princípio deve possuir um detalhamento, composto por textos explicativos, esquemas e/ou imagens. No anexo 08, estão ilustrados alguns detalhamentos provenientes da obra *Vida: a Ciência da Biologia*.

BANCO DE DADOS						
REQUISITOS PROJETO			PRINCÍPIOS NATURAIS DE SOLUÇÃO			
AÇÃO	OBJETO DA AÇÃO	MEIO MATERIAL	PORTADOR DO EFEITO	EFEITO FÍSICO	EXEMPLO	PG
SELECIONAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	fendas	filtração	fendas faríngeas dos cordados	722
SELECIONAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	poros + canais	filtração	esponjas	677
SELECIONAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	placas com longos pêlos (semelhantes a pentes)	filtração	baleias azuis	676
SELECIONAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	indeterminado	centrifugação		119 1

Quadro 10: Princípios naturais de solução para a combinação selecionada
Fonte: a autora

Depois de realizada a busca e compreendido o princípio natural de solução é possível transportá-lo ao produto, mantendo os mesmos conceitos básicos, porém adequando forma e materiais. É importante lembrar que a proposta desta ferramenta é oportunizar uma transposição fundamentalmente de princípios, não somente de comportamentos ou formas. Segundo Mak e Shu (2004), o potencial do design biomimético é realizado plenamente quando se abstrai uma estratégia utilizada no fenômeno biológico e implementa-se-la no produto sem limitações, de maneira não-literal. O Quadro 11 indica algumas possíveis soluções para o problema “separar detritos”:

01	Separar os detritos por meio de <u>filtração</u> ⁵ , usando um <u>dispositivo com fendas</u>
02	Separar os detritos por meio de <u>filtração</u> , usando um <u>dispositivo com poros</u>
03	Separar os detritos por meio de <u>filtração</u> , usando um <u>dispositivo tipo “pente” com cerdas</u>
04	Separar os detritos por meio de <u>centrifugação</u> , usando um <u>dispositivo tipo centrífuga</u> .

Quadro 11: Princípios de solução para a função "separar detritos"
Fonte: a autora

⁵ Filtração (Dic. Aurélio): Ato ou efeito de deixar passar (um líquido) por um filtro; separar um sólido de um líquido ou gás, retendo-o

6. CONCLUSÕES

Este capítulo tem por objetivo apresentar as considerações finais do trabalho realizado, comentando os resultados obtidos, assim como propor algumas recomendações para trabalhos futuros na mesma área de pesquisa.

6.1 CONCLUSÕES

Para extrair as conclusões deste trabalho, cabe realizar uma síntese geral do que se compreende do texto como um todo e, para tanto, é fundamental resgatar os objetivos que motivaram a sua realização.

A meta fundamental proposta é uma sistematização dos princípios de solução da natureza, através de taxonomia, oportunizando uma ferramenta de apoio ao designer, durante o processo de geração de alternativas do projeto de produto. É um objetivo bastante ousado para uma dissertação de mestrado, visto que a realização de uma taxonomia exige um grande aprofundamento no tema em questão. Não basta conhecer um pouco sobre o tema, há que conhecê-lo a ponto de propor sua organização. A dificuldade de criação da taxonomia é percebida ao longo do desenvolvimento do trabalho, na medida em que não há uma única resposta certa. As soluções nascem através de um processo que alia metodologia e reflexão.

O desafio aumenta quando o tema escolhido para a realização da taxonomia é vasto e complexo, como os princípios de solução da natureza. O campo da natureza abarca os fenômenos biológicos de todos os seres vivos, os fenômenos químicos e físicos de rochas, minerais, água e ar. O tema é amplo e carece de definições claras sobre a natureza dos fenômenos e até que ponto se identifica a existência de vida em um ser. São questões difíceis, porém bastante desafiadoras e motivadoras, especialmente quando se compreende a relevância do seu resultado. O potencial de crescimento no âmbito industrial é muito grande, pois os produtos podem assemelhar-se à natureza, que contrói com o máximo de economia, funcionalidade e beleza.

Para responder com eficácia ao problema de pesquisa levantado, o trabalho se fundamenta na investigação de três áreas do conhecimento. O ponto de partida é o estudo sobre o Processo de Desenvolvimento de Produto, pois proporciona as diretrizes da pesquisa. No segundo momento, é feita a revisão bibliográfica sobre os Princípios de Solução da

Natureza, seguido do estudo e compreensão da Teoria da Classificação do Conhecimento (Figura 82).



Figura 82: Integração de três áreas do conhecimento para realização da pesquisa
Fonte: a autora

A compreensão do processo de desenvolvimento de produto esclareceu o contexto de inserção do problema de pesquisa, identificando os elementos mais importantes a serem desenvolvidos na metodologia do trabalho para alcançar-se o objetivo proposto. Através da investigação do processo de geração de alternativas conceituais, foi possível identificar a importância da característica “função” de um produto, a partir da qual se deu a busca pelos princípios de solução adequados para responder ao problema de projeto levantado. Foi igualmente importante a compreensão do detalhamento desta “função global” e do seu desmembramento em funções menores. Percebeu-se que as “macro-funções” podem ser descritas com um arranjo de “micro-funções”. Desta forma, é possível chegar a funções básicas ou elementares. Koller (1985 *apud* Back *et al.*, 2008), apresentou 24 dessas funções elementares, destinadas a sistemas técnicos. A partir de seu estudo, aliado à amostra retirada dos princípios naturais, foram lançadas as funções elementares da taxonomia apresentada neste trabalho.

O estudo sobre o processo de desenvolvimento de produto deixou clara a necessidade de inovação para a sobrevivência de qualquer organização no mercado. A inovação de um

produto está intimamente vinculada à fase conceitual do projeto, para a qual são destinados diversos métodos, que servem para auxiliar o designer em seu processo de criação. Um dos métodos mais utilizados nesta etapa é o da analogia com a natureza, na busca por princípios de solução que possam ser transportados do universo natural ao produto. Porém, a dificuldade encontrada na aplicação deste método é saber de que ponto partir e como aplicar. O campo de busca (natureza) é extremamente amplo e não se conhece até então uma metodologia clara que oriente essa pesquisa.

Essa metodologia ou sistematização é a grande motivação para a realização deste trabalho e se propõe a ser sua principal contribuição para a academia. Para o seu desenvolvimento é fundamental a revisão bibliográfica sobre a Teoria da Classificação, pois permite compreender diferentes formas de organização do conhecimento, identificando qual delas melhor se adequa ao objeto da pesquisa em questão. A partir da taxonomia elaborada e da ferramenta dos princípios de solução proposta, é possível estreitar o caminho e objetivar o processo de integração do projeto do produto com os princípios de funcionamento da natureza.

A importância desta pesquisa pode ser percebida no âmbito do projeto de produtos, pois sua aplicação proporciona chaves de acesso a grandes inovações e otimizações em produtos existentes no mercado. Mas a sua relevância não se restringe ao crescimento e a inovação na produção, pois desenvolve uma mentalidade de integração e cooperação entre o natural e o industrial. Mentalidade esta que deve se refletir no comportamento e reconduzir ao homem a um caminho de conscientização da maestria presente na natureza e do quanto pode aprender com ela. Portanto, os temas aqui tratados também servem no âmbito do ensino, desenvolvendo com os alunos de graduação em design uma nova mentalidade de produção, baseada em dois movimentos: a observação e a organização. O primeiro movimento consiste na observação, contemplação e investigação das leis ou princípios da natureza. O segundo, por sua vez, significa a organização e “tradução” desses princípios em uma linguagem própria do designer, de forma que o conhecimento extraído tenha aplicação direta no projeto de produto. O cultivo desta mentalidade de integração junto aos princípios naturais é fundamental para a garantia do futuro das próximas gerações.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para o aprofundamento do tema dos princípios de solução da natureza e sua aplicabilidade ao design, são sugeridos alguns focos de pesquisa, os quais podem ser desenvolvidos em futuros trabalhos.

Visto que a presente pesquisa propõe uma abordagem ainda bastante ampla a respeito dos princípios naturais de solução, tratando somente alguns casos da natureza, seria importante complementar a taxonomia, agregando estudos de novos exemplares naturais, e ratificando as categorias propostas ou então realizando as modificações necessárias, em função da identificação de novos padrões. Podem ocorrer retificações de alguns termos aplicados, no sentido de ampliar ou restringir a abrangência das facetas, assim como podem ocorrer mudanças na hierarquia dos grupos e subgrupos.

A avaliação da taxonomia também é uma sugestão para futuros trabalhos. Para isso, há que verificar a sua aplicabilidade na área do design e, portanto, se faz necessário o desenvolvimento da ferramenta de apoio direto ao projetista durante a fase conceitual do projeto. Na metodologia deste trabalho foi descrito um projeto ou esboço para a implementação desta ferramenta. A partir desse esboço, pode-se elaborar a ferramenta propriamente dita, que servirá como instrumento para validação da taxonomia, podendo ser aplicada a uma ou mais equipes de projeto durante a fase conceitual. Uma primeira sugestão é que seja aplicada no ensino em design, dentro da própria universidade, nas disciplinas de projeto de produto. Esse instrumento de validação teria o objetivo de levantar os pontos positivos e as fraquezas que possam ainda ser analisadas e melhoradas na taxonomia proposta.

Uma terceira recomendação é o abastecimento do banco de dados iniciado neste trabalho, analisando outros exemplares da natureza e incluindo novos princípios de solução. A elaboração de um banco de dados extenso e bem estruturado é fundamental para oportunizar o uso real da ferramenta proposta e a geração de alternativas de concepção, orientando e enriquecendo a busca por analogias dos produtos com os princípios da natureza.

REFERÊNCIAS

- ALTSHULLER, G. **40 Principles Extended Edition: TRIZ Keys to Technical Innovation**. [S.l.]: Technical Innovation Center, Inc., 2005.
- ALVES, L. Brasil Escola. **Fenômenos Físicos e Químicos**, 2011. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/quimica/fenomenos-fisicos-quimicos.htm>>. Acesso em: 27 jul. 2011.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Biologia dos organismos: classificação, estrutura e função nos seres vivos**. São Paulo: Moderna, 1996.
- BACK, N. et al. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Porto Alegre: Manoele, 2008.
- BARBOSA, R. M. **Descobrimos a geometria fractal - para a sala de aula**. Belo Horizonte: Autêntica, 2002.
- BASSETTO, E. L. **Proposta de Metodologia para o Ensino das Fases de Projeto Informacional e Projeto Conceitual**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- BENAVIOLI, A.; CHISCI, L.; FARINA, A. Fibonacci sequence, golden section, Kalman filter and optimal control. **Signal Processing**, 2009.
- BENYUS, J. **Biomimicry: Innovation inspired by nature**. New York: Quill Publishes, 1997.
- BLISS, H. E. **The organization of knowledge in libraries: and the subject - approach to books**. New York: H.W. Wilson Company, 1939.
- BLOOM, B. S. E. A. **Taxionomia de objetivos educacionais**. Porto Alegre: Globo, 1972.
- BÜRDEK, B. E. **História, Teoria e prática do design de produtos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- CISCO, S. L.; JACKSON, W. K. Creating order out of chaos with taxonomies. **Information Management Journal**, may/june 2005. 45-50.
- COOK, T. A. **The Curves of life**. New York: Dover, 1979.
- DAHLBERG, I. Fundamentos Teórico-conceituais da classificação. **studien zur Klassifikation**, 1977. 53-66.

- DOCZI, G. **O Poder dos Limites: harmonias e proporções na natureza, arte e arquitetura.** São Paulo: Mercuryo, 1990.
- EINSTEIN, A. **The World As I See It.** New York: Philosophical Library, 1949. 5 p.
- FORCELLINI, F. A. Apostila de Projeto de Produto. [S.l.]: [s.n.], 2002.
- GOMES, H. E.; MOTTA, D. F.; CAMPOS, M. L. D. A. **Biblioteconomia, Informação & Tecnologia da Informação**, agosto 2006. Disponível em: <<http://www.conexaorio.com/bitit/revisitando/revisitando.htm>>. Acesso em: 03 julho 2011.
- HEISS, A. M. Göttliche proportionen des attraktiven gesichts (thesis). Giesses, Germany: University of Giessen, 2002.
- HELMS, M.; VATTAM, S. S.; GOEL, A. K. Biologically inspired design: process and product. **Elsevier**, 2009.
- HSUAN-AN, T. **Sementes do Cerrado e Design Contemporâneo.** Goiânia: Universidade Católica de Goiás, 2002.
- HSUAN-AN, T. Blogspot Visões de TAI. **Os conceitos de Design**, 29 agosto 2009. Disponível em: <<http://visoesdetai.blogspot.com>>. Acesso em: 11 dezembro 2009.
- ISENMANN, R. Industrial Ecology: Shedding more Light on its Perspective of Understanding Nature as Model. **Sustainable Development**, 2003.
- LANGRIDGE, D. **Classificação: abordagem para estudantes de biblioteconomia.** Rio de Janeiro: Livraria Interciência, 1977.
- LIVIO, M. **Razão Áurea: a história de Fi, um número surpreendente.** Rio de Janeiro: Record, 2008.
- MAK, T. W.; SHU, L. H. Abstraction of Biological Analogies for Design. **CIRP ANNALS - Manufacturing Technology**, Toronto, Canadá, p. 117-120, 2004.
- MATINI, M. R.; KNIPPERS, J. Application of “abstract formal patterns” for translating natural principles into the design of new deployable structures in architecture. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, 2008.
- NOVO, H. F. **A Elaboração de Taxonomia: princípios classificatórios para domínios interdisciplinares.** Niterói: Universidade Federal Fluminense – Instituto de Arte e Comunicação Social, 2007.
- NOVO, H. F. A Taxonomia enquanto estrutura classificatória: uma aplicação em domínio de conhecimento interdisciplinar. **Ponto de Acesso**, setembro 2010. 131-156.
- PÁDUA, E. M. M. D. **Metodologia da pesquisa: abordagem teórico-prática.** Campinas, SP: Ed. Papirus, 2004.

- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. London: Springer Verlag, 1996.
- PANCHERZ, H.; FERRING, V. **Divine proportions in the growing face**. University of Giessen. Giessen, Germany. 2006.
- PIEDADE, M. A. R. **Introdução à Teoria da Classificação**. Rio de Janeiro: Interciência, 1977.
- PRIETO-DÍAZ, R. A Faceted Approach to Building Ontologies. **Commonwealth Information Security Center - James Madison University**, fevereiro 2002.
- RANGANATHAN, S. R. **Prolegomena to library classification**. Bombaim, Asia: Publishing House, 1967.
- RICKETTS, R. M. Divine proportion in facial esthetics. **Clin Plast Surg**, 9, outubro 1982. 401 - 22.
- ROBREDO, J.; CUNHA, M. B. **Documentação de hoje e de amanhã: uma abordagem informatizada da biblioteconomia e dos sistemas de informação**. São Paulo: Global, 1994. 204 p.
- ROMANO, L. N. Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas (tese). Florianópolis: Programa de pós-graduação em engenharia mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- ROZENFELD. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SADAVA, D. et al. **Vida, a Ciência da Biologia**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- SALVADOR, R. J. **Metodologia Biônica em Dobradiças de Móveis**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.
- SILVA, M. A. Brasil Escola. **Brasil Escola**, 2011. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/fisica/mecanica.htm>>. Acesso em: 27 jul. 2011.
- SOARES, M. A. R. **Biomimetismo e Ecodesign: Desenvolvimento de uma ferramenta criativa de apoio ao design de produtos sustentáveis**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2008.
- TORRANCE, E. P. **Criatividade: medidas, teses e avaliações**. São Paulo: IBRASA, 1976.
- TRISTÃO, A. M. D.; FACHIN, G. R. B.; ALARCON, O. E. Sistema de classificação facetada e tesouros: instrumentos para organização do conhecimento*. **Ci. Inf., Brasília**, p. 161-171, 2004.
- ULRICH, K.; EPPINGER, S. **Product Design and Development**. New York: Fourth Ed. McGraw-Hill, 2008.

ULRICH, K.; EPPINGER, S. **Product Design and Development**. New York: Fourth Ed. McGraw-Hill, 2008.

VALADARES, E. D. C. Ciência Hoje. **Sólido, líquido, gasoso e outras possibilidades**, 21 maio 2010. Disponível em: <<http://chc.cienciahoje.uol.com.br/revista/revista-chc-2010/212/solido-liquido-gasoso-e-outros-possibilidades>>. Acesso em: 25 jul. 2011.

VICKERY, B. C. **Classificação e indexação nas ciências**. Rio de Janeiro: BNG/Brasilart, 1980.

VINCI, L. D. **Da Vinci por ele mesmo/ tradutor Marcos Malvezi**. São Paulo: Madras, 2004.

WAHL, D. C. Bionics vs. biomimicry: from control of nature to sustainable participation in nature. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, 87, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE 1: Compilado de métodos criativos

Este apêndice é um compilado de métodos criativos (sistemáticos e intuitivos), extraídos da obra *Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem* (BACK *et al.*, 2008). Consiste em um resumo de cada método, seguido de exemplos e aplicações.

Métodos Intuitivos

Brainstorming

O método *brainstorming* clássico foi criado por Alex F. Osborn em 1939. O termo é de origem inglesa e tem como significado “tempestade de idéias”. Segundo Back *et al.* (2008), o método consiste em organizar uma reunião de trabalho com pessoas de formações profissionais diversas, na qual um coordenador faz os registros das sugestões do grupo a respeito de um determinado problema. A recomendação é que a reunião não se estenda além de 50 min. e que dela participem de 5 a 10 pessoas.

As idéias devem fluir livremente, em quantidade, sem restrições de tipos ou formas de solução e sem avaliações. A triagem das soluções mais promissoras pode ser feita na fase final da reunião ou, então, por especialistas de dentro ou fora da organização. Esse método pode ser usado em qualquer fase de desenvolvimento do produto. Não é recomendado para problemas muito especializados, mas para encontrar novas soluções de problemas mais gerais, como um novo produto que a empresa poderia lançar, um novo princípio de solução para um subsistema do produto, como fabricar, montar, embalar, transportar, etc. (BACK *et al.*, 2008).

A Figura 83 apresenta um registro feito em uma reunião na qual foi aplicado o método *brainstorming* para solucionar o problema de projeto que visa separar tomates verdes de tomates maduros.

BRAINSTORMING: grupo A
Problema: Separar tomates verdes de tomates maduros

Antônio	Separar pela cor, um medidor de cor deverá ser prático	
Pedro	Reflexão, verdes refletem mais luz	1ª solução
Davi	Dureza, apertamos os tomates ou batemos	
Jorge	Condutibilidade elétrica	
Antônio	Resistência elétrica	4ª solução
Davi	Magnetismo	
Jorge	Tamanho, os verdes são menores?	
Pedro	Peso, os maduros são mais pesados	
Antônio	Tamanho e peso devem se correlacionar	
Davi	Tamanho e peso é densidade	
Pedro	Volume específico	
Antônio	Os tomates são mais água e têm volume específico da água	
Davi	Os tomates flutuam ou afundam	
Jorge	Talvez seja isto, separá-los por densidade, se flutuam ou afundam em água	
Paulo	Não somente em água, poderia ser qualquer coisa	2ª solução
Antônio	Não tóxico	
Davi	Água salgada	
Jorge	Raios x, o tamanho das sementes ou qualquer coisa assim	
Antônio	Cheiro, odor	
Pedro	Som, vocês pode ouvir o tomate?	
Jorge	Pode o tomate ouvir?	
Davi	Calor, radiação infravermelha	
Pedro	Condutibilidade térmica	
Antônio	Calor específico	
Jorge	Habilidade de hipnotizar os tomates	
Pedro	Deixa uma moça olhar para os tomates e apertar um botão	
Davi	Estatisticamente - verifique somente um ou outro	
Jorge	Sacudir um balaio, os maduros devem subir ou descer	3ª solução
Pedro	Soprar ar através, ao sacudir o balaio	
Antônio	Use números aleatórios	

Figura 83: Registro de uma sessão de brainstorming
 Fonte: Adaptado de Back *et al.*, 2008

Método 635

O método 635, segundo Back *et al.* (2008), consiste no seguintes itens:

- Equipe de seis membros reunidos se familiariza com o problema a resolver;
- Cada um registra, numa folha, três sugestões de solução;
- Cada um passa sua folha para o membro seguinte, que, após a leitura, deverá acrescentar três sugestões novas ou melhoramentos da anteriores;
- O método termina quando a folha passa pelos outros cinco membros do grupo para que cada um dê sua contribuição.

As soluções podem ser demonstradas de forma gráfica, através de desenhos, ou escrita. A Figura 84 apresenta o exemplo de uma folha com soluções para aproveitamento de sobras de couro.

