

Matheus Silveira Galvão Gomes

**SISTEMATIZAÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL DE  
PRODUTOS ORIENTADO PELO USO DE MODELOS FÍSICOS  
NO ESTIMULO À CRIATIVIDADE**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia  
Mecânica da Universidade Federal de  
Santa Catarina para a obtenção do  
Grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica  
Orientador: Prof. Dr. André Ogliari

Florianópolis  
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gomes, Matheus Silveira Galvão

Sistematização do projeto conceitual de produtos orientado pelo uso de modelos físicos no estímulo à criatividade / Matheus Silveira Galvão Gomes ; orientador, André Ogliari, 2019.

221 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Mecânica. 2. Modelos Físicos. 3. Criatividade. 4. Projeto Conceitual. 5. Inovação. I. Ogliari, André. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Matheus Silveira Galvão Gomes

**SISTEMATIZAÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL DE  
PRODUTOS ORIENTADO PELO USO DE MODELOS FÍSICOS  
NO ESTIMULO À CRIATIVIDADE**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de  
“Mestre em Engenharia Mecânica” e aprovada em sua forma final pelo  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Florianópolis, 4 de julho de 2019.

---

Prof. Jonny Carlos da Silva Dr. Eng.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. André Ogliari, Dr. Eng.  
Orientador

---

Prof. Acires Dias Dr. Eng.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira, Dr. Eng.  
Universidade Estadual de Santa Catarina



Este trabalho é dedicado à toda minha família.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus familiares, em especial aos meus pais, Jorge e Cristina, por todo apoio e suporte durante o desenvolvimento deste trabalho. Também, agradeço aos meus tios Gilberto e Érica, pelo apoio fundamental durante os anos em Florianópolis.

À minha namorada Fernanda, por todo apoio, carinho, incentivo e compreensão.

Ao orientador André Ogliari, pela oportunidade de desenvolver este tema. As orientações, correções e comentários durante o trabalho engrandeceram tanto esta pesquisa quanto minhas percepções como pesquisador

Aos colegas e amigos do Nedip pela convivência e discussões que melhoraram o resultado deste trabalho. Obrigado a todos pelo apoio e ajuda prestada. Em especial, agradeço ao Paulo Henrique Zen, pela ajuda durante os experimentos e desenvolvimento da dissertação.

Aos alunos da disciplina de Metodologia de Projetos em Engenharia Mecânica, semestre 2018.2, pela participação nos experimentos com os modelos físicos.

Por fim, agradeço a Deus pela oportunidade de mais essa conquista.



“Quem conduz e arrasta o mundo não são as  
máquinas, mas sim as ideias”  
Victor Hugo



## RESUMO

O desenvolvimento de produtos demanda inovações constantes, que são potencializadas por meio da criatividade dos projetistas, buscando novas soluções para as funções dos produtos. A busca por essas soluções ocorre principalmente na fase de Projeto Conceitual, em que se utilizam estimuladores à criatividade como auxílio à ideação, com o objetivo de superar as barreiras ao processo criativo. O conceito base dos estimuladores é a inspiração pela identificação de similaridades entre sistemas diferentes, ou seja, por meio de analogias. Porém, o raciocínio analógico é complexo, principalmente para projetistas inexperientes, em função da necessidade de abstrair e aplicar conceitos a partir de situações distintas, dificultando a melhor utilização do estímulo. Como forma de potencializar o uso dos estímulos, apresentam-se os modelos físicos como estimuladores à criatividade. Essa proposta se baseia na sua capacidade de aumentar o entendimento da fonte de analogia, mitigando a fixação funcional e potencializando a criatividade. A presente dissertação propõe o uso de modelos físicos como estimuladores durante as sessões criativas do projeto conceitual. Apresenta-se, assim, uma sistemática de construção e uso dos modelos físicos, contendo atividades que guiam a representação de fontes de analogia e orientam a aplicação de modelos físicos nas atividades do projeto conceitual. A aplicação da sistemática mostrou uma avaliação positiva sobre o processo de construção de modelos, com relação a profundidade, competência, clareza, consistência e completeza das atividades propostas. Ainda, o uso dos modelos físicos durante a ideação demonstrou sua capacidade de orientar a geração de soluções mais úteis, novas e exequíveis. Estes resultados demonstram a efetividade dos modelos físicos como estimuladores à criatividade na fase do projeto conceitual, facilitando o trabalho de projetistas na busca pela inovação.