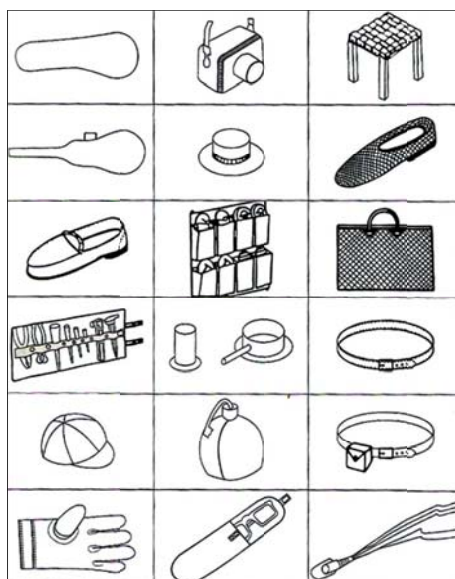


Figura 84: Exemplo de uma folha de resultados do método 635
 Fonte: Bonsiepe, Kellner e Poesnecker (1984 *apud* Back *et al.*, 2008)

Método de Delphi

O método de *Delphi* foi desenvolvido pela empresa *Rand Corporation*, em 1950, para coletar opiniões de especialistas através de um questionário estruturado. A equipe organizadora, após identificar o problema, consulta os especialistas por correspondência em três rodadas sucessivas. As respostas de cada rodada são analisadas pelos organizadores para a formulação do questionário seguinte. Esse ciclo é repetido até se chegar à solução do problema formulado, conforme mostra a Figura 85 (BACK *et al.*, 2008).

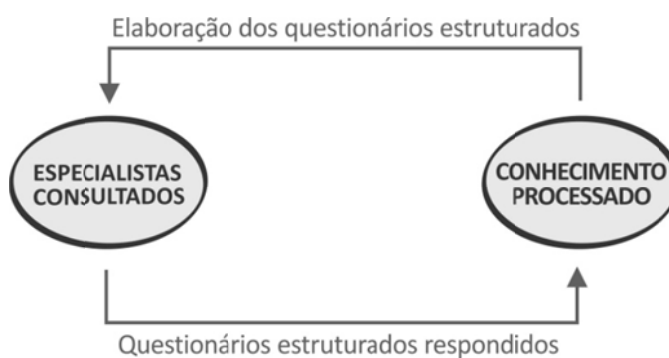


Figura 85: Processo de desenvolvimento do método *Delphi*
 Fonte: Adaptado de Back *et al.*, 2008

O método da listagem de atributos, segundo Back *et al.* (2008), foi desenvolvido por Robert Crawford, na Universidade de Nebraska, e consiste em isolar e listar os principais atributos de um produto. Cada uma das características listadas é avaliada com o objetivo de melhorar o produto, conforme mostra a Figura 86. Descrever os atributos de um produto pode ativar um pensamento criativo, de onde surgirão idéias alternativas de como fazer novas aplicações ou como melhorar as opções existentes.

ATRIBUTOS DE UMA ANTIGA CHAVE DE FENDA	ATRIBUTOS PARA MODERNIZAÇÃO DA CHAVE DE FENDA
<ul style="list-style-type: none"> - Haste de seção circular - Cabo de madeira rebitada - Ponta chata - Acionamento manual - Toque aplicado por torção 	<ul style="list-style-type: none"> - Haste de seção hexagonal tem substituído a seção circular para facilitar o acionamento com o auxílio de outra chave - O cabo de madeira foi substituído por uma haste de plástico, mais leve, mais segura e de melhor isolamento elétrico - O acionamento manual foi substituído por um motor elétrico com embreagem limitadora de torque nas parafusadeiras industriais - A ponta chata ganhou as variações de pontas para fendas simples, em cruz, Phillips e Allen

Figura 86: Exemplos de aplicação do método da listagem de atributos
Fonte: Adaptado de Back *et al.*, 2008

Método de MESCRAI

O método da instigação de questões, também conhecido por método de MESCRAI, foi desenvolvido por Alex Osborn, utiliza uma série de palavras-chave para ativar ou estimular idéias que melhoram produtos ou processos, conforme exemplifica a Figura 87 (BACK *et al.*, 2008).

PALAVRAS-CHAVE	QUESTÕES INSTIGADORAS
MODIFICAR	<ul style="list-style-type: none"> - Há uma nova tendência? - Pode-se modificar significado, cor, movimento, som, odor, forma? - Pode-se adicionar tempo? - Maior frequência, maior resistência, maior altura, maior valor? - Pode-se duplicar, multiplicar ou exagerar?
ELIMINAR	<ul style="list-style-type: none"> - Pode-se subtrair, condensar, diminuir, encurtar, reduzir peso, omitir, dividir?
SUBSTITUIR	<ul style="list-style-type: none"> - Quem e o que se pode substituir? - Existem outros ingredientes apropriados, materiais, processos, aproximações?
COMBINAR	<ul style="list-style-type: none"> - Pode-se usar uma mistura, uma liga, uma montagem? - Pode-se combinar unidades e idéias?
REARRANJAR	<ul style="list-style-type: none"> - Pode-se intercambiar componentes? - Pode-se usar outra configuração, layout ou seqüência? - Pode-se modificar o modo ou esquema?
ADAPTAR	<ul style="list-style-type: none"> - O que mais é igual a isto? - Que outra idéia isto sugere? - O passado oferece qualquer paralelo? - O que se pode copiar ou imitar?
INVERTER	<ul style="list-style-type: none"> - Pode-se trocar o positivo e o negativo? - Trocar a frente e atrás, de cima e de baixo?

Figura 87: Questões instigadoras do método MESCRAI
 Fonte: Adaptado de Back *et al.*, 2008

Método de Analogia

O método por analogia, conforme cita Back *et al.* (2008), pode ser dividido em analogia direta, simbólica e pessoal. A analogia direta considera a observação ou imaginação do problema em outros sistemas, diferentes daquele do objeto sendo pensado. De acordo com o autor, pode ser na observação da natureza, da ficção, ou de outras áreas de conhecimento. A biologia e a fisiologia são ricas em idéias, princípios de soluções que podem ser simplesmente transferidos para solucionar problemas de projeto de produtos. Na busca pelas soluções dos problemas de projeto, o método da analogia direta se desenvolve com base na integração do conhecimento das mais diversas áreas do saber.

A analogia simbólica (Figura 88) consiste na identificação de um verbo na declaração condensada do problema. A partir disso, substitui-se o verbo por um sinônimo, permitindo ver o problema sob outro ponto de vista. A analogia pessoal, por sua vez, consiste em colocar-se no lugar do problema e “sentir” o problema, oportunizando novas formas de pensamento e geração de soluções (BASSETTO, 2004).

CORTAR (palavra chave)					
Rasgar	Dobrar	Cisalhar	Entalhar	Trincar	Dividir
Fatiar	Riscar	Fundir	Tracionar	Corroer	Furar
Romper	Desgastar	Esmerilhar	Jatear	Serrar	Separar

Figura 88: Palavras relacionadas a “cortar” obtidas pela analogia simbólica
Fonte: Adaptado de Back *et al.*, 2008

Método Sinético

O método sinético tem origem no termo sinergia, do grego *synergía*, que significa ato ou esforço coordenado de vários órgãos na realização de uma função. De acordo com Raudsepp (1969 *apud* Back *et al.*, 2008), o método proposto tem base em registros e estudos de procedimentos adotados por grupos de trabalho que se mostraram altamente criativos. Foi constatado que as pessoas mais criativas costumavam usar o método da analogia, citado anteriormente, e, portanto, tratou-se de coordenar seu uso de forma mais objetiva, segundo as etapas: Formulação do problema, Análise do problema, Aplicação das analogias, Desenvolvimento da analogia, Aplicação da solução analógica, Avaliação da solução analógica e Busca por soluções alternativas (Figura 89).

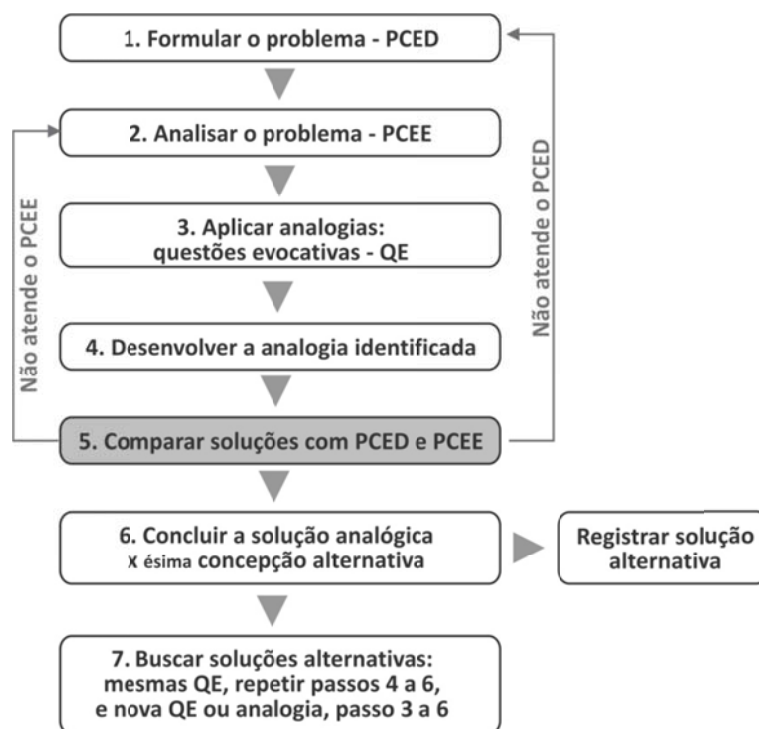


Figura 89: Processo de desenvolvimento do método sinético
Fonte: Adaptado de Back *et al.*, 2008

Métodos sistemáticos:

Método da Matriz Morfológica

Para a elaboração de modelos de concepção é necessária a combinação dos princípios de solução individuais, para formar os princípios de solução totais para o produto. Uma importante ferramenta para esse processo é a matriz morfológica, pois dispõe simultaneamente as funções que compõem a estrutura funcional escolhida para o produto e as diversas possibilidades de soluções para elas (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Segundo Basseto (2004), o método da matriz morfológica foi desenvolvido por Zwicky (1948) e consiste no desdobramento de um problema complexo em partes mais simples, sendo que as soluções das partes mais simples possam ser recombinadas para se obter a solução global, conforme mostra a Figura 90. O método consiste em sistematizar as idéias geradas pelos integrantes da equipe e combinar estas idéias, objetivando encontrar diversos arranjos para a concepção do produto. Realizados esses arranjos, são definidos os critérios para avaliar cada princípio gerado, escolhendo a melhor solução para o problema apresentado.

a) Alimentação	a.1 Posição do quadro											
	a.2 Sentido da alimentação											
b) Transporte	b.1 Tipo de dispositivo											
	b.2 Acionamento do transporte											
	b.3 Sentido do transporte											
c) Desoperculação	c.1 Movimento de corte											
	c.2 Tipo de dispositivo alternativo											
	c.3 Tipo de dispositivo rotativo fixo											
	c.4 Tipo de dispositivo rotativo articulado											
	c.5 Acionamento do dispositivo											
d) Controle	d.1 Tipo de controle	Contínuo	Discreto									
	d.2, d.3 e d.4 Forma de controle											
e) Saída	e.1 Sentido de saída do quadro											
	e.2 Sentido de saída da cera/mel											
	e.3 Tipos de receptores da cera/mel											

Figura 90: Matriz morfológica para concepção da desoperculadora de favos de mel
 Fonte: Resin (1989 *apud* Back *et al.*, 2008)

Na primeira coluna são descritas as funções identificadas na atividade da estruturação funcional. Depois de serem gerados o maior número possível de princípios de solução, estes são combinados, formando os princípios de solução totais para o produto.

Método da Análise de Valor

O método da análise do valor ou da engenharia do valor é utilizado para analisar atividades, serviços ou produtos, visando à redução de seus custos. Quando se fala em melhorar o custo do produto, este deve ser analisado na totalidade do processo de produção, levando-se em conta todas as fases do seu ciclo de vida, desde a concepção até o descarte. Esse método propõe uma revisão completa do projeto do produto, visando introduzir modificações como novos princípios de solução, tecnologias, materiais, processos de fabricação, formas de distribuição, de operação e de manutenção do produto, conforme indicado na Figura 91 (BACK *et al.*, 2008).

Análise do valor					
Número da folha:					
Data:					
Continuação da folha n ^o :					
Continua na folha n ^o :					
Identificação do produto:					
Identificação do subconjunto:					
Coluna 1	Número do elemento ou parte do produto	Nome do elemento ou operação a ser executada	Custo da mão-de-obra	Custo de material	Valor, função ou utilidade do elemento ou parte
Coluna 6	1) Esse componente ou parte dele pode ser eliminado?				
Coluna 7	2) Esse componente ou parte dele pode ser combinado com outras partes?				
Coluna 8	3) Pode ser decomposto em partes mais simples?				
Coluna 9	4) Pode ser usado um componente ou parte dele normalizada ou modularizada?				
Coluna 10	5) Um material normalizado pode ser usado?				
Coluna 11	6) Material mais barato pode ser usado?				
Coluna 12	7) Pode-se usar menor material?				
Coluna 13	8) Pode ser desperdiçado menos material?				
Coluna 14	9) Pode ser comprado um elemento ou parte dele mais barato?				
Coluna 15	10) Pode ser reduzido o refugo?				
Coluna 16	11) Podem os limites de tolerância ser ampliados?				
Coluna 17	12) Pode-se economizar no acabamento?				
Coluna 18	13) Pode-se reduzir o fisco de erro?				
Coluna 19	14) Pode ser feito algo mais para reduzir os custos sem prejudicar o valor do produto?				
Coluna 20	15) Pode ser feita mais alguma coisa?				

Figura 91: Modelo de folha padrão para análise de valor
Fonte: Back *et al.*, 2008

Método dos Princípios Inventivos (TRIZ)

O método dos princípios inventivos foi criado por Genrich Altshuller e busca atender às seguintes condições (Back *et al.*, 2008):

- Ser um procedimento sistemático (passo a passo);
- Guiar através de um amplo espaço de soluções e orientar para a solução ideal;
- Ser repetitivo e confiável e não depender de métodos intuitivos;
- Acessar o corpo de conhecimento inventivo;
- Ser suficientemente familiar aos inventores para seguirem uma maneira geral de solução de problemas.

Altshuller analisou milhares de patentes do mundo na área de engenharia, identificando as mais efetivas invenções, segundo o seu próprio julgamento. Esse trabalho resultou na observação de um padrão de evolução dos sistemas técnicos e deu início ao desenvolvimento de uma abordagem analítica para solucionar problemas inventivos. Foi a base para a criação da TRIZ, sua teoria sobre os problemas inventivos, que segue o seguinte axioma: “a evolução de todos os sistemas técnicos é governada por leis objetivas”.

Segundo Altshuller (2005), as inovações de um produto podem ser medidas em cinco níveis, desde um simples melhoramento de um sistema técnico existente, até a descoberta de novos fenômenos. A partir de sua ampla pesquisa com uma grande amostra de patentes (77%), as invenções puderam ser classificadas antes os níveis 1 e 2. A proposta de Altshuller é que, com a utilização do método da TRIZ, os inventores possam elevar as suas soluções inovativas para os níveis 3 e 4.

A lei da idealidade, proposta dentro da TRIZ, estabelece que todo o sistema técnico tende a ficar mais simples, mais efetivo, mais econômico, a ocupar menos espaço e a gastar menos energia. Ou seja, conforme é feito o aprimoramento do produto, mais próximo ele fica do seu ideal. E quanto mais próxima a invenção fica do padrão ideal, mais alto será o seu nível inventivo (ALTSULLER, 2005).

As mais efetivas soluções são alcançadas quando o inventor soluciona um problema técnico que contém uma contradição. As contradições ocorrem quando o inventor está tentando melhorar uma determinada característica (ou parâmetro) de um sistema técnico e acaba por causar outra característica que prejudica o sistema. Para resolver os problemas de

contradição, a TRIZ oferece a sua principal ferramenta: os princípios, os quais funcionam como sugestões para executar uma ação. Os 40 princípios permitem o desenvolvimento de numerosos conceitos de solução para problemas técnicos.

Para utilizar o método TRIZ, foi desenvolvida uma ferramenta analítica, chamada ARIZ, a qual proporciona os passos específicos seqüenciais para desenvolver uma solução para problemas complexos. As etapas são as seguintes:

- Análise do problema;
- Análise do modelo do problema;
- Formulação do Resultado final ideal;
- Utilização de substâncias externas e pesquisa de campo;
- Utilização de informação de banco de dados;
- Mudar ou reformular o problema;
- Análise do método que remove a contradição física;
- Utilização da solução encontrada;
- Análise das etapas que levam à solução.

Em síntese, o método envolve a utilização de 39 parâmetros de engenharia (listados na Figura 92), que são variáveis envolvidas em problemas técnicos de diversas áreas. Envolve também 40 princípios inventivos (identificados no anexo 01), obtidos a partir de uma pesquisa de patentes industriais. Um dos principais critérios de inclusão das patentes industriais como princípios inventivos foi a sua repetida aplicação na criação e melhoria de sistemas técnicos de diversas áreas. Os princípios inventivos de Altshuler funcionam como sugestões de como proceder para solucionar problemas quando há contradições entre os parâmetros de engenharia. Esse método consiste, inicialmente, em formular o problema na forma de contradições entre variáveis que devem ser melhoradas. Em seguida, devem ser relacionadas essas variáveis com os parâmetros estabelecidos por Altshuller. Com esse relacionamento e empregando-se a matriz de contradições, são identificados os princípios inventivos recomendados para a solução da contradição (BASSETTO, 2004).

PARÂMETRO DE ENGENHARIA	
1. Peso do objeto em movimento	21. Potência
2. Peso do objeto em repouso	22. Perda de energia
3. Comprimento do objeto em movimento	23. Perda de substância
4. Comprimento do objeto em repouso	24. Perda de informação
5. Área do objeto em movimento	25. Perda de tempo
6. Área do objeto em repouso	26. Quantidade de substância
7. Volume do objeto em movimento	27. Confiabilidade
8. Volume do objeto em repouso	28. Precisão de medição
9. Velocidade	29. Precisão de fabricação
10. Força	30. Fatores indesejados atuando no objeto
11. Tensão, Pressão	31. Efeitos colaterais indesejados
12. Forma	32. Manufaturabilidade
13. Estabilidade do objeto	33. Conveniência de uso
14. Resistência	34. Manutenibilidade
15. Durabilidade do objeto em movimento	35. Adaptabilidade
16. Durabilidade do objeto em repouso	36. Complexidade do objeto
17. Temperatura	37. Complexidade de controle
18. Brilho	38. Nível de automação
19. Energia gasta pelo objeto em movimento	39. Produtividade
20. Energia gasta pelo objeto em repouso	

Figura 92: Parâmetros de engenharia de Altschuller.
Fonte: Adaptado de Mazur (1995 *apud* Back, 2008)

APÊNDICE 2: Amostra da área do conhecimento

A elaboração do quadro a seguir provém de informações de princípios de solução da natureza contidas na obra *Vida, a ciência da Biologia* (SADAVA *et al.*, 2009). Mais explicações podem ser encontradas na página 103.

Quadro 12: Amostra da área do conhecimento a ser classificada.

Fonte: SADAVA *et al.*, 2009 - Continua nas páginas seguintes

AMOSTRA ("VIDA: A CIÊNCIA DA BIOLOGIA")		
NATUREZA	CONCEITO	VARIAÇÕES
Abscisão (655, 658)	Processo no qual as folhas, pétalas e frutas se separam da planta	
Absorção luz/líquido (140, 903-904, 905)	Absorção de luz: retenção completa, sem reflexão ou transmissão. Absorção de líquido: absorção por poros ou rachaduras	
Potenciais de ação (1082)	Um impulso em um neurônio tomando a forma de uma onda de depolarização ou hiperpolarização imposta sobre a superfície da célula polarizada	em músculos cardíacos (873-874); condução de ações potenciais (781-783); geração de ações potenciais (780-781); neurotransmissores e ações potenciais (786, 787); Períodos refratários (780); aumento de fase (780); condução saltatória (784-785); auto-regeneração (783); transdução sensorial (796)
Energia de ativação (102-103, 104-105)	A barreira de energia que bloqueia a tendência para um conjunto de substâncias químicas reagirem	
Transporte ativo	O transporte da substância através de uma membrana biológica contra um gradiente de concentração, ou seja de uma região de baixa concentração para uma região de alta concentração. Transporte ativo requer gasto de energia e é um processo saturado (contraste com difusão facilitada, livre difusão)	descrição (88-89), primário e secundário (89-90), envolvimento das proteínas (89), na absorção feita pelas plantas (621-622, 624)
Adaptação	Na evolução biológica, uma particular estrutura, um processo fisiológico ou comportamento que faz um organismo ser melhor para sobreviver e reproduzir. É também o processo de evolução que conduz ao desenvolvimento ou persistência de uma característica	Adaptação (evolução - 4, 7, 395, 396); Adaptação (sensorial - 797)
Alostéria (outra estrutura)	Regulação da atividade de uma proteína através da ligação de uma molécula efetora até um outro lugar, diferente do lugar ativo	enzimas alostéricas (109-110, 111, 132-134); regulação alostérica (evolução e caminhos do metabolismo) - 133-134, 110, 111, 132-134
Alternação de gerações (489-490, 501)	a sucessão das fases haplóide e diplóide em algumas reproduções de organismos, notadamente as plantas	
Anabolismo	Sintéticas reações do metabolismo, na qual moléculas complexas são formadas de moléculas simples	Vias anabólicas (132, 131-132); Reações anabólicas (96), esteróides anabólicos (727)
Anáfase	É um estágio na divisão celular no qual a primeira separação dos irmãos cromossomos ocorrem. A Anáfase dura do momento da primeira separação até a hora em que os cromossomos móveis convergem aos pólos do eixo.	Anáfase (meiose - 168, 169, 171) - (mitose - 163, 164)

Choque anafilático	uma queda de pressão causada pela perda de fluído dos capilares em função de um aumento na sua permeabilidade estimulada por uma reação alérgica	
Hormônio antidiurético (vaso pressão - 717, 718, 719, 882, 883, 923)	hormônio que controla a reabsorção de água nos rins dos mamíferos; também chamado de vaso pressão	
Antígeno (187, 358)	substância que estimula a produção de anticorpos no corpo de um vertebrado	Antígeno - apresentação de células (361, 366, 367) - local de ligação (imunoglobulinas) - 362, 363
Antiporte	Um processo de transporte de membrana que carrega uma substância em uma direção e outra na direção oposta	Transportadores Antiportes, 89
Simporte	Um processo de transporte de membrana que carrega duas substâncias na mesma direção através da membrana.	Transportadores Simportes, 89
Apoplasto	nas plantas, a malha contínua da paredes celulares e espaços extracelulares, através da qual materiais podem passar sem cruzar uma membrana plasmática	
Aparelho de Golgi	sistema de membranas dobradas concentricamente encontrado no citoplasma de células eucarióticas; funciona na secreção a partir da celular por exocitose	
Aparelho em fuso	arranjo de microtúbulos que se estende de pólo a pólo de um núcleo em divisão que tem a função no movimento dos cromossomos na divisão nuclear	
Aparelho vestibular	estrutura associada ao ouvido dos vertebrados, essas estruturas sentem variações na posição ou estado da cabeça, afetando a habilidade de equilíbrio e motora	
Aquaporina	Uma proteína de transporte em plantas e animais através da qual a água passa por osmose	
Acasalamento seletivo (404)	um sistema de reprodução no qual o acasalamento é selecionado em base a uma característica particular	
ATP sintase (127, 129, 145, 146)	uma proteína de membrana integral que liga o transporte das proteínas com a formação do ATP	Respiração aeróbica (115, 130); respiração anaeróbica (115); Quimiosmose (127-129., 145-146); ciclo do ácido cítrico (122, 123, 124, 130); fermentação (129, 130); metabolismo da glicose (115, 130); fosforilação oxidativa (125, 129); fotofosforilação (138, 142, 145, 146); Cadeia respiratória (118, 125, 126, 129, 130); nível do substrato
ATP (ADENOSINA TRIFOSFATO)	é um composto de armazenamento de energia	regulação alostérica do metabolismo (133); união das reações exergônicas e endergônicas (101-102); criação em mitocôndrias (68); energia função dos alimentos (887, 49, 101); em transporte ativo primário (89, 90); Receptores e estrutura de proteínas quinases (283, 101); usado em fotossíntese (147, 148)
Polimorfismo equilibrado	O manutenção de mais de uma forma ou um manutenção em um dado local em frequência de mais de 1% em uma população. Costumam ocorrer quando heterozigotos são superiores a ambos homozigotos	Alelos polimórficos (186); Polimorfismo em população (409); Polimorfismo em proteínas (332)

Simetria bilateral (546)	a condição em que só o lado direito e o lado esquerdo de um organismo, dividindo esse organismo exatamente nas costas, são imagens de espelho um do outro	evolução em animais (552)
Simetria birradial (546, 579)	simetria radial de forma que apenas dois planos podem dividir o animais em metades similares	
Aclimatização (700, 701)	o processo de mudança fisiológica e bioquímica que o animal passa em resposta às mudanças climáticas sazonais	
Acomodar/Adaptar (808)	capacidade das lentes do olho em focar os diversos objetos que estão em diferentes localizações no campo visual próximo;	
Reação do acrossoma (753, 754, 740, 755)	reação que permite o espermatozóide reconhecer o óvulo da mesma espécie e passar pelas suas camadas protetoras.	
Sacos de ar (854, 855, 856)	Além dos pulmões, os pássaros tem sacos de ar em diversos locais do corpo. Os sacos de ar são interconectados com os pulmões e com os espaços de ar em alguns dos ossos.	
Fermentação	campos de energia (129, 130); evolução histórica (134); fermentação e açúcar (120); resumo sobre fermentação (115, 129,130); estudo de Pasteur (114)	
movimento amebóide (833)	algumas células em animais multicelulares viajam pelo corpo através desse movimento, o qual é gerado pela atividade dos micro filamentos da actina e miosina. (microtubos criam movimento empurrando-se uns aos outros)	
o reflexo do mergulho (884)	quando um mamífero marinho mergulha, o seu coração bate devagar e as artérias da maioria dos órgão contraem de forma que quase todo o sangue escoo e o oxigênio disponível vai para o coração e o cérebro do animal. Essa adaptação permite a algumas espécies se manter em baixo d'água por mais de 1 hora.	
Anáfase (meiose) - 168, 169, 171	O estágio na divisão celular no qual a primeira separação dos irmãos cromossomos acontece.	
Anáfase (mitose) - 163, 164	divisão nuclear em eucariotos que leva à formação de dois núcleos-filhos, cada qual com um conjunto de cromossomos idênticos àquele do núcleo original	
mimetismo	a semelhança de um tipo de organismos ao meio ou a outro organismo de forma que seja difícil de encontrar para afastar predadores e aproximar presas	
bioluminescência	a produção de luz por um processo bioquímico em um organismo	
inflamação	uma defesa do organismo contra patógenos, caracterizada por vermelhidão, inchaço, dor e aumento de temperatura	
mecanismo de isolamento	mecanismo geográfico, fisiológico, ecológico ou comportamental que leva à redução de freqüência de acasalamentos híbridos	
lei da segregação	alelos se separam um do outro durante a formação do gameta	
maturação	o desenvolvimento automático de um padrão de comportamento, o qual cresce em complexidade e precisão ao longo do amadurecimento do animal	

mecanoreceptores	uma célula que é sensível ao movimento físico e gera ações potenciais em resposta	
Potencial de membrana	a diferença de carga elétrica entre o lado de dentro e de fora de uma célula, causada por uma diferença na distribuição dos íons.	
metamorfose	uma mudança radical que ocorre em dois estágios de desenvolvimento (ex. Larva em borboleta)	
microtúbulos	estruturas tubulares encontradas nos centríolos, cílios, flagelos, etc. Esses túbulos têm a função de locomoção e manutenção da forma das células eucariontes.	
osmose	o movimento da água através de uma membrana permeável de um lado para outro onde o potencial da água é mais negativo	
oxidação	relativa perda de elétrons em uma reação química	
foto respiração	absorção de oxigênio orientada pela luz e perda de dióxido de carbono	
reflexo	uma ação automática, envolvendo apenas alguns neurônios, no qual uma resposta motora segue o estímulo sensorial	
respiração	respiração celular, a oxidação da glicose restante, com o acúmulo de muita energia em ATP	
permeabilidade seletiva	a característica de uma membrana permitir a passagem de apenas certas substâncias	
transpiração	a evaporação de água das folhas de uma planta, em função do calor do sol e providenciando a força motivadora para fazer subir a água desde a raiz.	

APÊNDICE 3: Listagem de termos relevantes da amostra

A elaboração do quadro a seguir provém do desenvolvimento das informações apresentadas no apêndice 2. Nesta etapa, foram extraídos apenas os termos relevantes da amostra. Mais explicações encontram-se na página 103.

Quadro 13: Listagem dos termos relevantes da amostra.
Fonte: SADAVA *et al.*, 2009 - Continua nas páginas seguintes

AMOSTRA SELECIONADA		
TERMOS DA AMOSTRA		
Abscisão	Espaços de ar	Orientação pela luz
Absorção	Espaços extracelulares	Osiose
Ação automática	Espécie	Ossos
Acasalamento seletivo	Espermatozóide	Ouvido
Acasalamentos híbridos	Estágio	Óvulo
Ácido cítrico	Estágios de desenvolvimento	Oxidação
Aclimatização	Esteróides anabólicos	Oxigênio
Acomodar	Estimular	Paredes celulares
Actina	Estímulo sensorial	Passar
Açúcar	Estruturar	Passar sem cruzar
Acumular	Estruturas tubulares	Pássaros
Adaptação	Estudar	Pasteur
Afastar	Eucariotos	Patógenos
Afetar	Evaporação de água	Perda
Água (elemento - <i>a água</i>)	Evolução	Perda de elétrons
Água (meio - <i>na água</i>)	Evolução Histórica	Perda de fluido
Alelos polimórficos	Excitose	Períodos refratários
Alimentos	Fases diplóides	Permeabilidade seletiva
Alternância de gerações	Fases haplóides	Permeiar
Amadurecimento	Fazer subir	Permitir
Amebas	Fermentação	Permitir a passagem
Anabolismo	Flagelos	Persistência
Anáfase	Folhas	Pétalas
Animais	Força motivadora	Planta
Antígeno	Formação	Polimorfismo equilibrado
Antiporte	Formação do atp	Pólos do eixo
Ao longo de	Formação do Gameta	População
Aparelho de golgi	Fosforilação oxidativa	Poros
Aparelho em fuso	Fotofosforilação respiratória	Potencial de ação
Aparelho vestibular	Fotorespiração	Potencial de membrana
Apoplasto	Fotossíntese	Potencial Negativo
Aproximar	Frequência	Predadores
Aquaporina	Gasto	Presas

Armazenamento	Geração	Processo
Arranjar	Glicose	Processo bioquímico
Artérias	Gradiente de concentração	Processo fisiológico
Assemelhar-se a outro organismo	Hemoglobinas	Processo Saturado
Assemelhar-se ao meio	Heterozigotos	Produção de anticorpos
Associar	Hiperpolarização	Produção de luz
Atividade	Homozigotos	Proteínas
ATP sintase	Hora	Proteínas Quinases
Aumento de fase	Hormônio antidiurético	Providenciar
Aumento de Temperatura	Impulsionar	Próximo
Auto-regeneração	Inchar	Pulmões
Barrar	Inflamação	Quando
Bater	Interconectar	Queda de pressão
Bioluminescência	Irmãos cromossomos	Rachaduras
Bloquear	Juntar	Radial
Borboleta	Lado de Dentro	Raiz
Cadeia respiratória	Lado de Fora	Reabsorção de água
Calor do sol	Lado Direito	Reação Alérgica
Camadas protetoras	Lado Esquerdo	Reação do acrossoma
Caminhos do metabolismo	Larva	Reação química
Campo visual	Lentes do olho	Reações anabólicas
Campos de energia	Levar	Reações Endergônica
Capacidade em focar	Ligar	Reações Exergônica
Capilares	Líquido (elemento - <i>um líquido</i>)	Reações sintéticas
Carga elétrica	Líquido (meio - <i>em meio líquido</i>)	Reagir
Carregar	Livre difusão	Receptores
Causar vermelhidão	Local ativo	Reconhecer
Célula polarizada	Local de ligação	Redução de frequência
Células eucariontes	Localizações	Reflexo
Centríolos	Locomoção	Região de alta concentração
Cérebro	Luz	Região de baixa concentração
Choque anafilático	Malha contínua	Regulação
Ciclo	Marinho	Regulação alostérica
Cílios	Mamíferos	Reproduzir
Citoplasma	Mantenimento	Requerer
Comportar-se	Manutenção da forma	Respiração Aeróbica
Composição	Materiais	Respiração Anaeróbica
Condução de ações potenciais	Maturação	Respiração celular
Condução saltatória	Mecanismo comportamental	Resposta
Contrair	Mecanismo de isolamento	Resposta motora
Controlar	Mecanismo Ecológico	Resumir
Convergir	Mecanismo fisiológico	Retenção completa
Coração	Mecanismo geográfico	Rins
Corpo	Mecanoreceptores	Sacos de ar

Costas	Meiose	Sangue
Cresce em complexidade	Membrana biológica	Separam-se um do outro
Cresce em precisão	Membrana dobradas concentricamente	Secreção
Criação	Membrana Integral	Segregação
Cromossomos móveis	Membrana permeável	Segue
De pólo a pólo	Membrana plasmática	Selecionar
De um lado a outro	Mergulhar	Sensibilidade
Defesa	Metabolismo	Sensor
Descrição	Metamorfose	Separação
Desenvolvimento	Microfilamentos	Simetria bilateral
Desenvolvimento Automático	Microtúbulos	Simetria Birradial
Despolarização	Mimetismo	Simporte
Devagar	Miosina	Sistema de reprodução
Diferentes localizações	Mitocôndrias	Sobreviver
Difusão facilitada	Mitose	Substâncias químicas
Dióxido de carbono	Molécula efetora	Substrato
Dirigir	Moléculas complexas	Substrato
Distribuição de íons	Moléculas simples	Sucessão de fases
Diversos objetos	Momento	Sucessão de fases
Divisão	Movimento	Superfície
Divisão celular	Movimento amebóide	Superfície
Doer	Movimento da água	Tender
Duração	Movimentos físicos	Transdução sensorial
Em baixo d'água	Mudança Bioquímica	Transmissão
Em população	Mudança fisiológica	Transpiração
Em proteínas	Mudança radical	Transportadores simportes
Empurrando	Mudanças Climáticas sazonais	Transporte
Encontrar	Multicelulares	Transporte ativo
Energia	Músculos cardíacos	Transporte de membrana
Energia de ativação	Neurônio	Túbulos
Envolvimento	Neurotransmissores	Variar posição
Enzimas alostéricas	Núcleo	Vasopressão
Equilíbrio	Núcleos-filhos	Vertebrado
Escoar	Organismo	Viajar
Espaços de ar	Órgãos	Vias Anabólicas

APÊNDICE 4: Agrupamento dos elementos segundo as categorias principais

A elaboração do quadro a seguir provém do desenvolvimento das informações apresentadas no apêndice 3. Nesta etapa, foram agrupados os termos semelhantes da amostra, segundo as categorias principais (Personalidade, Matéria, Energia, Espaço e Tempo). Mais explicações encontram-se na página 104.

Quadro 14: Agrupamento dos elementos segundo as categorias principais (PMEST).
Fonte: SADAVA *et al.*, 2009 - Continua nas páginas seguintes

AGRUPAMENTO EM FACETAS			
AMOSTRA	FACETAS	AMOSTRA	FACETAS
Abscisão	ENERGIA	Líquido (elemento – <i>um líquido</i>)	PERSONA./MATÉRIA
Absorção	ENERGIA	Líquido (meio – <i>em meio líquido</i>)	MEIO/ESPAÇO
Ação automática	ENERGIA	Livre difusão	ENERGIA
Acasalamento seletivo	ENERGIA	Local ativo	MEIO/ESPAÇO
Acasalamentos híbridos	ENERGIA	Local de ligação	MEIO/ESPAÇO
Ácido cítrico	PERSONA./MATÉRIA	Localizações	MEIO/ESPAÇO
Aclimatização	ENERGIA	Locomoção	ENERGIA
Acomodar	ENERGIA	Luz	PERSONA./MATÉRIA
Actina	PERSONA./MATÉRIA	Malha contínua	PERSONA./MATÉRIA
Açúcar	PERSONA./MATÉRIA	Marinho	MEIO/ESPAÇO
Acumular	ENERGIA	Mamíferos	PERSONA./MATÉRIA
Adaptação	ENERGIA	Mantenimento	ENERGIA
Afastar	ENERGIA	Manutenção da forma	ENERGIA
Afetar	ENERGIA	Materiais	PERSONA./MATÉRIA
Água (elemento – <i>a água</i>)	PERSONA./MATÉRIA	Maturação	ENERGIA
Água (meio – <i>na água</i>)	MEIO/ESPAÇO	Mecanismo comportamental	PERSONA./MATÉRIA
Alelos polimórficos	PERSONA./MATÉRIA	Mecanismo de isolamento	PERSONA./MATÉRIA
Alimentos	PERSONA./MATÉRIA	Mecanismo Ecológico	PERSONA./MATÉRIA
Alternação de gerações	ENERGIA	Mecanismo fisiológico	PERSONA./MATÉRIA
Amadurecimento	ENERGIA	Mecanismo geográfico	PERSONA./MATÉRIA
Amebas	PERSONA./MATÉRIA	Mecanoreceptores	PERSONA./MATÉRIA
Anabolismo	ENERGIA	Meiose	ENERGIA
Anáfase	ENERGIA	Membrana biológica	PERSONA./MATÉRIA
Animais	PERSONA./MATÉRIA	Membrana dobradas concetricamente	PERSONA./MATÉRIA
Antígeno	PERSONA./MATÉRIA	Membrana Integral	PERSONA./MATÉRIA
Antiporte	ENERGIA	Membrana permeável	PERSONA./MATÉRIA
Ao longo de	TEMPO	Membrana plasmática	PERSONA./MATÉRIA
Aparelho de golgi	PERSONA./MATÉRIA	Mergulhar	ENERGIA
Aparelho em fuso	PERSONA./MATÉRIA	Metabolismo	ENERGIA
Aparelho vestibular	PERSONA./MATÉRIA	Metamorfose	ENERGIA

Apoplasto	ENERGIA	Microfilamentos	PERSONA./MATÉRIA
Aproximar	ENERGIA	Microtúbulos	PERSONA./MATÉRIA
Aquaporina	PERSONA./MATÉRIA	Mimetismo	ENERGIA
Armazenamento	ENERGIA	Miosina	PERSONA./MATÉRIA
Arranjar	ENERGIA	Mitocôndrias	PERSONA./MATÉRIA
Artérias	PERSONA./MATÉRIA	Mitose	ENERGIA
Assemelhar-se a outro organismo	ENERGIA	Molécula efetora	PERSONA./MATÉRIA
Assemelhar-se ao meio	ENERGIA	Moléculas complexas	PERSONA./MATÉRIA
Associar	ENERGIA	Moléculas simples	PERSONA./MATÉRIA
Atividade	ENERGIA	Momento	TEMPO
ATP sintase	PERSONA./MATÉRIA	Movimento	ENERGIA
Aumento de fase	ENERGIA	Movimento amebóide	ENERGIA
Aumento de Temperatura	ENERGIA	Movimento da água	ENERGIA
Auto-regeneração	ENERGIA	Movimentos físicos	ENERGIA
Barrar	ENERGIA	Mudança Bioquímica	ENERGIA
Bater	ENERGIA	Mudança fisiológica	ENERGIA
Bioluminescência	ENERGIA	Mudança radical	ENERGIA
Bloquear	ENERGIA	Mudanças Climáticas sazonais	TEMPO
Borboleta	PERSONA./MATÉRIA	Multicelulares	PERSONA./MATÉRIA
Cadeia respiratória	PERSONA./MATÉRIA	Músculos cardíacos	PERSONA./MATÉRIA
Calor do sol	PERSONA./MATÉRIA	Neurônio	PERSONA./MATÉRIA
Camadas protetoras	PERSONA./MATÉRIA	Neurotransmissores	PERSONA./MATÉRIA
Caminhos do metabolismo	MEIO/ESPAÇO	Núcleo	PERSONA./MATÉRIA
Campo visual	MEIO/ESPAÇO	Núcleos-filhos	PERSONA./MATÉRIA
Campos de energia	MEIO/ESPAÇO	Organismo	PERSONA./MATÉRIA
Capacidade em focar	PERSONA./MATÉRIA	Órgãos	PERSONA./MATÉRIA
Capilares	PERSONA./MATÉRIA	Orientação pela luz	ENERGIA
Carga elétrica	PERSONA./MATÉRIA	Osmose	ENERGIA
Carregar	ENERGIA	Ossos	PERSONA./MATÉRIA
Causar vermelhidão	ENERGIA	Ouvido	PERSONA./MATÉRIA
Célula polarizada	PERSONA./MATÉRIA	Óvulo	PERSONA./MATÉRIA
Células eucariontes	PERSONA./MATÉRIA	Oxidação	ENERGIA
Centríolos	PERSONA./MATÉRIA	Oxigênio	PERSONA./MATÉRIA
Cérebro	PERSONA./MATÉRIA	Paredes celulares	PERSONA./MATÉRIA
Choque anafilático	ENERGIA	Passar	ENERGIA
Ciclo	TEMPO	Passar sem cruzar	ENERGIA
Cílios	PERSONA./MATÉRIA	Pássaros	PERSONA./MATÉRIA
Citoplasma	PERSONA./MATÉRIA	Pasteur	PERSONA./MATÉRIA
Comportar-se	ENERGIA	Patógenos	PERSONA./MATÉRIA
Composição	ENERGIA	Perda	ENERGIA
Condução de ações potenciais	ENERGIA	Perda de elétrons	ENERGIA
Condução saltatória	ENERGIA	Perda de fluido	ENERGIA