**Palavras-chave:** Modelos Físicos. Criatividade. Projeto Conceitual.



## ABSTRACT

Product development demands constant innovations, which are enhanced through the creativity of the designers, seeking new solutions for product functions. The search for these solutions occurs mainly in the Conceptual Design phase, in which creative stimuli are used as a support to ideation, to overcome barriers to the creative process. The basic concept of creative stimuli is the inspiration by identifying similarities between different systems, that is, using analogies. However, analogical reasoning is complex, especially for novice designers, due to the need to abstract and apply concepts from different situations, making difficult the best use of the stimulus. As a way to enhance the use of the stimuli, physical models are presented as stimulators to creativity. This proposal is based on its ability to increase understanding of the source of analogy, mitigating functional fixedness and enhancing creativity. The present dissertation proposes the use of physical models as stimuli during the creative sessions of the conceptual design. A systematic approach to build and use the physical models is presented, containing activities that guide the representation of sources of analogy and guide the application of physical models in the activities of the conceptual design. The application of the systematic approach showed a positive evaluation of the model building process, on the depth, competence, clarity, consistency, and completeness of the proposed activities. Besides that, the use of physical models during ideation demonstrated its ability to guide the generation of more useful, new and feasible solutions. These results show the effectiveness of physical models as a creative stimulus in the conceptual design phase, facilitating the work of designers in the search for innovation.

**Keywords:** Physical Models. Creativity. Conceptual Design.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Etapas de trabalho segundo a metodologia de pesquisa científica.....	33
Figura 2.1 - Modelo PRODIP. ....	36
Figura 2.2 - Matriz Morfológica, em que F são as funções e E os princípios de solução. ....	40
Figura 2.3 - Espaço de compartilhamento de função e aparência. ....	44
Figura 2.4 - Exemplo de analogia profunda e superficial.....	47
Figura 3.1 - Dinâmica do espaço C-K. ....	61
Figura 3.2 - Aprendizagem experiencial. ....	65
Figura 3.3 - Cartão forma e função para conteúdo biológico. ....	66
Figura 4.1 - Visão geral da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	74
Figura 4.2 – Atividade 1 da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	75
Figura 4.3 - Síntese funcional da cadeira de rodas que auxilia a movimentação do usuário entre cadeira e cama. ....	76
Figura 4.4 - Atividade 2 da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	82
Figura 4.5 - Atividade 3 da sistemática de construção de modelos físicos. ....	89
Figura 4.6 - Conceito das peças dos modelos físicos. Em a) para a Cinesina-1 e em b) para o Espinho do Ouriço Europeu. ....	90
Figura 4.7 - Leiaute preliminar dos modelos físicos. Em a) da Cinesina-1 e em b) do Espinho do Ouriço Europeu. ....	91
Figura 4.8 - Leiaute detalhado dos modelos físicos. Em a) da Cinesina-1 e em b) dos Espinhos do Ouriço Europeu. ....	91
Figura 4.9 - Atividade 4 da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	92
Figura 4.10 - Peças dos modelos físicos, em a) da Cinesina-1 e em b) dos Espinhos do Ouriço Europeu. ....	92
Figura 4.11 - Construção dos modelos físicos.....	93
Figura 4.12 - Demonstração do funcionamento do modelo da Cinesina-1 e em b) do espinho do Ouriço Europeu.....	95
Figura 4.13 - Demonstração do funcionamento do modelo dos Espinhos do Ouriço Europeu.....	96
Figura 4.14 - Tarefas para avaliação dos modelos físicos como estimuladores à criatividade. ....	98
Figura 4.15 - Sínteses funcionais dos problemas. Em a) do descascador de laranjas e em b) da cadeira de rodas. ....	99

Figura 4.16 - Exemplo de uma ideia gerada em um dos dias do experimento.....	109
Figura 4.17 - Participantes trabalhando com os modelos físicos. ....	113
Figura 4.18 – Resultado da avaliação dos participantes sobre se existe uma diferença de estímulo entre os cartões e os modelos físicos. ....	116
Figura 4.19 – Resultado da avaliação dos participantes sobre a facilidade em utilizar os modelos físicos na geração de ideias. ....	116
Figura 4.20 - Resultado da avaliação dos participantes sobre qual modelo foi mais influente na geração de ideias. ....	117
Figura 4.21 - Satisfação dos participantes com o processo de geração de ideias. ....	118
Figura 4.22 - Exemplo de duas das ideias com melhor avaliação da métrica novidade, geradas pelo grupo que trabalho com modelos físicos. ....	120
Figura 5.1 - Contextualização da problemática para o projeto conceitual. ....	124
Figura 5.2 - Sequência de atividades do projeto conceitual estimulado por modelos físicos. ....	125
Figura 5.3 - Atividade 1: Definição da função interesse.....	126
Figura 5.4 - Atividade 2: Construção de modelos físicos. ....	127
Figura 5.5 - Atividade 4: Orientações de utilização de modelos físicos .....	128
Figura 5.6 - Atividade 5: Sessão de <i>brainstorming</i> . ....	129
Figura 5.7 - Atividade 5: Preenchimento da matriz morfológica. ....	129
Figura 5.8 - Atividade 6: Seleção das concepções viáveis. ....	130
Figura 5.9 - Especialistas envolvidos nas atividades da sistemática ...	136
Figura 5.10 - Modelo construído na primeira fase da avaliação qualitativa da sistemática .....	138
Figura 5.11 - Modelo construído na segunda fase da avaliação qualitativa da sistemática. ....	140
Figura 5.12 - Gráfico radar com as avaliações dos especialistas sobre a sistemática. ....	142
Figura C.1 - Cartão informativo sobre a pálpebra dos olhos, utilizado na Fase I do experimento. ....	171
Figura C.2 - Cartão informativo sobre o giro dos animais para secagem, utilizado na Fase I do experimento. ....	172
Figura C.3 - Cartão informativo sobre a Cinesina-1, frente, utilizado na Fase II do experimento. ....	173
Figura C.4 - Cartão informativo sobre a Cinesia-1, verso, utilizado na Fase II do experimento. ....	174

Figura C.5 - Cartão informativo sobre o Espinho do Ouriço Europeu, utilizado na Fase II do experimento. ....	175
Figura D.1 - Descrição do problema e atividade da Fase I do experimento. ....	177
Figura D.2 - Formulário para registro das ideias geradas. ....	178
Figura D.3 - Cartão informativo sobre a pálpebra dos olhos, utilizado na Fase I do experimento. ....	179
Figura D.4 - Cartão informativo sobre o pelo de animais, utilizado na Fase I do experimento. ....	180
Figura E.1 - Processo de armazenamento das ideias em uma planilha. ....	181
Figura E.2 - Processo de avaliação das ideias. ....	182
Figura E.3 - Instruções de leitura da tabela dos dados das avaliações. ....	183
Figura F.1 - Descrição do problema e atividade da Fase II do experimento, para o grupo que trabalhou com os cartões informativos. ....	187
Figura F.2 - Descrição do problema e atividade da Fase II do experimento, para o grupo que trabalhou com os modelos físicos. ....	188
Figura F.3 - Cartão informativo sobre a Cinesina-1, frente, utilizado na Fase II do experimento. ....	189
Figura F.4 - Cartão informativo sobre a Cinesina-1, verso, utilizado na Fase II do experimento. ....	190
Figura F.5 - Cartão informativo sobre o Espinho do Ouriço Europeu, utilizado na Fase II do experimento. ....	191
Figura F.6 - Modelos físicos utilizados na Fase II do experimento. Em a) da Cinesina-1 e em b) dos Espinhos do Ouriço Europeu. ....	192
Figura F.7 - Questionário aplicado no grupo A, que trabalhou com os modelos físicos na Fase II do experimento. ....	193
Figura K.1 - Resultado das Tarefas 1.3 e 1.4, na primeira fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	209
Figura K.2 - Resultado da Tarefa 2.1, na primeira fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	210
Figura K.3 - Resultado da Tarefa 2.2, na primeira fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	211
Figura K.4 - Resultado das Tarefas 3.1, 3.2 e 3.3, na primeira fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	212
Figura K.5 - Resultado das Tarefas 1.3 e 1.4, na segunda fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	213
Figura K.6 - Resultado da Tarefa 2.1, na segunda fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	214

Figura K.7 - Resultado da Tarefa 2.2, na segunda fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.....	215
Figura K.8 - Resultado das Tarefas 3.1, 3.2 e 3.3, na segunda fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.....	216