Contrair	ENERGIA	Períodos refratários	TEMPO
Controlar	ENERGIA	Permeabilidade seletiva	ENERGIA
Convergir	ENERGIA	Permear	ENERGIA
Coração	PERSONA./MATÉRIA	Permitir	ENERGIA
Corpo	PERSONA./MATÉRIA	Permitir a passagem	ENERGIA
Costas	MEIO/ESPAÇO	Persistência	ENERGIA
Cresce em complexidade	ENERGIA	Pétalas	PERSONA./MATÉRIA
Cresce em precisão	ENERGIA	Planta	PERSONA./MATÉRIA
Criação	ENERGIA	Polimorfismo equilibrado	ENERGIA
Cromossomos móveis	PERSONA./MATÉRIA	Pólos do eixo	MEIO/ESPAÇO
De pólo a pólo	MEIO/ESPAÇO	População	PERSONA./MATÉRIA
De um lado a outro	MEIO/ESPAÇO	Poros	PERSONA./MATÉRIA
Defesa	ENERGIA	Potencial de ação	ENERGIA
Descrição	ENERGIA	Potencial de membrana	ENERGIA
Desenvolvimento	ENERGIA	Potencial Negativo	ENERGIA
Desenvolvimento Automático	ENERGIA	Predadores	PERSONA./MATÉRIA
Despolarização	ENERGIA	Presas	PERSONA./MATÉRIA
Devagar	TEMPO	Processo	ENERGIA
Diferentes localizações	MEIO/ESPAÇO	Processo bioquímico	ENERGIA
Difusão facilitada	ENERGIA	Processo fisiológico	ENERGIA
Dióxido de carbono	PERSONA./MATÉRIA	Processo Saturado	ENERGIA
Dirigir	ENERGIA	Produção de anticorpos	ENERGIA
Distribuição de íons	ENERGIA	Produção de luz	ENERGIA
Diversos objetos	PERSONA./MATÉRIA	Proteínas	PERSONA./MATÉRIA
Divisão	ENERGIA	Proteínas Quinases	PERSONA./MATÉRIA
Divisão celular	ENERGIA	Providenciar	ENERGIA
Doer	ENERGIA	Próximo	MEIO/ESPAÇO
Duração	TEMPO	Pulmões	PERSONA./MATÉRIA
Em baixo d'água	MEIO/ESPAÇO	Quando	TEMPO
Em população	MEIO/ESPAÇO	Queda de pressão	ENERGIA
Em proteínas	MEIO/ESPAÇO	Rachaduras	PERSONA./MATÉRIA
Empurrando	ENERGIA	Radial	PERSONA./MATÉRIA
Encontrar	ENERGIA	Raiz	PERSONA./MATÉRIA
Energia	PERSONA./MATÉRIA	Reabsorção de água	ENERGIA
Energia de ativação	PERSONA./MATÉRIA	Reação Alérgica	ENERGIA
Envolvimento	ENERGIA	Reação do acrossoma	ENERGIA
Enzimas alostéricas	PERSONA./MATÉRIA	Reação química	ENERGIA
Equilíbrio	ENERGIA	Reações anabólicas	ENERGIA
Escoar	ENERGIA	Reações Endergônica	ENERGIA
Espaços de ar	PERSONA./MATÉRIA	Reações Exergônica	ENERGIA
Espaços de ar	MEIO/ESPAÇO	Reações sintéticas	ENERGIA
Espaços extracelulares	MEIO/ESPAÇO	Reagir	ENERGIA
Espécie	PERSONA./MATÉRIA	Receptores	PERSONA./MATÉRIA
Espermatozóide	PERSONA./MATÉRIA	Reconhecer	ENERGIA

Estágio	TEMPO	Redução de frequência	ENERGIA
Estágios de desenvolvimento	TEMPO	Reflexo	ENERGIA
Esteróides anabólicos	PERSONA./MATÉRIA	Região de alta concentração	MEIO/ESPAÇO
Estimular	ENERGIA	Região de baixa concentração	MEIO/ESPAÇO
Estímulo sensorial	ENERGIA	Regulação	ENERGIA
Estruturar	ENERGIA	Regulação alostérica	ENERGIA
Estruturas tubulares	PERSONA./MATÉRIA	Reproduzir	ENERGIA
Estudar	ENERGIA	Requerer	ENERGIA
Eucariotos	PERSONA./MATÉRIA	Respiração Aeróbica	ENERGIA
Evaporação de água	ENERGIA	Respiração Anaeróbica	ENERGIA
Evolução	ENERGIA	Respiração celular	ENERGIA
Evolução Histórica	TEMPO	Resposta	ENERGIA
Excitose	ENERGIA	Resposta motora	ENERGIA
Fases diplóides	TEMPO	Resumir	ENERGIA
Fases haplóides	TEMPO	Retenção completa	ENERGIA
Fazer subir	ENERGIA	Rins	PERSONA./MATÉRIA
Fermentação	ENERGIA	Sacos de ar	PERSONA./MATÉRIA
Flagelos	PERSONA./MATÉRIA	Sangue	PERSONA./MATÉRIA
Folhas	PERSONA./MATÉRIA	Separam-se um do outro	ENERGIA
Força motivadora	PERSONA./MATÉRIA	Secreção	ENERGIA
Formação	ENERGIA	Segregação	ENERGIA
Formação do atp	ENERGIA	Segue	ENERGIA
Formação do Gameta	ENERGIA	Selecionar	ENERGIA
Fosforilação oxidativa	ENERGIA	Sensibilidade	ENERGIA
Fotofosforilação respiratória	ENERGIA	Sensor	PERSONA./MATÉRIA
Fotorespiração	ENERGIA	Separação	ENERGIA
Fotossíntese	ENERGIA	Simetria bilateral	PERSONA./MATÉRIA
Frequência	TEMPO	Simetria Birradial	PERSONA./MATÉRIA
Gasto	ENERGIA	Simporte	ENERGIA
Geração	ENERGIA	Sistema de reprodução	ENERGIA
Glicose	PERSONA./MATÉRIA	Sobreviver	ENERGIA
Gradiente de concentração	ENERGIA	Substâncias químicas	PERSONA./MATÉRIA
Hemoglobinas	PERSONA./MATÉRIA	Substrato	PERSONA./MATÉRIA
Heterozigotos	PERSONA./MATÉRIA	Substrato	MEIO/ESPAÇO
Hiperpolarização	ENERGIA	Sucessão de fases	ENERGIA
Homozigotos	PERSONA./MATÉRIA	Sucessão de fases	TEMPO
Hora	TEMPO	Superfície	PERSONA./MATÉRIA
Hormônio antidiurético	PERSONA./MATÉRIA	Superfície	MEIO/ESPAÇO
Impulsionar	ENERGIA	Tender	ENERGIA
Inchar	ENERGIA	Transdução sensorial	ENERGIA
Inflamação	ENERGIA	Transmissão	ENERGIA
Interconectar	ENERGIA	Transpiração	ENERGIA

Irmãos cromossomos	PERSONA./MATÉRIA	Transportadores simportes	PERSONA./MATÉRIA
Juntar	ENERGIA	Transporte	ENERGIA
Lado de Dentro	MEIO/ESPAÇO	Transporte ativo	ENERGIA
Lado de Fora	MEIO/ESPAÇO	Transporte de membrana	ENERGIA
Lado Direito	MEIO/ESPAÇO	Túbulos	PERSONA./MATÉRIA
Lado Esquerdo	MEIO/ESPAÇO	Variar posição	ENERGIA
Larva	PERSONA./MATÉRIA	Vasopressão	ENERGIA
Lentes do olho	PERSONA./MATÉRIA	Vertebrado	PERSONA./MATÉRIA
Levar	ENERGIA	Viajar	ENERGIA
Ligar	ENERGIA	Vias Anabólicas	MEIO/ESPAÇO

APÊNDICE 5: Banco de dados inicial dos princípios naturais de solução

Quadro tipo banco de dados contendo as características dos princípios de solução extraídos do livro *Vida: a Ciência da Biologia*, organizadas segundo as facetas definidas pela taxonomia. Mais explicações encontram-se na página 107.

Quadro 15: Banco de dados inicial dos princípios naturais de solução
Fonte: SADAVA *et al.*, 2009 - Continua nas páginas seguintes

BANCO DE DADOS INICIAL (DADOS DA AMOSTRA)						
FUNÇÃO		MEIO	PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO		DETALHAMENTO	
AÇÃO	OBJETO DA AÇÃO	MEIO/ESPAÇO	PORTADOR DO EFEITO	EFEITO FÍSICO	EXEMPLO	PG
Abcissão	partes do vegetal	aéreo	pecíolo (mecanismo de junção)	degradação	folhas, pétalas e frutas das árvores	942
Absorção	luz	aéreo	pigmentos acessórios (clorofilas, carotenóides, ficobilinas)	compatibilidade da molécula com os comprimentos de onda do espectro eletromagnético incidido	em organismos fotossintéticos (plantas, protistas e bactérias)	163
Ingestão	presas	água	fendas	filtração	fendas faríngeas dos cordados	722
selecionar	sólido	mistura lamacenta	bico serrado	filtração	bico serrado dos flamingos	677
capturação	pequenas partículas	marinho	poros + canais	filtração	esponjas	677
Deslocamento	água	marinho	flagelos	batimentos	flagelos dos coanócitos das esponjas	677
ingestão	minúsculos organismos	marinho	placas com longos pêlos (semelhantes a pentes)	filtração	baleias azuis	676
Divisão	rocha	indeterminado	água, ácido carbônico	hidrólise	Rochas	922
Divisão	rocha	indeterminado	oxigênio, ácido carbônico	oxidação	Rochas	922
Divisão	rocha	aéreo	agente de secagem	dessecação	Rochas	922
Divisão	rocha	aéreo	agente resfriador	congelamento	Rochas	922
Passagem	pequenas moléculas	membrana celular	molécula hidrofóbica	por solubilidade	difusão simples	106
Ampliar	corpo	Celular	solução hipotônica	osmose (ganho água)	osmose	107
Reduzir	corpo	Celular	solução hipertônica	osmose (perda água)	osmose	107
Absorção	proteínas	citoplasma	complexo de golgi (região cis)	por fusão de membrana	complexo de golgi	81
Acumulação	proteínas	citoplasma	complexo de golgi	por canais	complexo de golgi	81

Transporte	proteínas	citoplasma	complexo de golgi	brotamento de vesículas (pacotes)	complexo de golgi	81
Equilíbrio	corpo humano	indeterminado	mecanorreceptores	deteção da posição do corpo com relação à gravidade	células pilosas	1110
Equilíbrio	corpo humano	indeterminado	canais semicirculares	por deslocamento de fluidos	aparelho vestibular	1110
Equilíbrio	corpo peixe	água	células pilosas	aumento/diminuição de pressão sobre os cílios	linha lateral do sistema sensorial dos peixes	1110
Emissão	neurotransmissores	sistema nervoso	células pilosas	abertura e fechamento de canais iônicos	células pilosas	1110
Abrir	canais iônicos	membrana plasmática	estereocílios/microvilosidades	por flexão/curvatura + amarras entre filamentos	células pilosas	1110
Fechar	canais iônicos	membrana plasmática	estereocílios/microvilosidades	por flexão/curvatura + amarras entre filamentos	células pilosas	1110
Transmissão	água	dentro das planta	malha contínua da parede celular (apoplasto)	por difusão, utilizando as paredes como vias	células vegetais	905
Transmissão	minerais	dentro das planta	malha contínua da parede celular (apoplasto)	por difusão, utilizando as paredes como vias	células vegetais	905
Transmissão	fungos	aéreo	esporângios	por produção de esporos	fungos	659
Reprodução	fungos	indeterminado	corpo	por divisão celular simétrica (fissão)	fungos	659
Reprodução	fungos	indeterminado	corpo	por divisão celular assimétrica (brotamento)	fungos	659
Reprodução	fungos	Aquoso	Asco (saco microscópico)	carregamento em sacos	fungos ascomicetos	665
Reprodução	fungos	Terrestre	Asco (saco microscópico)	carregamento em sacos	fungos ascomicetos	665
Reprodução	fungos	Aquoso	gametas flagelados	deslocamento	fungos aquáticos, quitrídeos	663
Constricção	vasos sanguíneo	sistema vascular	receptor de estiramento (baroreceptor)	alteração na pressão sanguíneas	centros cardiovasculares do bulbo	1198
Constricção	vasos sanguíneo	sistema vascular	receptor de estiramento (quimiorreceptor)	alteração na composição sanguíneas	centros cardiovasculares do bulbo	1198
Proteção	vasos sanguíneos	sistema vascular	astrócitos (células gliais)	formação de barreira	barreira hematoencefálica	1082, 1195

Isolamento	eletricidade	sistema nervoso	células de schwann	produção de camadas de mielina	encéfalo humano	1082
Condução	estímulos nervosos	sistema nervoso	oligodendróцитos	produção de camadas de mielina	encéfalo humano	1082
Divisão	genoma ou cromossomo	celular	enzimas (endonuclease) de restrição	por isolamento e quebra em fragmentos	biblioteca gênica	362
Transformação	energia (química para luminosa)	indeterminado	Enzima: Luciferase - Substrato: luciferina	reação endergônica acionada pela hidrólise de ATP. Interconversão pela oxidação enzimática de um substrato	vagalumes, peixes+bactérias	124, 567, 1157
Transformação	coloração corporal	indeterminado	cromatóforos	liberação de cromatóforos em função da compactação ou extensão das fibras musculares	moluscos sépia	1157
Transporte	prótons	celular	bomba de prótons	criação de gradiente de concentração; criação de um gradiente elétrico	membranas das células dos vegetais	903, 150, 913
Transporte	substâncias moleculares	celular	bomba de sódio-potássio	quebra/desintegração e liberação de energia	membranas das células dos animais	111, 1083
Transformação	substância em estímulo	indeterminado	botões gustativos	alteração no potencial de membrana	nas papilas da língua, cavidade bucal dos animais terrestres; na pele de alguns peixes	1105, 1107
Direcionamento	planta	no ar à luz do dia	fotoreceptor	sensibilidade à luz	fototropismo	939
Crescimento	planta	no ar à luz do dia	auxinas do coleóptilo	concentração no lado sombreado e consequente crescimento desigual das células deste lado, inclinando o vegetal em direção ao sol	fototropismo	939
Crescimento	planta	sob a lei da gravidade	auxinas	concentração em baixo em função da força gravitacional e consequente crescimento desigual	gravitropismo	941

				das células de baixo		
Crescimento	plantas	indeterminado	hormônio auxinas	afrouxamento e extensão dos limites	parede celular vegetal	943
Elasticidade	plantas	indeterminado	hormônio auxinas	afrouxamento e extensão dos limites	parede celular vegetal	943
Plasticidade	plantas	indeterminado	hormônio auxinas	afrouxamento e extensão dos limites	parede celular vegetal	943
Proteção	tecido externo das plantas ("pele")	aéreo	sistema dérmico	secreção de revestimento ceroso (cutina) que ajuda a retardar a perda de água	plantas	884
Estruturação	corpo da planta	aéreo	traqueídeo	enrijecimento de células	plantas vasculares	617, 884
Sustentação rígida	corpo da planta	aéreo	células de esclerênquima (fibras)	fibras organizadas em feixes	lenho e outras partes das plantas	886
Sustentação rígida	corpo da planta	aéreo	células de esclerênquima (esclereídes)	unidades densamente reunidas	envoltório nozes ou sementes	886
Absorção	luz	à luz do dia	sistema fundamental	fotossíntese	plantas vasculares	884
Transporte	íons	xilema	elementos traqueais, por meio de pontuações, interrupções na parede secundária	potencial de pressão (pressão de turgor)	plantas vasculares	617, 887
Transporte	minerais	xilema	elementos traqueais, por meio de pontuações, interrupções na parede secundária	potencial de pressão (pressão de turgor)	plantas vasculares	617, 887
Transporte	água	xilema	elementos traqueais, por meio de pontuações, interrupções na parede secundária	potencial de pressão (pressão de turgor)	plantas vasculares	617, 887
Transporte	íons	xilema	elementos de vaso; formação de um tubo oco contínuo como um canal aberto para a passagem da água	potencial de pressão (pressão de turgor)	angiospermas	887
Transporte	minerais	xilema	elementos de vaso; formação de um tubo oco contínuo como um canal aberto para a passagem da água	potencial de pressão (pressão de turgor)	angiospermas	887

Transporte	água	xilema	elementos de vaso; formação de um tubo oco contínuo como um canal aberto para a passagem da água	potencial de pressão (pressão de turgor)	angiospermas	887
Transporte	carboidratos e nutrientes	floema	tubos crivados (tipo peneiras)	formação de tubos longos com poros	plantas vasculares	888
Crescimento primário	vegetais	aéreo	meristema apical	por divisão celular, seguida de expansão e diferenciação	extremidades de raízes, caules e nas gemas	890
Proteção	raiz	terrestre	coifa	criação de envoltório protetor	meristema apical vegetais	891
Crescimento secundário	vegetais	indeterminado	câmbio vascular	aumento no diâmetro por acúmulo de xilema e floema	plantas vasculares	894
Absorção	gás carbônico	Aéreo	estômatos	penetração por difusão	eudicotiledôneas e monocotiledôneas	909
Retenção	água	Aéreo	epiderme de folhas e caules	secreção de uma cutícula cerosa	vegetais	909
Abertura	estômato	aéreo à luz do dia	células guarda	potencial hídrico mais negativo e absorção de água	eudicotiledôneas e monocotiledôneas	909
Fechamento	estômato	aéreo à noite	células guarda	perda de água e afrouxamento das células	eudicotiledôneas e monocotiledôneas	909
Carregamento	sacarose e outros solutos	sistema vascular vegetal	células fonte	por combinação de diferenças de potencial de pressão e potencial hídrico	plantas vasculares	912
Descarregamento	sacarose e outros solutos	sistema vascular vegetal	células dreno	por combinação de diferenças de potencial de pressão e potencial hídrico	plantas vasculares	912
quebrar	sólido	indeterminado	Rádula	raspagem	rádulas dos caracóis	700
quebrar	sólido	indeterminado	Dentes e mandíbulas	mastigação	mandíbulas dos peixes	725
Aumentar força	corpo	indeterminado	articulações	sistema de alavanca	maxilar e joelho humanos	1156
Aumentar velocidade	corpo	indeterminado	articulações	sistema de alavanca	maxilar e joelho humanos	1156
movimentar em diferentes direções	membros do corpo	indeterminado	articulações	rotação	articulação tipo bola e soquete, pivô, tipo sela, elipsóide,	1155

					dobradiça e plana	
Unir	células	intercelular	proteínas de junção	junções aderentes ("costuras")	células epiteliais	104
Vedação	tecidos	corpo	proteínas de junção	junções aderentes ("costuras")	células epiteliais	104
Unir	células	intercelular	desmossomos	criação de fibras longitudinais ("rebites")	células epiteliais	104
Estabilidade mecânica	tecidos	corpo	desmossomos	criação de fibras longitudinais ("rebites")	células epiteliais	104
Unir	células	intercelular	junções GAP	formação de canais de conexão	células de tecidos nervosos e musculares	104
transmissão	pequenas moléculas e íons solúveis	intercelular	junções GAP	formação de canais de conexão	células de tecidos nervosos e musculares	104
Aumentar capacidade de absorção	nutrientes	indeterminado	vilosidades e microvilosidades	dobras que aumentam a superfície de contato	vertebrados	1213
Transferência	materiais	atmosfera	água	mudanças de estado físico	ciclo hidrológico	843
Transferência	materiais	oceanos, águas doces	água	mudanças de estado físico	ciclo hidrológico	843
Transferência	materiais	ambientes terrestres	água	mudanças de estado físico	ciclo hidrológico	843
Consumir	energia da vegetação	aéreo	Raios	queima e liberação dos elementos químicos	queima de florestas	844
Liberação	gás carbônico	atmosfera	fogo	queima de biomassa	queima de florestas	843
separação	plasma	sangue	indeterminado	centrifugação		1191
separação	células sanguíneas (glóbulos brancos, vermelhos e plaquetas)	sangue	indeterminado	centrifugação		1191

APÊNDICE 6: Banco de dados organizado segundo a taxonomia proposta

Com base nas subfacetas e categorias propostas na taxonomia, agrupam-se os elementos do banco de dados dos princípios naturais de solução, gerando o quadro a seguir. Mais explicações encontram-se na página 112.