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Classificação de modelos. ....	56
Quadro 3.2 - Classificação de modelos físicos.....	58
Quadro 4.1 - Sugestões para o desenvolvimento da tarefa 1.2 da sistemática de construção dos modelos físicos.....	77
Quadro 4.2 - Comparação das características das fontes.....	81
Quadro 4.3 - Texto descritivo da Cinesina-1.....	82
Quadro 4.4 - Texto descritivo dos Espinhos do Ouriço Europeu.....	84
Quadro 4.5 – Identificação dos objetos, com base no modelo FEARC, da Cinesina-1.....	87
Quadro 4.6 - Identificação dos objetos, com base no modelo FEARC, do Espinho do Ouriço Europeu. ....	88
Quadro 4.7 - Avaliações da Tarefa 4.2 para os modelos da Cinesina-1 e dos Espinhos do Ouriço Europeu. ....	94
Quadro 4.8 - Problemas de projeto de produtos. ....	97
Quadro 4.9 - Matriz de comparação dos parâmetros avaliados para a Exequibilidade da Solução. ....	102
Quadro 4.10 – Métricas e Hipóteses para o experimento com os modelos físicos. ....	104
Quadro 4.11 - Critérios para uso dos testes estatísticos. ....	105
Quadro 4.12 - Estrutura dos grupos para o experimento. ....	106
Quadro 4.13 - Programação das atividades do experimento. ....	106
Quadro 4.14 - Perfil dos avaliadores. ....	108
Quadro 5.1 - Programação da avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	132
Quadro 5.2 - Problemas para avaliação qualitativa da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	132
Quadro 5.3 - Perfil dos especialistas que avaliaram a sistemática de construção dos modelos físicos .....	133
Quadro 5.4 - Estrutura da avaliação qualitativa. ....	133
Quadro 5.5 - Questões de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.....	134
Quadro 5.6 - Resultados da primeira fase de avaliação qualitativa da sistemática.....	136
Quadro 5.7 - Resultados da segunda fase de avaliação qualitativa da sistemática.....	139
Quadro B.1 - Classe "Ramificar" da base funcional. ....	166
Quadro B.2 - Comparação dos sistemas técnicos para a função "Remover a casca". ....	166

Quadro B.3 - Comparação dos sistemas técnicos com relação à representação do princípio 6 de Projeto Universal.....	168
Quadro B.4 - Texto descritivo para a maçaneta tipo alavanca.....	169
Quadro B.5 - Identificação dos objetos, com base no modelo FEARC, para a maçaneta tipo alavanca.....	170
Quadro H.1 - Respostas às questões do questionário de avaliação dos modelos físicos. ....	199
Quadro K.1 - Comentários feitos pelos avaliadores.....	218

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Teste de normalidade Anderson-Darling dos dados para as métricas utilidade, novidade e exequibilidade das soluções, dos três especialistas, na fase I do experimento.....	110
Tabela 4.2 - Análise estatística da métrica utilidade, na fase I do experimento.....	111
Tabela 4.3 - Análise estatística da métrica novidade, na fase I do experimento.....	111
Tabela 4.4 - Análise estatística da métrica exequibilidade da solução, na fase I do experimento. ....	111
Tabela 4.5 - Teste de normalidade Anderson-Darling dos dados para as métricas utilidade, novidade e exequibilidade das soluções, dos três especialistas, na fase II do experimento. ....	113
Tabela 4.6 - Análise estatística da métrica utilidade, na fase II do experimento.....	114
Tabela 4.7 - Análise estatística da métrica novidade, na fase II do experimento.....	114
Tabela 4.8 - Análise estatística da métrica exequibilidade da solução, na fase II do experimento. ....	115
Tabela E.1 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase I do experimento, para o especialista 1.....	184
Tabela E.2 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase I do experimento, para o especialista 2.....	185
Tabela E.3 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase I do experimento, para o especialista 3.....	186
Tabela G.1 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase II do experimento, para o especialista 1.....	196
Tabela G.2 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase II do experimento, para o especialista 2.....	197
Tabela G.3 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase II do experimento, para o especialista 3.....	198
Tabela K.1 - Respostas ao questionário de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos. ....	217