Quadro 16: Banco de dados organizado segundo a taxonomia proposta
Fonte: SADAVA *et al.*, 2009 - Continua nas páginas seguintes

BANCO DE DADOS FINAL (ORDENAÇÃO SEGUNDO TAXONOMIA)						
REQUISITOS PROJETO			PRINCÍPIOS NATURAIS DE SOLUÇÃO			
AÇÃO	OBJETO DA AÇÃO	MEIO MATERIAL	PORTADOR DO EFEITO	EFEITO FÍSICO	EXEMPLO	PG
DIVIDIR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	pecíolo (mecanismo de junção)	degradação	folhas, pétalas e frutas das árvores	942
ABSORVER	OBJ. ELETROMAG.	MEIO GASOSO	pigmentos acessórios (clorofilas, carotenóides, ficobilinas)	compatibilidade da molécula com os comprimentos de onda do espectro eletromagnético incidido	em organismos fotossintéticos (plantas, protistas e bactérias)	163
ABSORVER	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	fendas	filtração	fendas faríngeas dos cordados	722
SELECIONAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	fendas	filtração	fendas faríngeas dos cordados	722
SELECIONAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO SÓLIDO	bico serrado	filtração	bico serrado dos flamingos	677
ABSORVER	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	poros + canais	filtração	esponjas	677
TRANSMITIR	OBJ. LÍQUIDO	MEIO LÍQUIDO	flagelos	batimentos	flagelos dos coanócitos das esponjas	677
SELECIONAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	poros + canais	filtração	esponjas	677
ABSORVER	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	placas com longos pêlos (semelhantes a pentes)	filtração	baleias azuis	676
DIVIDIR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	água, ácido carbônico	hidrólise	Rochas	922
DIVIDIR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	oxigênio, ácido carbônico	oxidação	Rochas	922
DIVIDIR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	agente de secagem	dessecação	Rochas	922
DIVIDIR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	agente resfriador	congelamento	Rochas	922
TRANSMITIR	INDETERMINADO	MEIO SÓLIDO	molécula hidrofóbica	por solubilidade	difusão simples	106
AMPLIAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO SÓLIDO	solução hipotônica	osmose (ganho água)	osmose	107
REDUZIR	OBJ. SÓLIDO	MEIO SÓLIDO	solução hipertônica	osmose (perda água)	osmose	107
SELECIONAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	placas com longos pêlos (semelhantes a pentes)	filtração	baleias azuis	676

ABSORVER	INDETERMINADO	MEIO LÍQUIDO	complexo de golgi (região cis)	por fusionamento de membrana	complexo de golgi	81
ACUMULAR	INDETERMINADO	MEIO LÍQUIDO	complexo de golgi	por canais	complexo de golgi	81
TRANSMITIR	INDETERMINADO	MEIO LÍQUIDO	complexo de golgi	brotamento de vesículas (pacotes)	complexo de golgi	81
EQUILIBRAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	mecanorreceptores	detecção da posição do corpo com relação à gravidade	células pilosas	1110
EQUILIBRAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	canais semicirculares	por deslocamento de fluidos	aparelho vestibular	1110
EQUILIBRAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	células pilosas	aumento/diminuição de pressão sobre os cílios	linha lateral do sistema sensorial dos peixes	1110
EMITIR	INDETERMINADO	MEIO ELETROMAG.	células pilosas	abertura e fechamento de canais iônicos	células pilosas	1110
LIGAR	OBJ. ELETROMAG.	MEIO SÓLIDO	estereocílios/microvilosidades	por flexão/curvatura + amarras entre filamentos	células pilosas	1110
INTERROMPER	OBJ. ELETROMAG.	MEIO SÓLIDO	estereocílios/microvilosidades	por flexão/curvatura + amarras entre filamentos	células pilosas	1110
TRANSMITIR	OBJ. LÍQUIDO	INDETERMINADO	malha contínua da parede celular (apoplasto)	por difusão, utilizando as paredes como vias	células vegetais	905
TRANSMITIR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	malha contínua da parede celular (apoplasto)	por difusão, utilizando as paredes como vias	células vegetais	905
REPRODUZIR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	esporângios	por produção de esporos	fungos	659
REPRODUZIR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	corpo	por divisão celular simétrica (fissão)	fungos	659
REPRODUZIR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	corpo	por divisão celular assimétrica (brotamento)	fungos	659
REPRODUZIR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	Asco (saco microscópico)	carregamento em sacos	fungos ascomicetos	665
REPRODUZIR	OBJ. SÓLIDO	MEIO SÓLIDO	Asco (saco microscópico)	carregamento em sacos	fungos ascomicetos	665
REPRODUZIR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	gametas flagelados	deslocamento	fungos aquáticos, quitrídeos	663
REDUZIR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	receptor de estiramento (baroreceptor)	alteração na pressão sanguíneas	centros cardiovasculares do bulbo	1198
REDUZIR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	receptor de estiramento (quimiorreceptor)	alteração na composição sanguíneas	centros cardiovasculares do bulbo	1198

ISOLAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	astrócitos (células gliais)	formação de barreira	barreira hematoencefálica	1082, 1195
ISOLAR	OBJ. ELETROMAG.	MEIO ELETROMAG.	células de schwann	produção de camadas de mielina	encéfalo humano	1082
GUIAR	OBJ. ELETROMAG.	MEIO ELETROMAG.	oligodendrócitos	produção de camadas de mielina	encéfalo humano	1082
DIVIDIR	INDETERMINADO	MEIO SÓLIDO	enzimas (endonuclease) de restrição	por isolamento e quebra em fragmentos	biblioteca gênica	362
CONVERTER	OBJ. SÓLIDO EM ELETROMAGNÉTICO	INDETERMINADO	Enzima: Luciferase - Substrato: luciferina	reação endergônica acionada pela hidrólise de ATP. Interconversão pela oxidação enzimática de um substrato	vagalumes, peixes+bactérias	124, 567, 1157
MOLDAR	INDETERMINADO	INDETERMINADO	cromatóforos	liberação de cromatóforos em função da compactação ou extensão das fibras musculares	moluscos sépia	1157
TRANSMITIR	INDETERMINADO	MEIO SÓLIDO	bomba de prótons	criação de gradiente de concentração; criação de um gradiente elétrico	membranas das células dos vegetais	903, 150, 913
TRANSMITIR	INDETERMINADO	MEIO SÓLIDO	bomba de sódio-potássio	quebra/desintegração e liberação de energia	membranas das células dos animais	111, 1083
CONVERTER	OBJ. SÓLIDO EM ELETROMAGNÉTICO	INDETERMINADO	botões gustativos	alteração no potencial de membrana	nas papilas da língua (humanos), cavidade bucal dos animais terrestres; na pele de alguns peixes	1105, 1107
GUIAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	fotoreceptor	sensibilidade à luz	fototropismo	939
AMPLIAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	auxinas do coleóptilo	concentração no lado sombreado e consequente crescimento desigual das células deste lado, inclinando o vegetal em direção ao sol	fototropismo	939
AMPLIAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	auxinas	concentração em baixo em função da força gravitacional e consequente crescimento desigual das	gravitropismo	941

				células de baixo		
AMPLIAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	hormônio auxinas	afrouxamento e extensão dos limites	parede celular vegetal	943
MOLDAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	hormônio auxinas	afrouxamento e extensão dos limites	parede celular vegetal	943
MOLDAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	hormônio auxinas	afrouxamento e extensão dos limites	parede celular vegetal	943
ISOLAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	sistema dérmico	secreção de revestimento ceroso (cutina) que ajuda a retardar a perda de água	plantas	884
ESTRUTURAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	traqueídeo	enrijecimento de células	plantas vasculares	617, 884
ESTRUTURAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	células de esclerênquima (fibras)	fibras organizadas em feixes	lenho e outras partes das plantas	886
ESTRUTURAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	células de esclerênquima (esclereídes)	unidades densamente reunidas	envoltório nozes ou sementes	886
ABSORVER	OBJ. ELETROMAG.	MEIO GASOSO	sistema fundamental	fotossíntese	plantas vasculares	884
GUIAR	OBJ. ELETROMAG.	MEIO LÍQUIDO	elementos traqueais (células condutoras), por meio de pontuações, interrupções na parede secundária, que deixam a parede primária desobstruída	potencial de pressão (pressão de turgor)	plantas vasculares	617, 887
GUIAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	elementos traqueais (células condutoras), por meio de pontuações, interrupções na parede secundária, que deixam a parede primária desobstruída	potencial de pressão (pressão de turgor)	plantas vasculares	617, 887
GUIAR	OBJ. LÍQUIDO	MEIO LÍQUIDO	elementos traqueais (células condutoras), por meio de pontuações, interrupções na parede secundária, que deixam a parede primária desobstruída	potencial de pressão (pressão de turgor)	plantas vasculares	617, 887

GUIAR	OBJ. ELETROMAG.	MEIO LÍQUIDO	elementos de vaso (células individuais); formação de um tubo oco contínuo como um canal aberto para a passagem da água	potencial de pressão (pressão de turgor)	angiospermas	887
GUIAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	elementos de vaso (células individuais); formação de um tubo oco contínuo como um canal aberto para a passagem da água	potencial de pressão (pressão de turgor)	angiospermas	887
GUIAR	OBJ. LÍQUIDO	MEIO LÍQUIDO	elementos de vaso (células individuais); formação de um tubo oco contínuo como um canal aberto para a passagem da água	potencial de pressão (pressão de turgor)	angiospermas	887
GUIAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	tubos crivados (tipo peneiras)	formação de tubos longos com poros	plantas vasculares	888
AMPLIAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	meristema apical	por divisão celular, seguida de expansão e diferenciação	extremidades de raízes, caules e nas gemas	890
ISOLAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO SÓLIDO	coifa	criação de envoltório protetor	meristema apical vegetais	891
AMPLIAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	câmbio vascular	aumento no diâmetro por acúmulo de xilema e floema	plantas vasculares	894
ABSORVER	OBJ. GASOSO	MEIO GASOSO	estômatos	penetração por difusão	eudicotiledôneas monocotiledôneas	909
INTERROMPER	OBJ. LÍQUIDO	MEIO GASOSO	epiderme de folhas e caules	secreção de uma cutícula cerosa	vegetais	909
LIGAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	células guarda	potencial hídrico mais negativo e absorção de água	eudicotiledôneas monocotiledôneas	909
ISOLAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO GASOSO	células guarda	perda de água e afrouxamento das células	eudicotiledôneas monocotiledôneas	909
ACUMULAR	INDETERMINADO	MEIO LÍQUIDO	células fonte	por combinação de diferenças de potencial de pressão e potencial hídrico	plantas vasculares	912
DISPERSAR	INDETERMINADO	MEIO LÍQUIDO	células dreno	por combinação de diferenças de potencial de pressão e potencial hídrico	plantas vasculares	912
DIVIDIR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	Rádula	raspagem	rádulas dos caracóis	700

DIVIDIR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	Dentes e mandíbulas	mastigação	mandíbulas dos peixes	725
AMPLIAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	articulações	sistema de alavanca	maxilar e joelho humanos	1156
AMPLIAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	articulações	sistema de alavanca	maxilar e joelho humanos	1156
OSCILAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	articulações	rotação	articulação tipo bola e soquete, pivô, tipo sela, elipsóide, dobradiça e plana	1155
LIGAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	proteínas de junção	junções aderentes ("costuras")	células epiteliais	104
ISOLAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO SÓLIDO	proteínas de junção	junções aderentes ("costuras")	células epiteliais	104
LIGAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	desmossomos	criação de fibras longitudinais ("rebites")	células epiteliais	104
ESTRUTURAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO SÓLIDO	desmossomos	criação de fibras longitudinais ("rebites")	células epiteliais	104
LIGAR	OBJ. SÓLIDO	INDETERMINADO	junções GAP	formação de canais de conexão	células de tecidos nervosos e musculares	104
TRANSMITIR	INDETERMINADO	INDETERMINADO	junções GAP	formação de canais de conexão	células de tecidos nervosos e musculares	104
AMPLIAR	INDETERMINADO	INDETERMINADO	vilosidades e microvilosidades	dobras que aumentam a superfície de contato	vertebrados	1213
TRANSMITIR	INDETERMINADO	MEIO GASOSO	água	mudanças de estado físico	ciclo hidrológico	843
TRANSMITIR	INDETERMINADO	MEIO LÍQUIDO	água	mudanças de estado físico	ciclo hidrológico	843
TRANSMITIR	INDETERMINADO	MEIO SÓLIDO	água	mudanças de estado físico	ciclo hidrológico	843
DESACUMULAR	OBJ. ELETROMAG.	MEIO GASOSO	Raios	queima e liberação dos elementos químicos	queima de florestas	844
DESACUMULAR	OBJ. GASOSO	MEIO GASOSO	fogo	queima de biomassa	queima de florestas	843
SELECIONAR	OBJ. LÍQUIDO	MEIO LÍQUIDO	indeterminado	centrifugação		1191
SELECIONAR	OBJ. SÓLIDO	MEIO LÍQUIDO	indeterminado	centrifugação		1191

ANEXOS

ANEXO 1: Definição algébrica da razão áurea

Fonte: Adaptado de Mario Livio (2008)

razão áurea é definida algebricamente como

$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} = \varphi.$$

A equação da direita mostra que $a = b\varphi$, o que pode ser substituído na parte esquerda, resultando em:

$$\frac{b\varphi + b}{b\varphi} = \frac{b\varphi}{b}.$$

Cancelando b em ambos os lados, temos:

$$\frac{\varphi + 1}{\varphi} = \varphi.$$

Multiplicando ambos os lados por φ , resulta:

$$\varphi + 1 = \varphi^2.$$

Finalmente, subtraindo φ^2 de ambos os membros da equação e multiplicando todas as parcelas por -1 , encontramos:

$$\varphi^2 - \varphi - 1 = 0, \text{ que é uma equação quadrática da forma } ax^2 + bx + c = 0, \text{ em que } a = 1, b = -1 \text{ e } c = -1.$$

Agora, basta resolver essa equação quadrática pela fórmula de Bháskara

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ \varphi &= \frac{-(-1) \pm \sqrt{(-1)^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-1)}}{2 \cdot 1} \\ \varphi &= \frac{1 \pm \sqrt{1+4}}{2} \\ \varphi &= \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2} \end{aligned} \quad \left\langle \right.$$

ANEXO 2: Princípios inventivos de Altschuller

Fonte: Mazur (1995 *apud* Back *et al.*, 2008)

PRINCÍPIO INVENTIVO	DETALHAMENTO E EXEMPLIFICAÇÃO
01 SEGMENTAÇÃO FRAGMENTAÇÃO	Dividir o objeto em partes independentes que são fáceis de desmontar; aumentar o grau de segmentação do objeto. Produtos modulares e dobráveis
02 EXTRAÇÃO REMOÇÃO	Remover ou separar uma parte ou propriedade perturbadora do objeto; extrair somente a parte ou propriedade necessária
03 QUALIDADE LOCAL	Ter diferentes partes do objeto realizando diferentes funções; colocar cada parte do objeto sob as mais favoráveis condições p/ a sua operação
04 ASSIMETRIA	Substituir uma forma simétrica por uma assimétrica ou inverso; se um objeto é pouco assimétrico, aumentar o grau de assimetria
05 COMBINAÇÃO	Combinar no espaço objetos homogêneos ou objetos destinados a operações contíguas; combinar no tempo operações homogêneas ou contíguas
06 UNIVERSALIDADE	Fazer objetos desempenharem múltiplas funções e, deste modo, eliminar a necessidade de ter outros objetos; usar objetos conversíveis
07 ALINHAMENTO	Conter um objeto dentro de outro; passar um objeto através da cavidade de outro. Antenas telescópicas, objetos empilháveis
08 CONTRAPESOS	Compensar o peso próprio unindo o outro objeto; interagir c/ forças do ambiente, aero ou hidrodinâmicas. Hidro e aerofólios
09 CONTRA-ATUAÇÃO PRELIMINAR	Aplicar contra-ações prévias; criar um estado de pré-tensões, tensões residuais ou tubos encamisados de modo a reduzir as solicitações em serviço
10 AÇÃO PRÉVIA	Realizar todas as ações requeridas previamente ou em parte; arranjar os objetos de modo a entrarem em ação em tempos e posições convenientes
11 ATENUAÇÕES PRÉVIAS	Introduzir medidas preventivas para compensar a baixa confiabilidade de um objeto. Reduzir as solicitações ou usar componentes em paralelo
12 EQÜIPOTENCIALIDADE	Mudar as condições de tal modo que os objetos não precisem ser movidos para cima ou para baixo no campo potencial
13 INVERSÃO	Implementar a ação oposta ao especificado; mover a parte fixa e fixar a parte móvel; inverter a posição de objetos
14 ESFEROIDADE	Substituir partes lineares ou superfícies planas por curvas; formas cúbicas por esféricas; movimento linear por circular; usar a força centrífuga
15 DINAMICIDADE	Fazer o objeto ou seu ambiente se ajustar automaticamente ao desempenho ótimo; se um objeto é imóvel, tornar móvel ou intercambiar
16 AÇÃO PARCIAL OU EXCESSIVA	Se for difícil obter o valor exato de um desejado efeito, procurar um valor superior ou inferior que poderá simplificar consideravelmente o problema

PRINCÍPIO
INVENTIVO

DETALHAMENTO E EXEMPLIFICAÇÃO

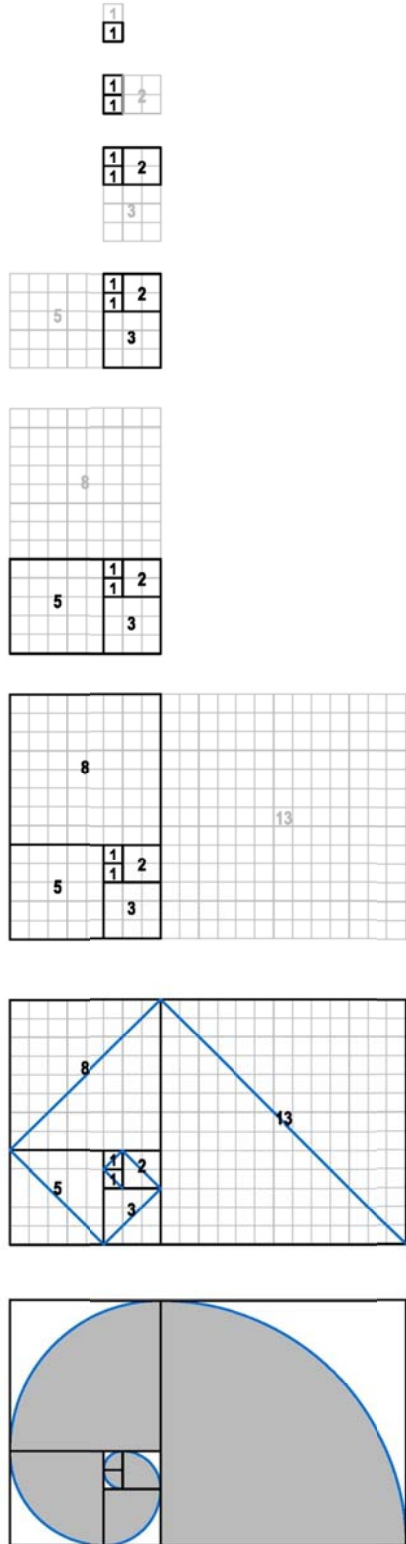
17	MOVIMENTO P/ NOVA DIMENSÃO	Substituir o movimento linear de um objeto por um movimento em um plano; usar montagem de peças em múltiplos planos em vez de um plano
18	USO DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS	Vibrar o objeto; aumentar frequência de vibrações; usar ressonância; piezovibradores; vibrações ultra-sônicas eletromagnéticas
19	AÇÃO PERIÓDICA	Substituir ação contínua por periódica ou pulsada; se já é uma ação periódica, variar a frequência, usar pausas entre impulsos p/ mudar efeito
20	CONTINUIDADE DA AÇÃO ÚTIL	Realizar uma ação continuamente, onde todas as partes de um objeto operam em plena capacidade; remover movimentos mortos e intermediários
21	TRAVESSIA RÁPIDA	Executar operações danosas ou perigosas a velocidades muito altas. Tirar toalha da mesa sem derrubar pratos, cortar uma peça flexível por impacto
22	CONVERSÃO DANOS - BENEFÍCIOS	Utilizar efeitos danosos ou efeitos ambientais p/ obter efeitos positivos; combinar fatores danosos p/ eliminá-los ou mitigá-los
23	RETRO- ALIMENTAÇÃO	Introduzir retroalimentação em um processo ou reverter se já houver retroalimentação
24	MEDIAÇÃO	Usar um objeto intermediário p/ transferir ou realizar uma ação; conectar, temporariamente, um objeto a outro fácil de ser removido
25	AUTO-SERVIÇO	Fazer com que um objeto seja automantenível e reparável; usar rejeitos de materiais e de energia do objeto p/ produzir a ação desejada
26	CÓPIA	Usar cópia simplificada e de baixo custo, no lugar de objeto indisponível, complicado e frágil; substituir um objeto pela sua cópia óptica ou imagem; usar escala reduzida ou ampliada
27	USO DE OBJETO BARATO E DE VIDA CURTA	Substituir objetos dispendiosos e de longa vida por objetos de baixo custo e durabilidade. Estes objetos podem ser descartados c/ facilidade
28	SUBSTITUIÇÃO DE MEIOS MECÂNICOS	Substituir sistemas mecânicos por ópticos, acústicos e eletrônicos; usar campos elétricos, magnéticos ou eletromagnéticos para interagir com objetos; substituir campos
29	USO DE PNEUMÁTICA E HIDRÁULICA	Substituir partes sólidas de objetos por gás ou líquido; usar a capacidade de compressão e de amortecimento dos mesmos
30	USO DE FILMES E MEMBRANAS FLEXÍVEIS	Substituir as construções tradicionais por aquelas feitas de filme ou membranas flexíveis; isolar o objeto do seu meio ambiente usando esses componentes
31	USO DE MATERIAIS POROSOS	Usar objetos ou elementos porosos, insertos ou coberturas; se o objeto já é poroso, preencher os poros com alguma substância útil, óleo em mancais porosos

**PRINCÍPIO
INVENTIVO**
DETALHAMENTO E EXEMPLIFICAÇÃO

32	MUDANÇA DE COR	Mudar a cor de um objeto ou entorno; alterar o grau de translucidez do objeto ou processo difícil de usar; usar aditivos coloridos para observar objetos ou processos difíceis de ver
33	HOMOGENEIDADE	Objetos que interagem devem ser feitos do mesmo material ou materiais com propriedades idênticas
34	DESCARTE E RECUPERAÇÃO DE PARTES	Rejeitar ou modificar um elemento de objeto, após complementar sua função ou tornar-se sem uso; partes que se tornam sem uso devem ser automaticamente recuperadas
35	MUDANÇA DE PARÂMETROS E PROPRIEDADES	Modificar o estado agregado de um objeto, distribuição e densidade, grau de flexibilidade, temperatura; usar pseudoestados ou estados intermediários
36	MUDANÇA DE FASE	Usar efeitos que ocorrem durante mudanças de fase de materiais; por exemplo, mudança de volume, dissipação ou absorção de calor
37	EXPANSÃO TÉRMICA	Usar o efeito de expansão ou contração com o calor; usar materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica, para acionar mecanismos ou deformar objetos
38	USO DE OXIDANTES FORTES	Substituir ar normal por ar enriquecido ou ar enriquecido por oxigênio; tratar um objeto no ar ou no oxigênio com radiação ionizante; usar oxigênio ionizado
39	USO DE ATMOSFERAS INERTES	Substituir o ambiente normal por inerte; realizar o processo em vácuo
40	USO DE MATERIAIS COMPOSTOS	Substituir materiais homogêneos por materiais compostos de características projetáveis

ANEXO 3: Construção de retângulos áureos a partir da seqüência de Fibonacci

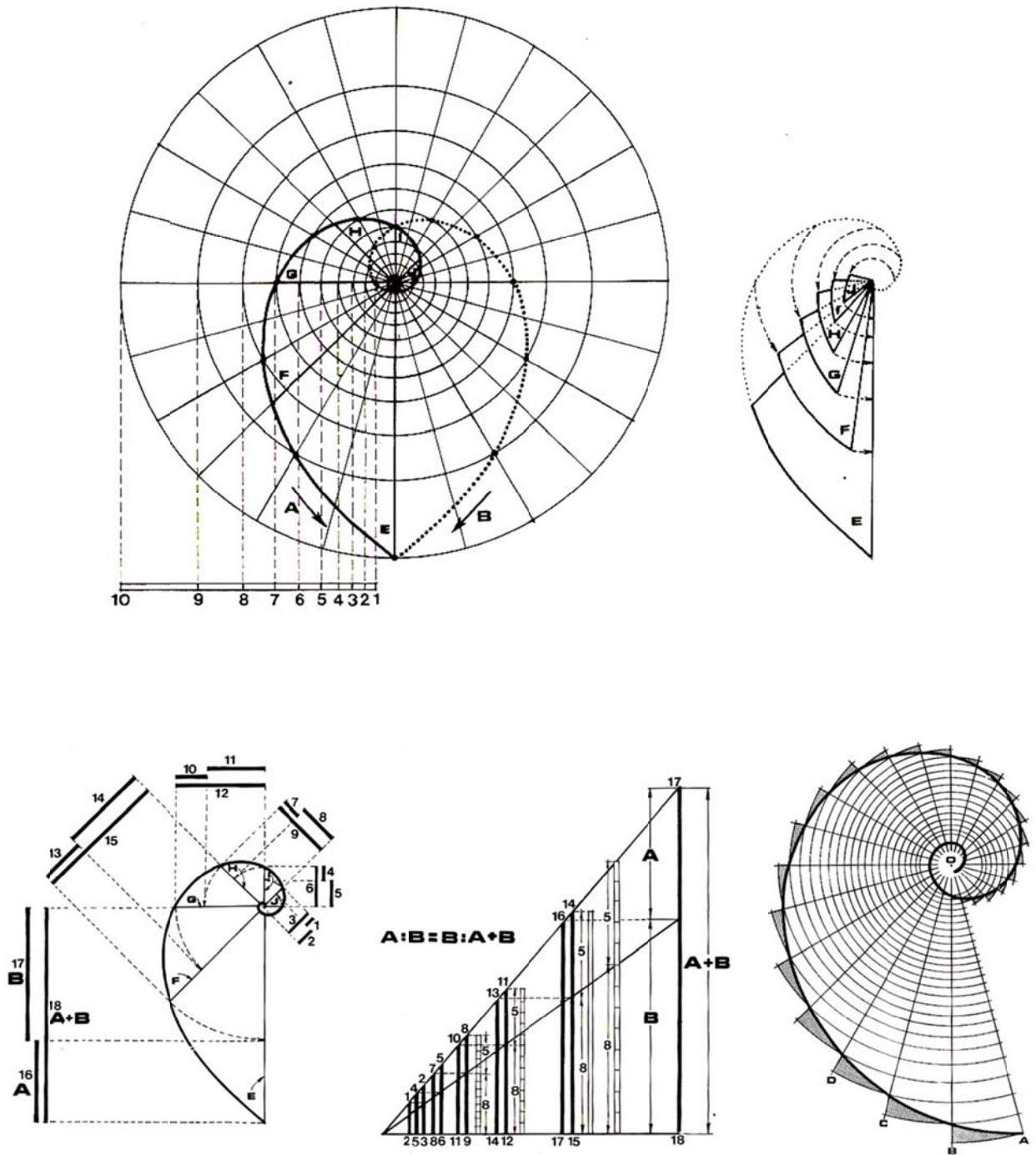
Fonte: Adaptado de Doczi (1990)



ANEXO 4: Diagramas de uma margarida

Espirais logarítmicas geradas a partir da proporção de ouro

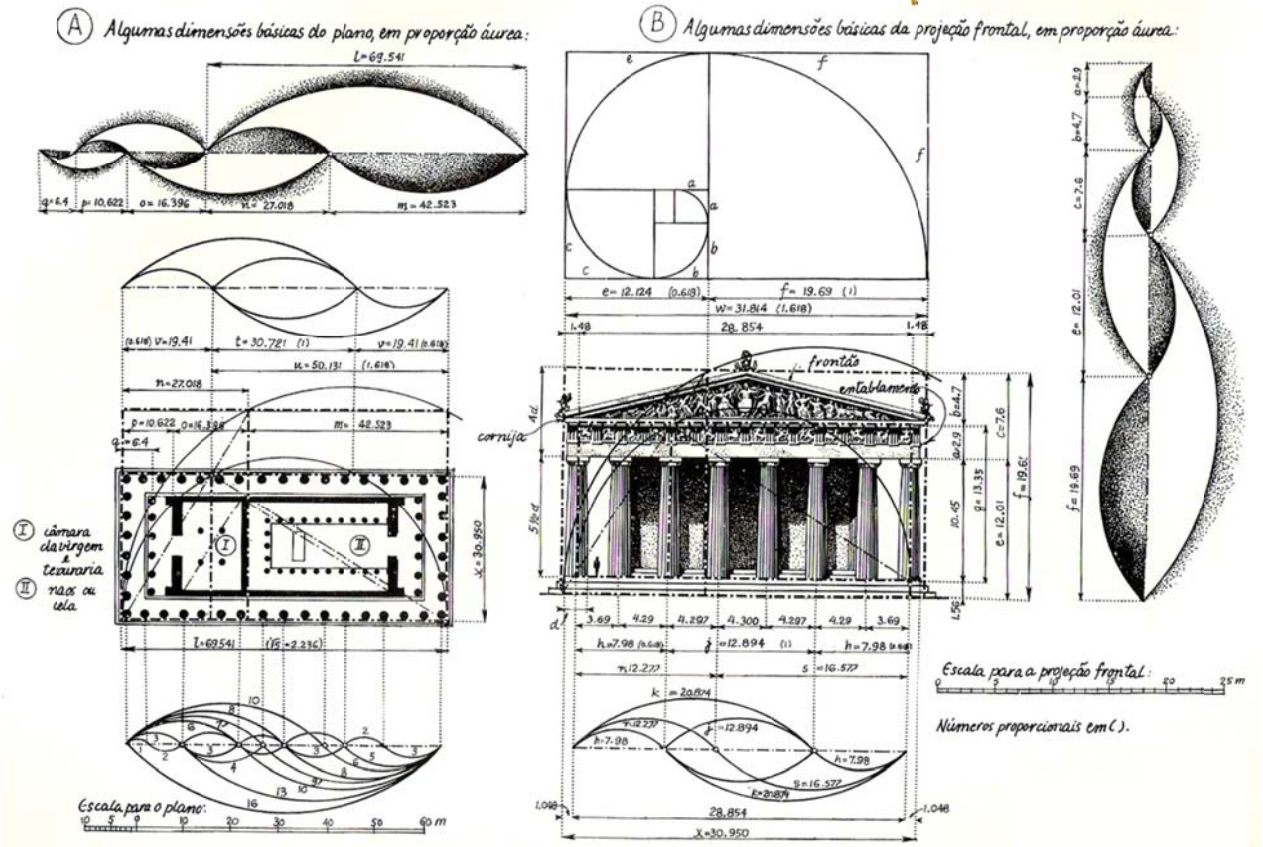
Fonte: Doczi (1990)

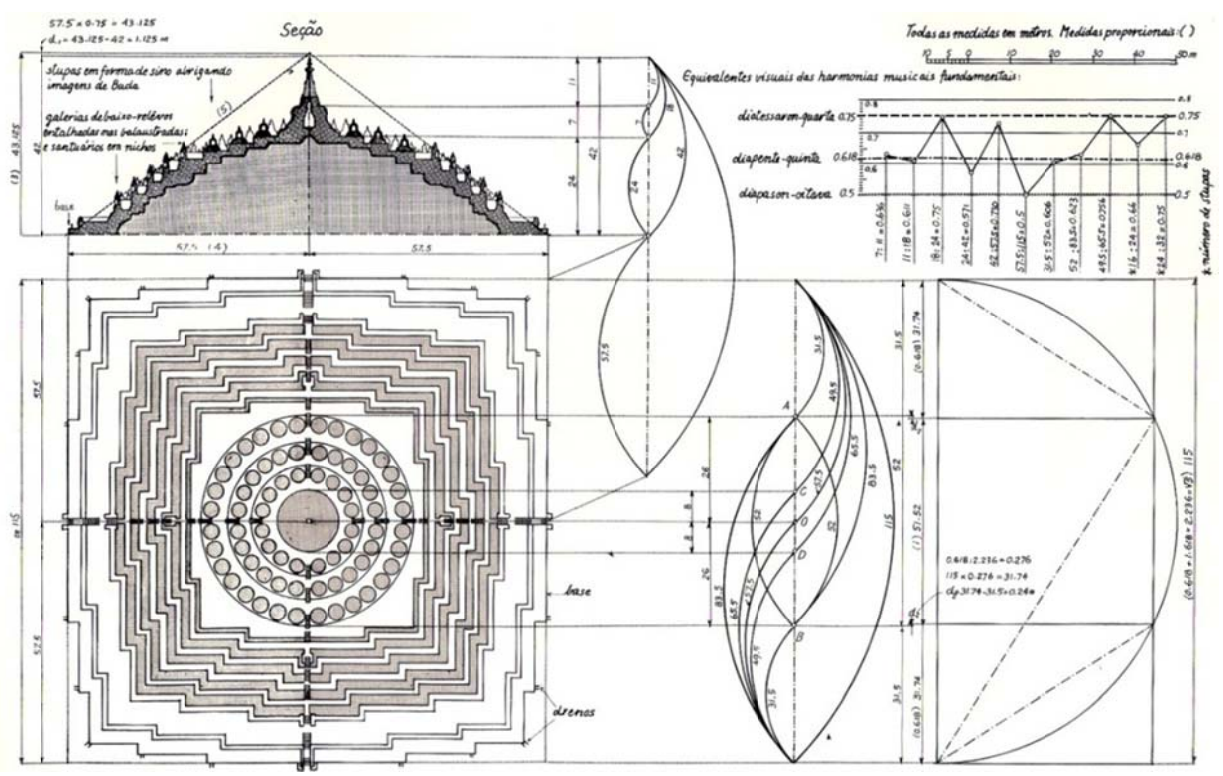
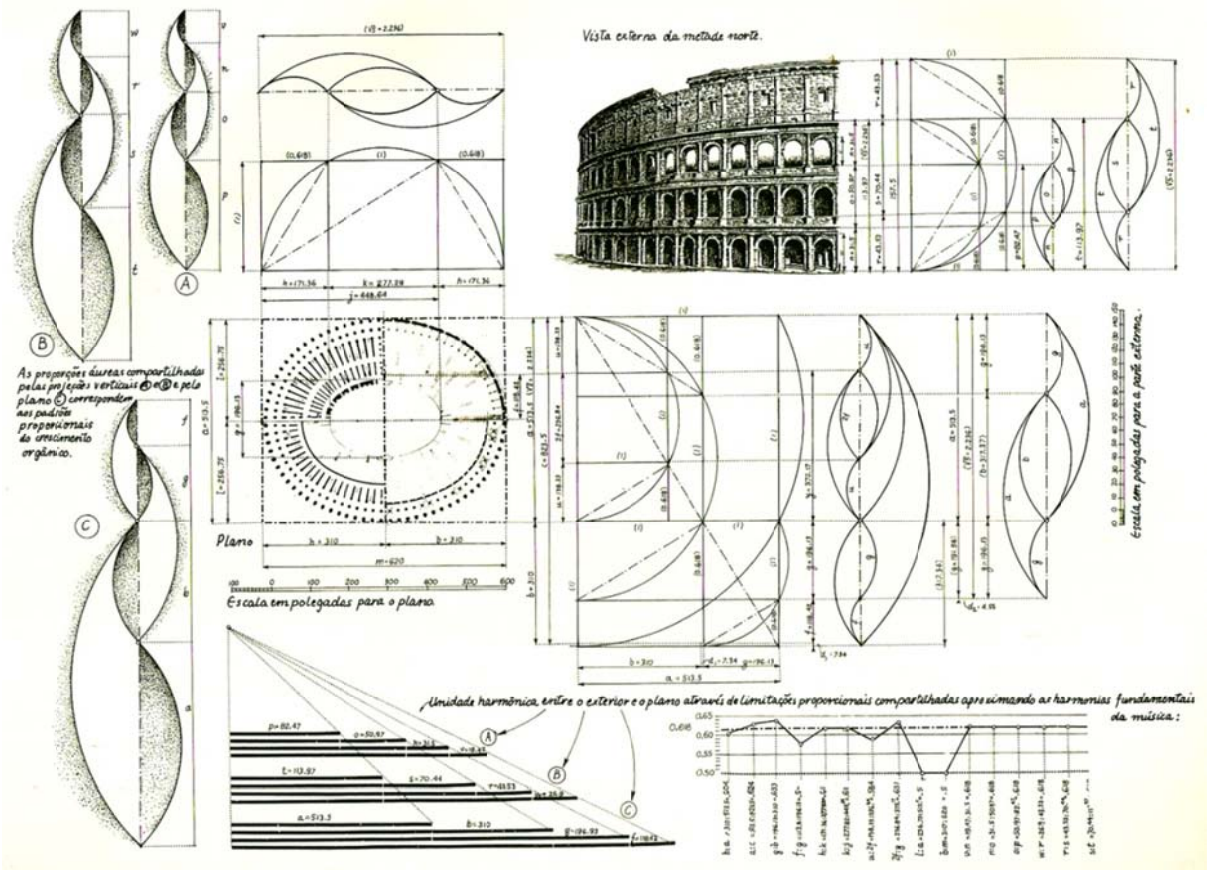


ANEXO 5: Estudos de proporções em algumas obras-ícones da arquitetura

Parthenon em Atenas, Coliseu em Roma e templo budista em Java

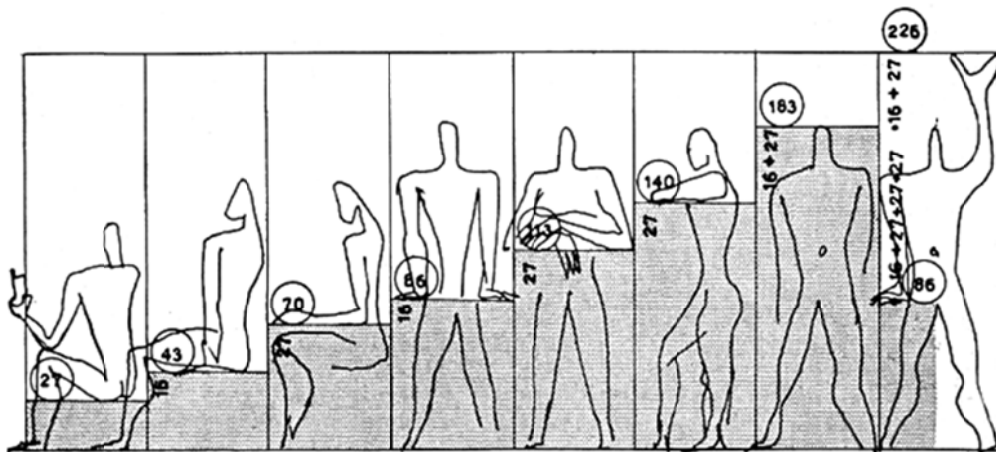
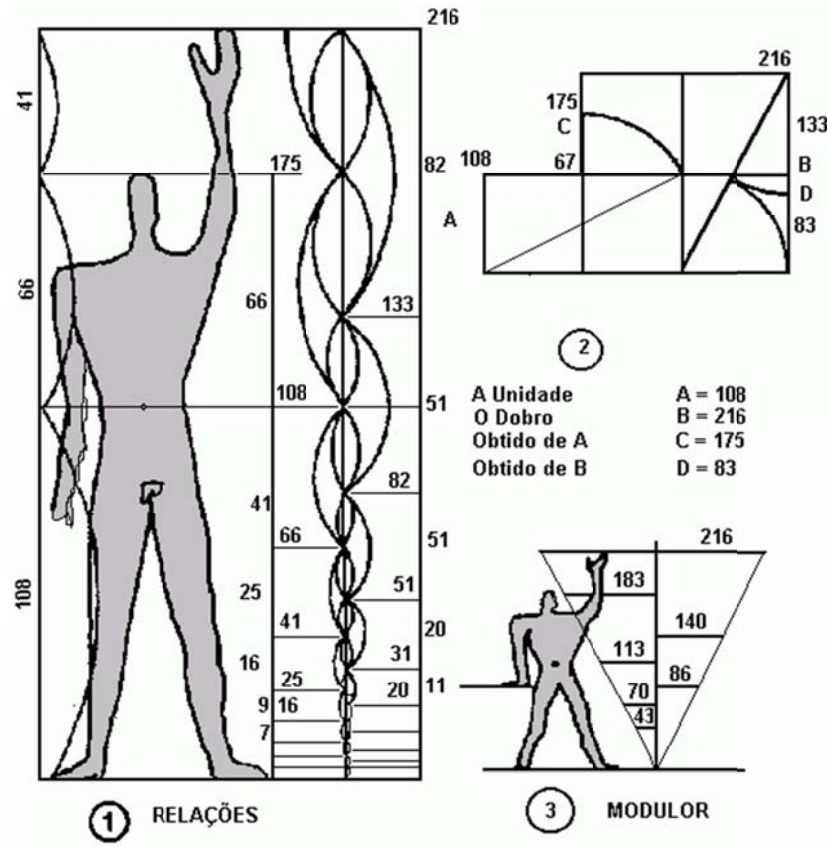
Fonte: Doczi (1990)