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ADP – Sigla para Adenosina Difosfato, sempre que é requerida energia para a célula, ocorre a conversão do ATP em ADP + P<sub>i</sub>.
- ANOVA – Análise de Variância
- ATP – Sigla para Adenosina Trifosfato, essa molécula constitui a principal forma de energia química para as células.
- BRc – *Brainstorming* estimulado por cartões informativos
- BRm – *Brainstorming* estimulado por modelos físicos
- C – *Concepts* (Conceitos)
- ca – Características novas da ideia
- K – *Knowledge* (Conhecimentos)
- C-K – *Concept to Knowledge*
- DFx – *Design for X*
- EXE – Exequibilidade da Solução
- f - Funções
- FEARC – Sigla para Função, Elementos, Atributos, Relações e Comportamento.
- Func – Funções Relevantes
- MESCRAI – Modifique, Elimine, Substitua, Combine, Rearranje, Adapte, Inverta
- Nc – Número total de características
- NOV - Novidade
- PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto
- PRODIP – Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
- P<sub>i</sub> – Radical de fosfato inorgânico, liberado pela molécula de ATP.
- QInfo – Quantidade de informações
- Tec – Maturidade Tecnológica
- TRIZ – Teoria da Solução Inventiva de Problemas
- UT – Utilidade



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>29</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	29
1.2 OBJETIVOS .....	31
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>31</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>31</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	31
1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	32
1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO .....	33
<b>2 PROJETO DE PRODUTOS .....</b>	<b>35</b>
2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	35
2.2 PROJETO CONCEITUAL .....	38
2.3 MÉTODOS DE CRIATIVIDADE.....	41
2.4 ANALOGIAS .....	43
2.5 ANALOGIAS NO PROJETO DE PRODUTOS .....	46
<b>2.5.1 Distância entre domínios.....</b>	<b>47</b>
<b>2.5.2 Experiência dos Projetistas.....</b>	<b>49</b>
<b>2.5.3 Forma de apresentação da fonte de analogia.....</b>	<b>50</b>
<b>3 MODELOS FÍSICOS NO PROJETO DE PRODUTOS .....</b>	<b>55</b>
3.1 MODELOS FÍSICOS COMO ESTÍMULO À CRIATIVIDADE. ....	59
<b>3.1.1 Modelos Físicos para Mitigar a Fixação Funcional.....</b>	<b>60</b>
<b>3.1.2 Modelos Físicos como Ferramenta de Aprendizado .....</b>	<b>64</b>
3.2 MODELOS FÍSICOS NA REPRESENTAÇÃO DE FONTES DE ANALOGIA .....	67
3.3 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS FÍSICOS.....	69
<b>4 MODELOS FÍSICOS COMO ESTIMULADORES À CRIATIVIDADE.....</b>	<b>73</b>
4.1 SISTEMÁTICA PARA CONSTRUÇÃO DOS MODELOS FÍSICOS.....	73
<b>4.1.1 Atividade 1: Encontrar fontes de analogia.....</b>	<b>75</b>
<b>4.1.2 Atividade 2: Caracterizar a fonte de analogia .....</b>	<b>82</b>
<b>4.1.3 Atividade 3: Projetar o modelo físico .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1.4 Atividade 4: Construir o modelo físico.....</b>	<b>91</b>
4.2 ESTRUTURA DA AVALIAÇÃO DOS MODELOS FÍSICOS COMO ESTIMULADORES À CRIATIVIDADE .....	97
<b>4.2.1 Métricas de Avaliação.....</b>	<b>100</b>
<b>4.2.2 Análise Estatística .....</b>	<b>103</b>
<b>4.2.3 Programação do Experimento .....</b>	<b>105</b>