ANEXO 6: Modulo, de Le Corbusier

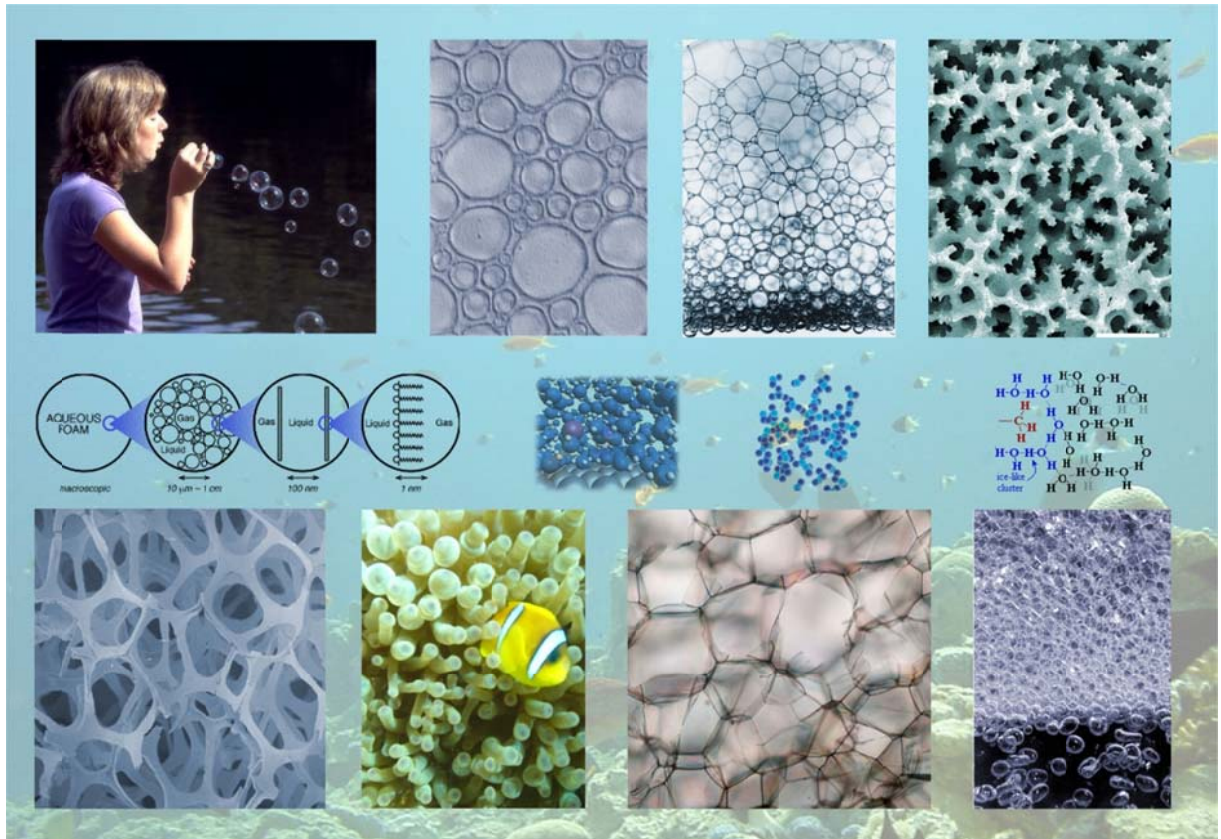
Fonte: <http://pessoal.sercomtel.com.br/matematica/alegria/fibonacci/modulo.png>



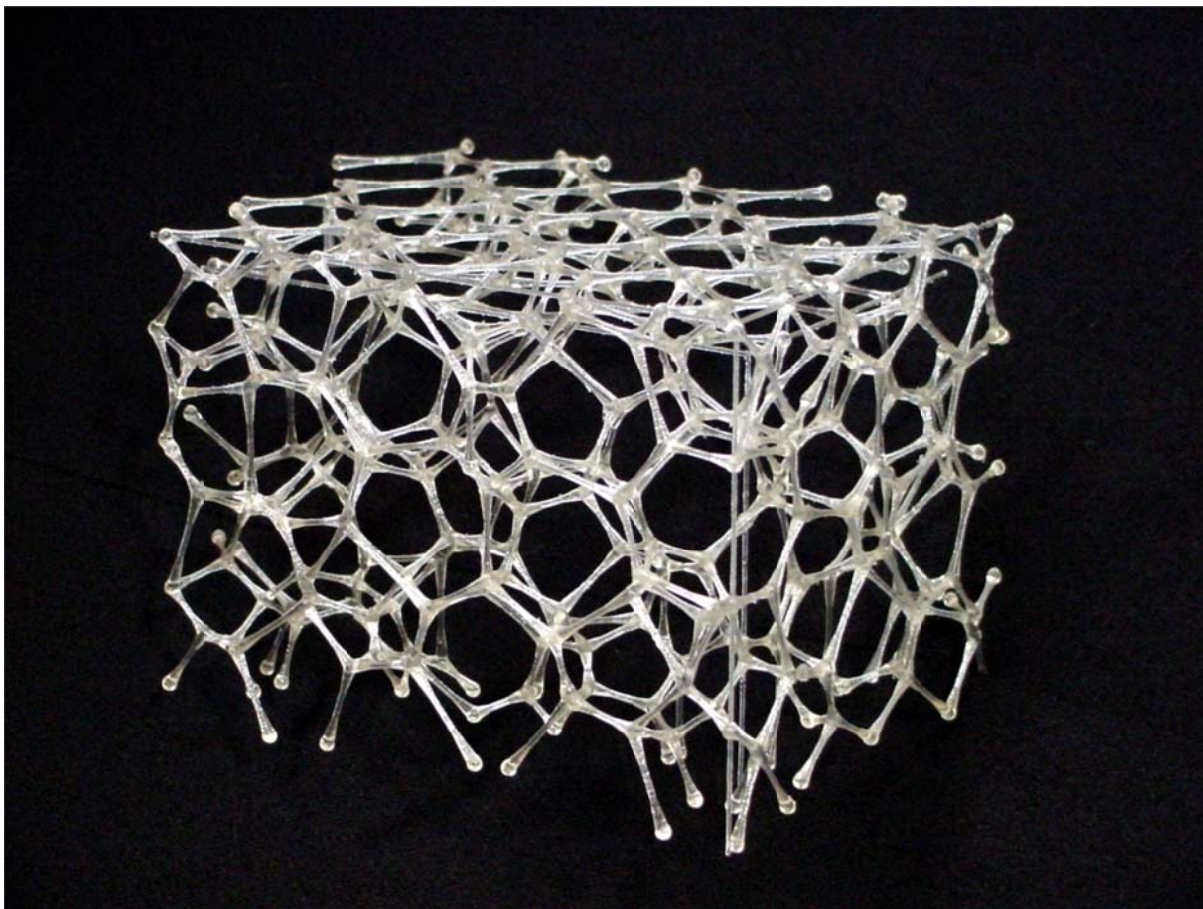
ANEXO 7: Inspiração biomimética (Cubo D'Água)

Representação gráfica de parte do processo criativo do estádio do Cubo D'Água

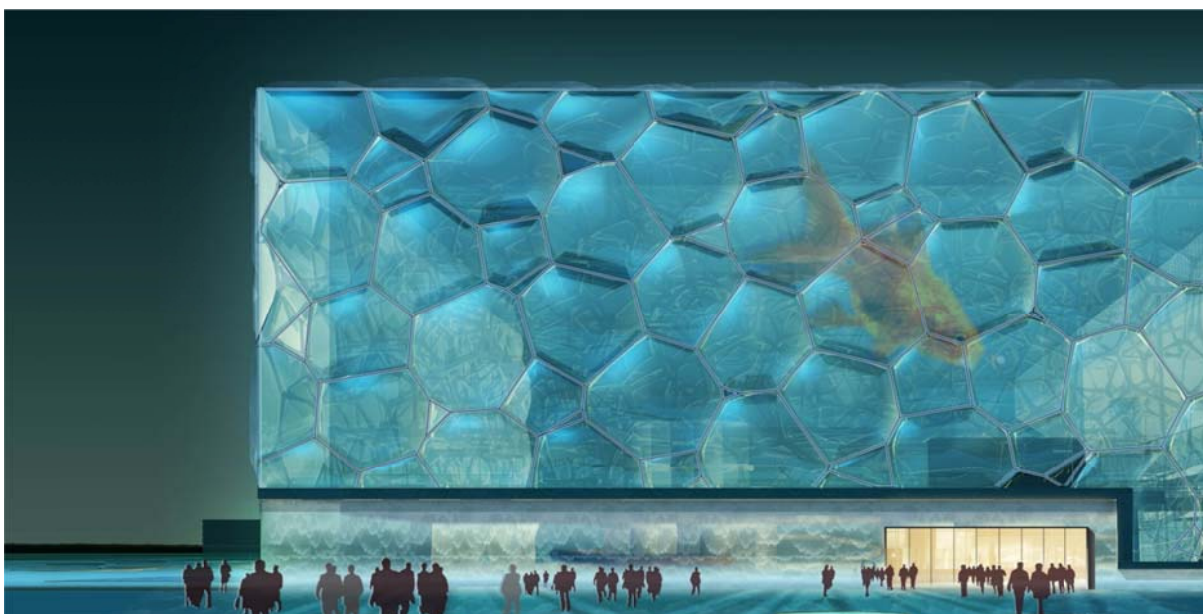
Fonte: <http://www.chrisbosse.de>



Projeto conceitual: <http://www.chrisbosse.de/watercube/water.jpg>



Projeto da estrutura: <http://www.chrisbosse.de/watercube/model3.jpg>



Projeto da Fachada: <http://www.chrisbosse.de/watercube/entrancenew.jpg>

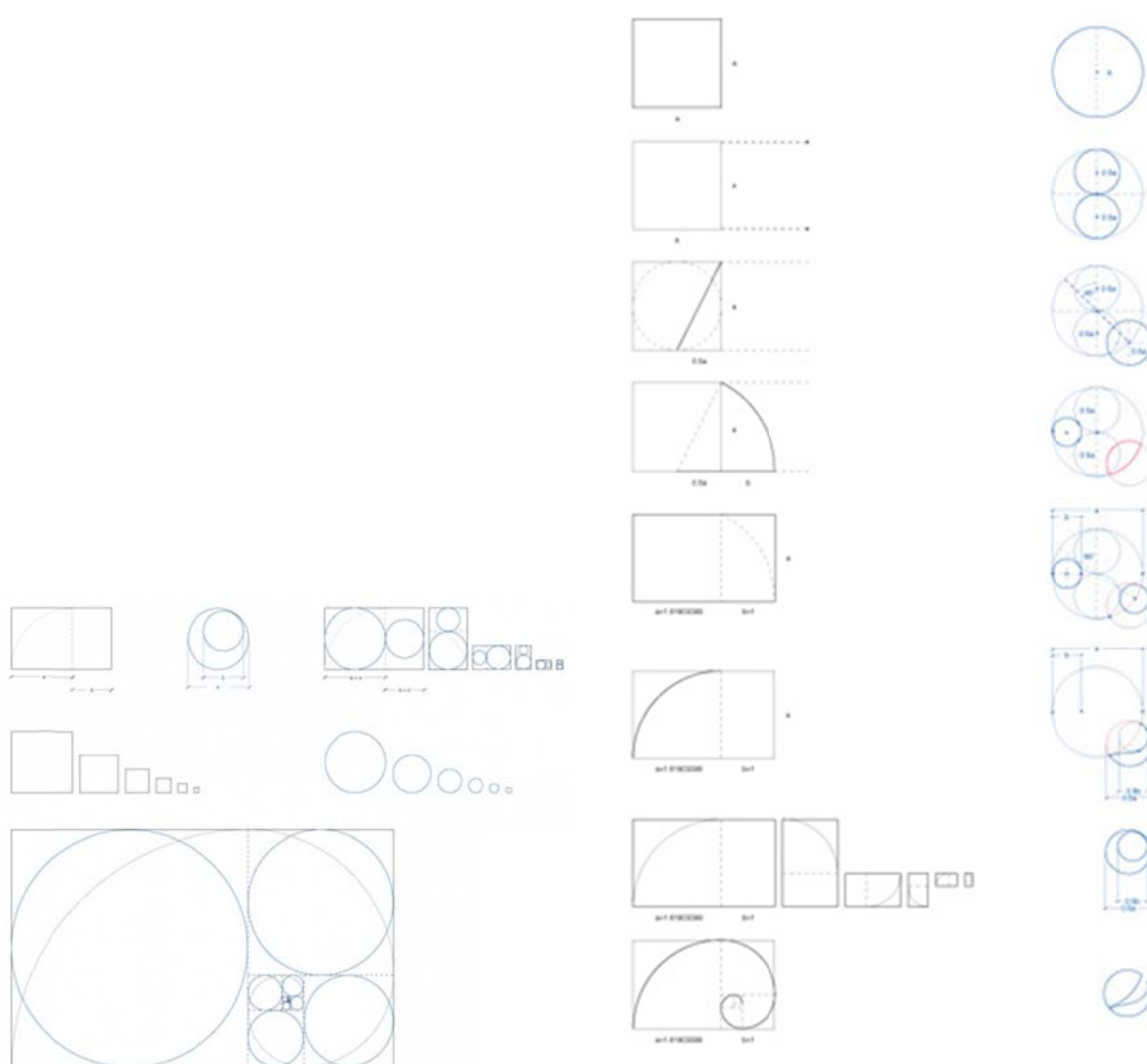
ANEXO 8: Identidade visual para a marca Pepsi

Logomarca inspirada em princípios e proporções universais

Fonte: <http://www.juyun.org/blog/article.asp?id=86>

“Geometria e Estética: proporção e dinâmica

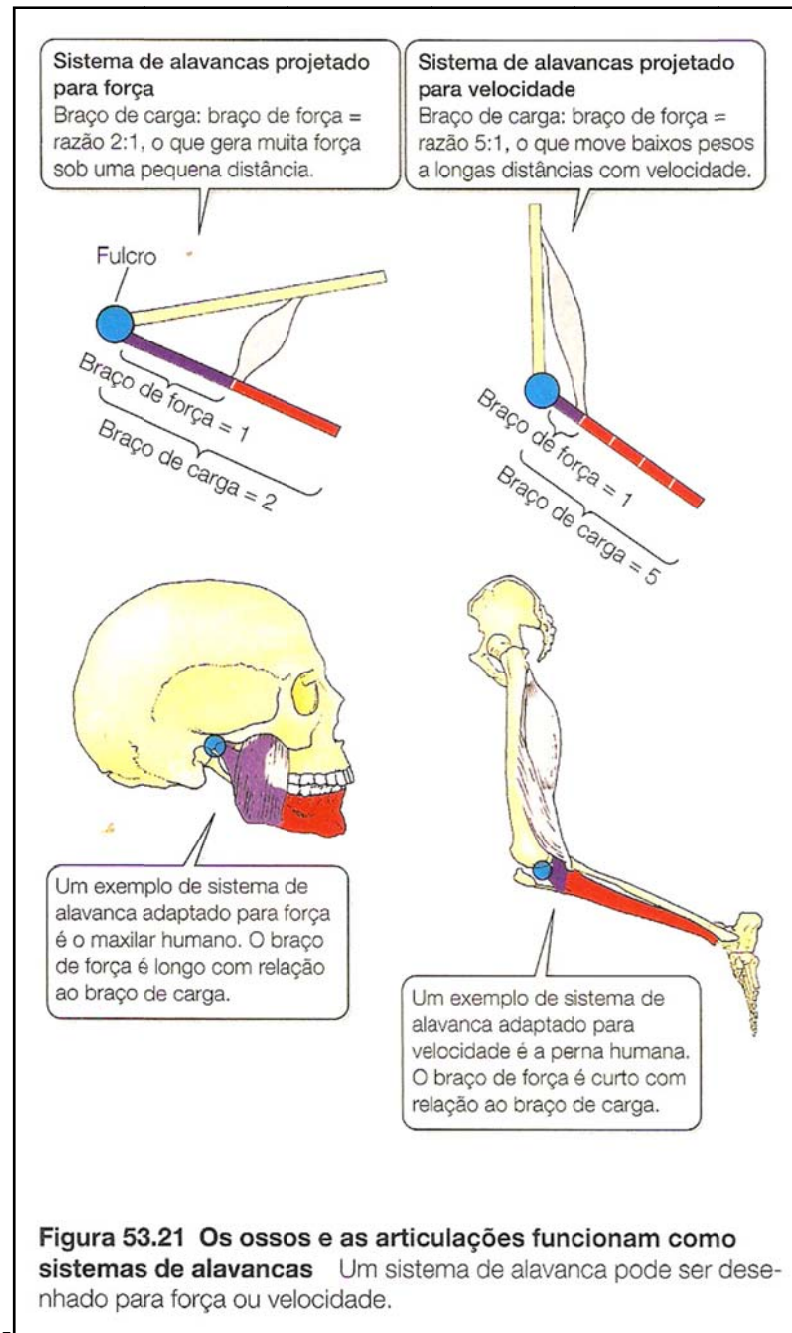
A seção áurea estabelece a proporção de uma parte (a) relativa a outra (B). Trabalhando com essas regras, se produz uma estética que é universalmente aceita, por estar em equilíbrio e harmonia. A estética da Pepsi respeita essas regras: a identidade da marca pode ser derivada de dois círculos, que estão em proporção áurea um com o outro”.

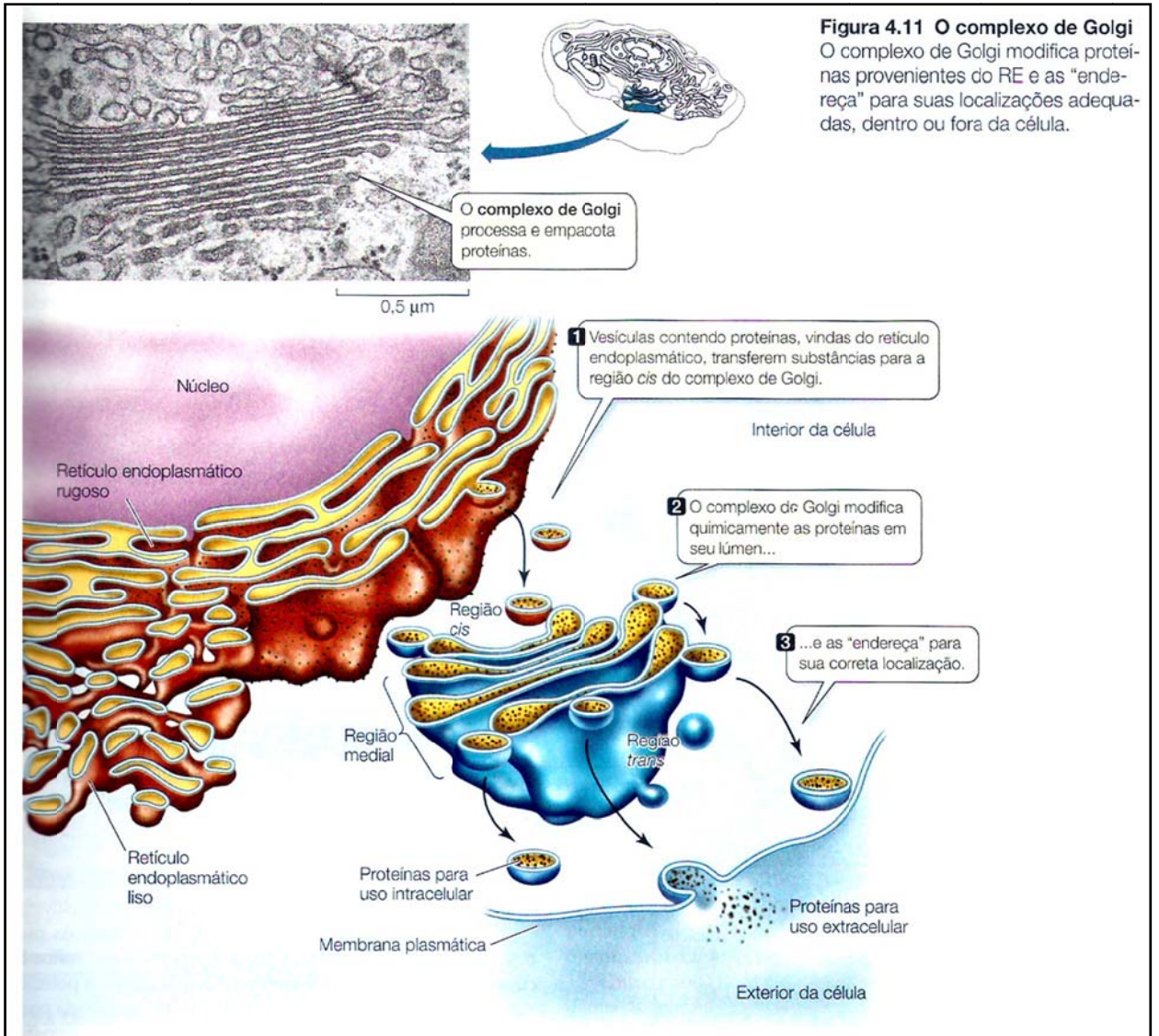


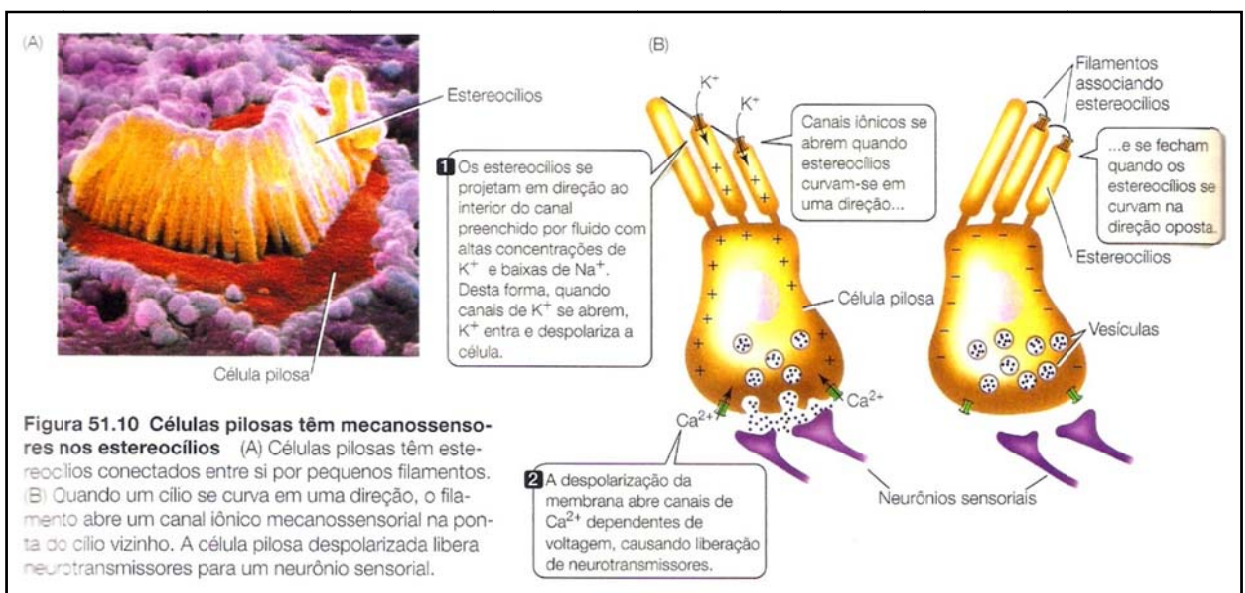
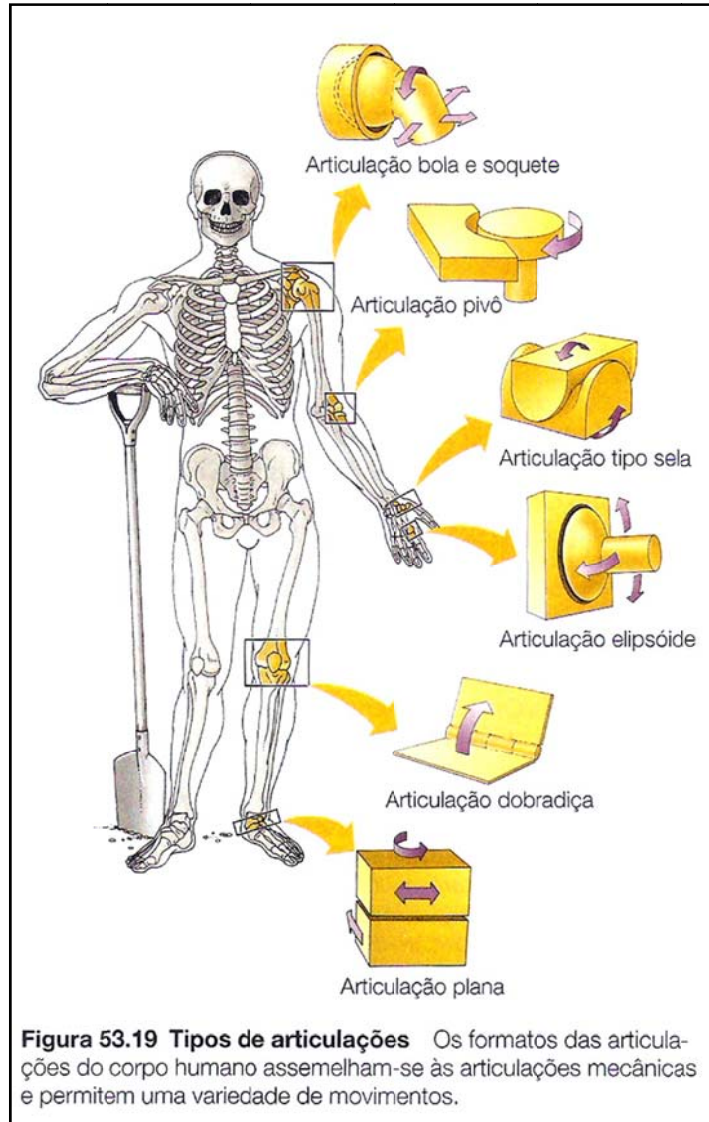
ANEXO 9: Exemplos de princípios de solução da natureza

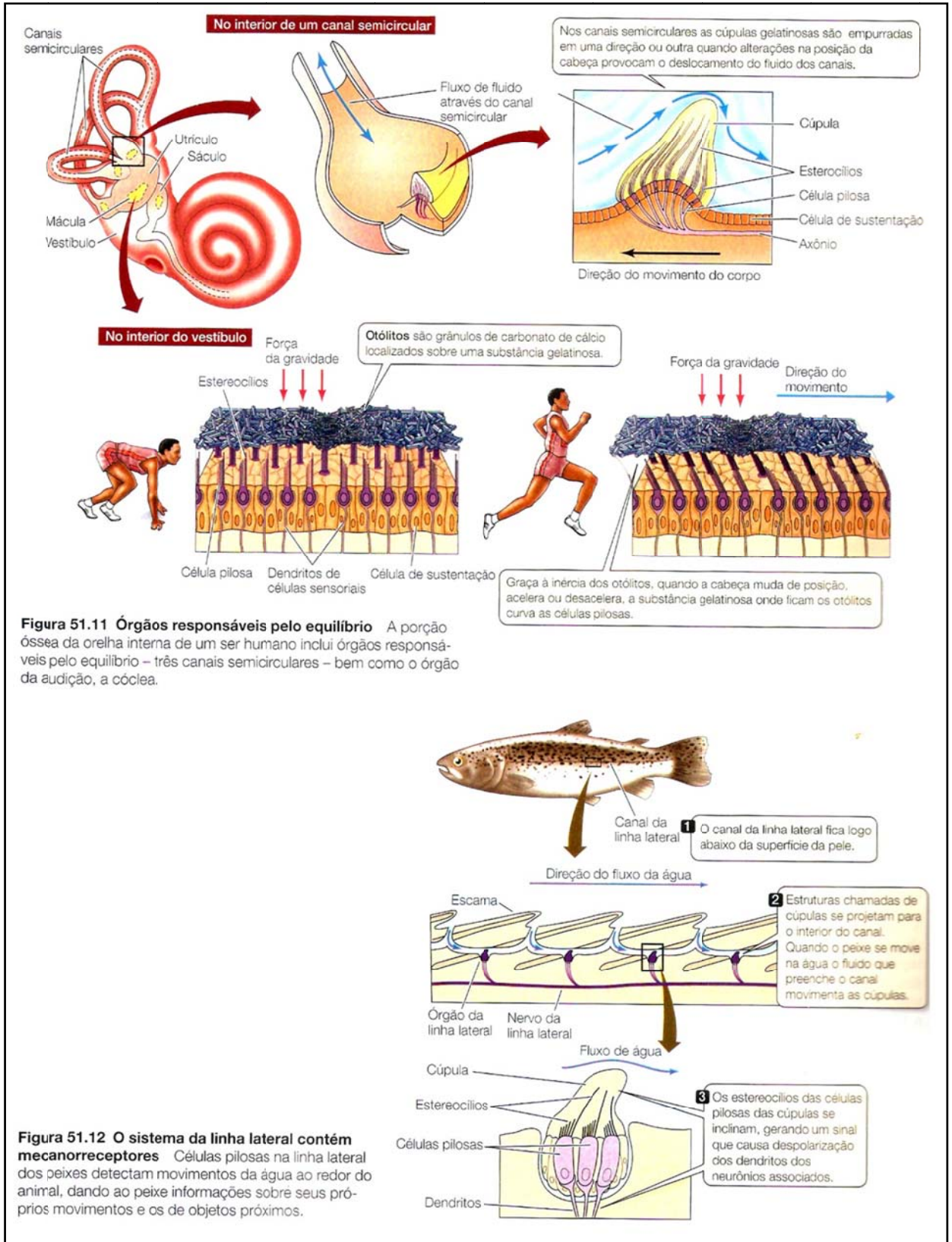
Exemplos e detalhamentos de princípios de solução da natureza extraídos da obra *Vida, a ciência da biologia*. As figuras estão numeradas conforme aparecem na obra de origem.

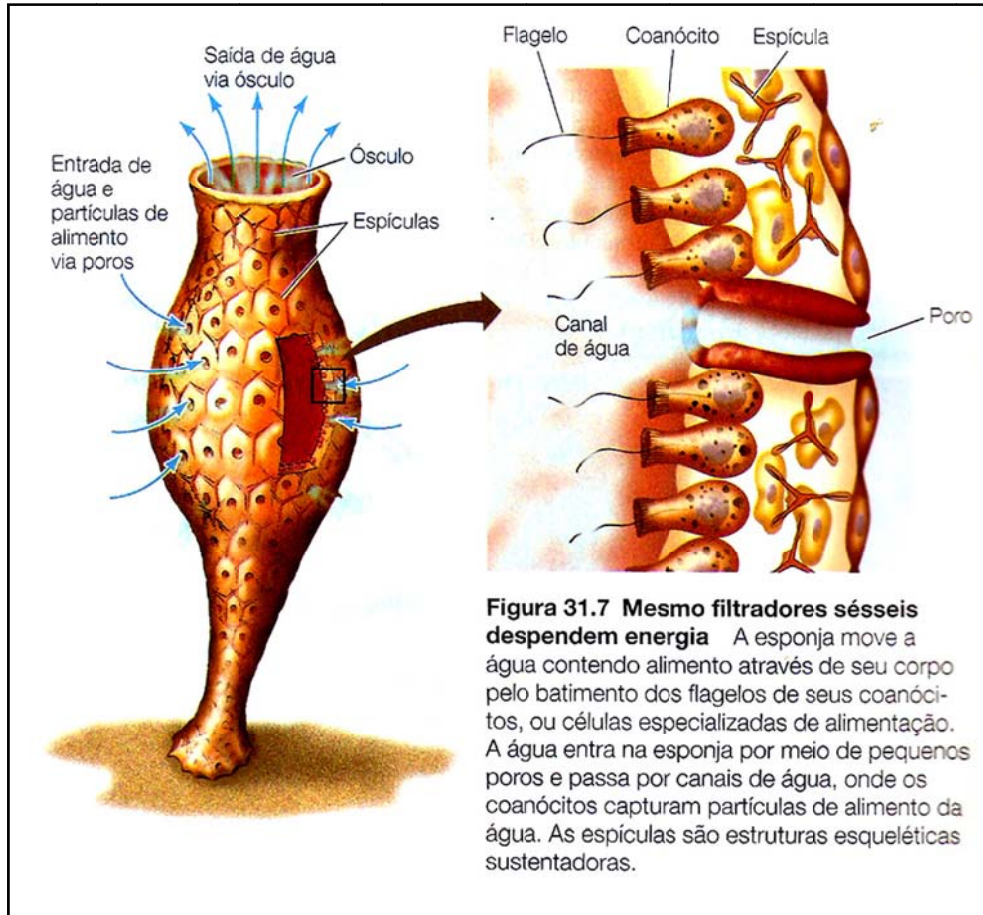
Fonte: Sadava *et al.* (2009)

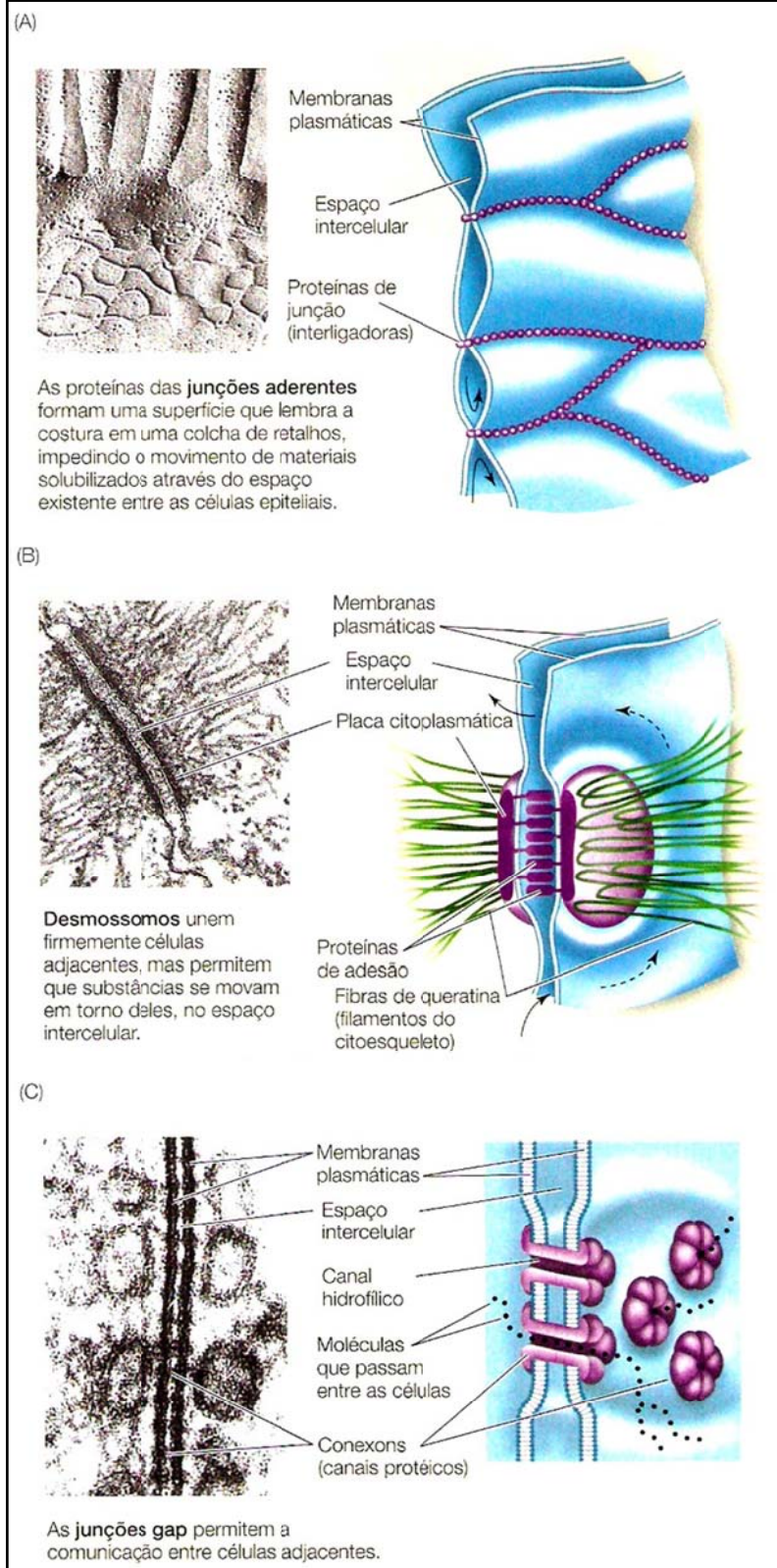












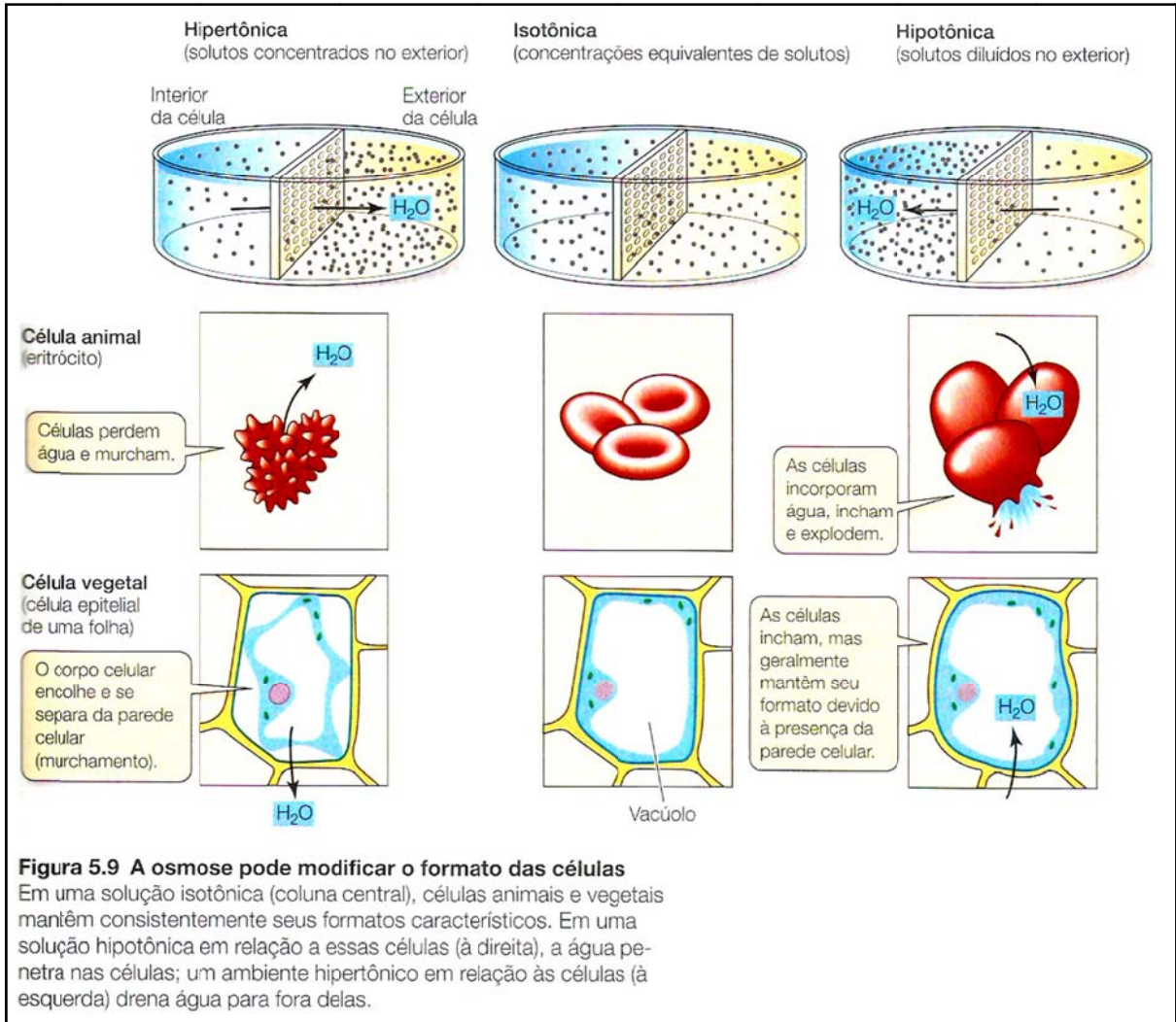


Figura 5.9 A osmose pode modificar o formato das células

Em uma solução isotônica (coluna central), células animais e vegetais mantêm consistentemente seus formatos característicos. Em uma solução hipotônica em relação a essas células (à direita), a água penetra nas células; um ambiente hipertônico em relação às células (à esquerda) drena água para fora delas.