4.3 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DOS MODELOS FÍSICOS COMO ESTIMULADORES À CRIATIVIDADE .....	108
4.3.1 Processo de Avaliação das soluções geradas.....	108
4.3.2 Avaliação da homogeneidade entre os grupos.....	109
4.3.3 Avaliação dos modelos físicos como estimuladores à criatividade.....	112
4.3.4 Avaliação qualitativa sobre o uso dos modelos físicos como estimuladores à criatividade .....	115
4.3.5 Considerações finais sobre a avaliação dos Modelos Físicos.....	118
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 4 .....	122
<b>5 SISTEMATIZAÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL DE PRODUTOS ORIENTADO POR MODELOS FÍSICOS .....</b>	<b>123</b>
5.1 PROJETO CONCEIUAL ORIENTADO POR MODELOS FÍSICOS.....	123
5.1.1 Atividade 1: Síntese funcional.....	126
5.1.2 Atividade 2: Definição da função de interesse .....	126
5.1.3 Atividade 3: Construção de modelos físicos.....	127
5.1.4 Atividade 4: Orientações de utilização de modelos físicos....	127
5.1.5 Atividade 5: Sessão de <i>brainstorming</i> .....	128
5.1.6 Atividade 6: Preenchimento da matriz morfológica .....	129
5.1.7 Atividade 7: Seleção das concepções viáveis.....	130
5.2 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA SISTEMÁTICA DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS FÍSICOS .....	130
5.2.1 Materiais e Métodos da avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.....	131
5.2.2 Resultados da primeira fase de avaliação qualitativa da sistemática de construção dos modelos físicos .....	135
5.2.3 Resultados da segunda fase de avaliação qualitativa da sistemática de construção dos modelos físicos .....	138
5.2.4 Avaliação qualitativa da sistemática de construção dos modelos físicos.....	141
5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	144
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>147</b>
6.1 CONCLUSÕES .....	147
6.2 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	150
<b>APÊNDICE A – Métodos de criatividade mais comuns na literatura.....</b>	<b>163</b>
<b>APÊNDICE B – Exemplos de aplicação da sistemática de construção dos modelos físicos.....</b>	<b>165</b>

<b>APÊNDICE C – Cartões Informativos utilizados nas duas Fases do experimento de avaliação dos modelos físicos .....</b>	<b>171</b>
<b>APÊNDICE D – Instrumentos de trabalho utilizados na Fase I do experimento.....</b>	<b>177</b>
<b>APÊNDICE E – Avaliações das ideias geradas na Fase I do experimento.....</b>	<b>181</b>
<b>APÊNDICE F – Instrumentos de trabalho utilizados na Fase II do experimento.....</b>	<b>187</b>
<b>APÊNDICE G – Avaliações das ideias geradas na Fase II do experimento.....</b>	<b>195</b>
<b>APÊNDICE H – Respostas do questionário aplicado na Fase II do experimento.....</b>	<b>199</b>
<b>APÊNDICE I – Questionário para avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos .....</b>	<b>205</b>
<b>APÊNDICE J – Formulários para registro dos resultados das tarefas na avaliação da sistemática de construção dos modelos....</b>	<b>207</b>
<b>APÊNDICE K - Resultados da avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos .....</b>	<b>209</b>
<b>ANEXO A - Base Funcional proposta por Hirtz (2002).....</b>	<b>219</b>



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Inovar em seus produtos e serviços é um fator importante para as empresas se manterem competitivas no mercado. Além disso, um ambiente de inovação é capaz de influenciar na competitividade do país, auxiliando no seu desenvolvimento econômico (CALMANOVICI, 2011). Inovação consiste em introduzir uma ideia nova no mercado e fazer com que ela seja aceita e percebida pelo mesmo (CORAL; OGLIARI; ABREU, 2008).

O processo de inovar é complexo e, se mal gerenciado, pode não atender as demandas de uma empresa competitiva, com relação a otimização dos recursos aplicados. Então, visando integrar a inovação com as demandas estratégicas, existem metodologias que sistematizam o processo de desenvolvimento de produtos (PDP), visando desenvolver boas soluções em menos tempo (BACK et al., 2008).

Estas metodologias apresentam uma sequência de atividades auxiliadas por ferramentas específicas, com objetivo de otimizar o processo de desenvolvimento. Quando se trata de inovação, destacam-se ferramentas conhecidas como métodos de criatividade, que são utilizados quando se quer obter soluções novas, em um determinado contexto, dentro de um curto prazo de tempo. Esses métodos tentam desassociar o processo criativo apenas da capacidade humana, transformando-o em um processo mais sistêmico, gerenciável e, portanto, mais eficaz (ABDALA, 2013). Eles são usados principalmente na fase de Projeto Conceitual, com o objetivo de potencializar a criatividade dos projetistas, para facilitar a busca por resultados mais novos (BACK et al., 2008).

Em comum em alguns métodos de criatividade está o uso de analogias, que potencializam a busca por soluções criativas a partir da identificação de similaridade entre dois sistemas diferentes (FERNANDES, 2016; FERNANDES; OGLIARI, 2018). O raciocínio analógico é cognitivamente complexo de ser desenvolvido por projetistas, principalmente os inexperientes (SIO; KOTOVSKY; CAGAN, 2015), em função do trabalho necessário para abstrair e utilizar as informações dos sistemas análogos nas soluções dos problemas sendo resolvidos. Esta dificuldade se acentua quando os sistemas análogos pertencem à domínios de conhecimento distantes do problema de projeto (CHRISTENSEN; SCHUNN, 2007).

Como forma de estimular o desenvolvimento do raciocínio analógico, existem propostas de estimuladores à criatividade, como os

apresentados por Messerschmidt (2018), Boetler (2017), Fernandes (2016) e Abdala (2013), que enriquecem o processo criativo com informações de determinado domínio de conhecimento, com o objetivo de estimular a busca por soluções por meio de analogias. Vasconcelos e Crilly (2016) apresentam que textos, imagens ou objetos são formas comuns, encontradas na literatura, de apresentar estas informações aos projetistas.

Porém, com relação a imagens e palavras, existe uma restrição à complexidade e quantidade das informações que podem ser apresentadas, pois textos técnicos, ilustrações detalhadas sobre determinado sistema ou ilustrações simples com palavras chave podem ser difíceis de interpretar, aumentando o esforço cognitivo para a realização de uma analogia. No caso de objetos, apesar da possibilidade de apresentar maior quantidade de informações, referentes a geometria, textura e proporções físicas, a utilização deste tipo de estímulo é limitada a produtos comerciais, ou conceitos de soluções, desconsiderando potenciais fontes de analogia em domínios de conhecimento que não pertençam à engenharia.

É nesse contexto que se estabelecem os modelos físicos como estimuladores à criatividade, pois pelas características físicas, pressupõe-se que eles sejam capazes de facilitar o raciocínio analógico, além de poderem representar sistemas análogos de diversos domínios de conhecimento.

Os modelos físicos, quando utilizados em atividades de projeto, são capazes de facilitar a exploração e refinamento das ideias, a comunicação da equipe de projeto (CAMBURN et al., 2017) e o aprendizado (LEMONS et al., 2010). Além disso, quando utilizados em processos de ideação, auxiliam a mitigar a fixação funcional nos projetistas (VISWANATHAN et al., 2014). Estas características fazem dos modelos físicos uma ferramenta capaz de potencializar o raciocínio analógico e, assim, estimular a busca por soluções criativas, sendo de grande utilidade a sua inserção dentro da fase de projeto conceitual, no desenvolvimento de produtos.

Portanto, a presente dissertação visa responder as seguintes questões de pesquisa:

1 – Como construir modelos físicos que facilitem a abstração e utilização das informações de uma fonte de analogia, e assim potencializar o raciocínio analógico?

2 – Como inserir os modelos físicos, como estimuladores à criatividade, nas atividades do projeto conceitual de produtos?

## 1.2 OBJETIVOS

A seguir, são apresentados os objetivos geral e específicos que guiaram o desenvolvimento do trabalho.

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é propor uma sistemática para desenvolver e utilizar modelos físicos, como fontes de analogias, para estimular à criatividade, na fase de projeto conceitual de produtos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos, para o trabalho atingir o objetivo geral, são:

- Estruturar uma sistemática para construção dos modelos físicos que representem fontes de analogia;
- Testar os modelos físicos como ferramenta que melhora as soluções de projeto;
- Estruturar uma sistemática para uso dos modelos físicos como estimuladores à criatividade no projeto conceitual;
- Avaliar a sistemática de construção sob critérios relacionados a sua aplicação na fase do Projeto Conceitual de produtos.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A proposta se justifica por ser capaz de facilitar o raciocínio analógico dos projetistas, pela implementação dos modelos físicos na representação das fontes de analogia. A partir disso, é facilitada a busca por soluções por meio de analogias, o que, segundo Linsey et al. (2010), possui capacidade de gerar soluções criativas, por mitigar a fixação funcional.

Além disso, as características dos modelos físicos, como facilitar a comunicação e focar a atenção dos projetistas, tendem a tornar as atividades de ideação mais interativas e dinâmicas, em comparação com estimuladores na forma de textos e imagens, o que gera um ambiente mais propício para a criação de soluções criativas.

Por fim, tratando de um projeto sendo desenvolvido por uma equipe heterogênea e multidisciplinar, como sugerem Back et al. (2008), os modelos físicos são capazes de facilitar o raciocínio analógico para projetistas inexperientes, aproximando a sua performance nas atividades

de ideação com o dos mais experientes. Isto aumenta a capacidade criativa da equipe e motiva aqueles que possuem menos experiência.

#### 1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente dissertação é classificada como exploratória, quanto aos seus objetivos, pois segundo (GIL, 2002).

Com relação aos procedimentos técnicos utilizados, foram realizadas uma pesquisa experimental e uma pesquisa-ação. A pesquisa experimental determina um objeto de estudo, seleciona as variáveis que são capazes de influenciá-lo, define as formas de controle e de observação dos efeitos. A pesquisa-ação consiste em uma atividade na qual o pesquisador e os participantes representativos para o contexto estão envolvidos de maneira cooperativa, ou participativa, em uma ação ou resolução de problema (GIL, 2002).

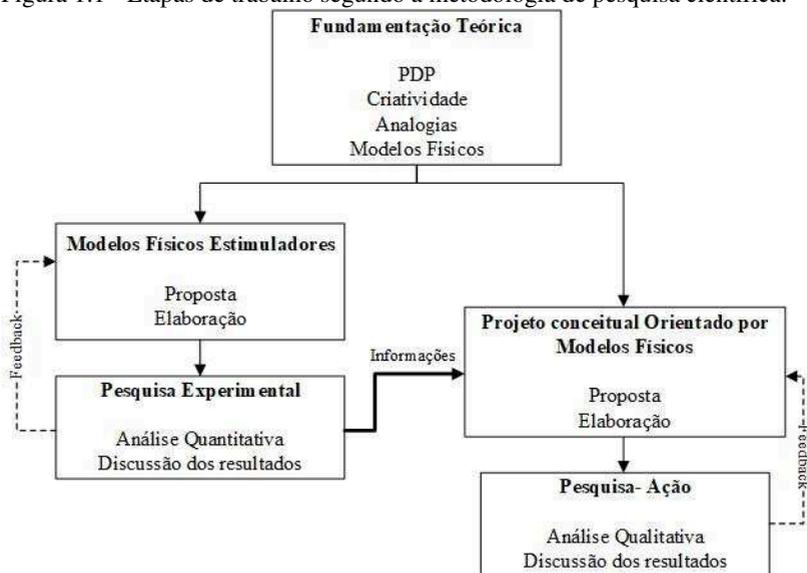
A pesquisa experimental foi empregada para avaliação quantitativa, utilizando uma análise estatística, da contribuição dos modelos físicos como estimuladores à criatividade. Os alunos participantes foram divididos em dois grupos, de controle e teste, em que o grupo de teste trabalhou com o auxílio dos modelos físicos para solucionar um problema proposto. As soluções dos grupos foram documentadas e posteriormente analisadas por especialistas, com base nas métricas propostas para o trabalho.

A pesquisa-ação foi empregada para avaliar a sistemática de construção dos modelos físicos. Para isso, a sistemática foi aplicada por especialistas em projeto de sistemas mecânicos, desenvolvendo as atividades propostas e ao final apresentando suas opiniões, respondendo a um questionário. A avaliação qualitativa das respostas apresentou os pontos positivos, negativos e de melhoria na sistemática proposta.

As etapas da pesquisa são apresentadas no fluxograma da Figura 1.1.

Os resultados da pesquisa como um todo, desde a fundamentação teórica até a avaliação dos resultados quantitativos e qualitativos, estão presentes nesta dissertação.

Figura 1.1 - Etapas de trabalho segundo a metodologia de pesquisa científica.



## 1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos de elementos textuais, incluindo o atual, de **Introdução**, em que foi apresentada a contextualização do problema, os objetivos do trabalho, a justificativa para sua realização e a metodologia aplicada. Ao final, encontram-se as seções pós-textuais, com as referências bibliográficas utilizadas, uma seção com apêndices e outra com anexos, contendo materiais complementares para o entendimento do trabalho.

No capítulo 2, **Projeto de Produtos**, são apresentadas as principais atividades para o desenvolvimento de produtos, com enfoque na fase de Projeto Conceitual. Pelo escopo desta dissertação, neste capítulo são trabalhados os métodos de criatividade e o conceito de analogias, como auxílio na busca por soluções de projeto.

O capítulo 3, **Modelos físicos no Projeto de Produtos**, trata da utilização de modelos no projeto de produtos. Neste capítulo o enfoque é dado para os modelos físicos, abordando sua capacidade em estimular a criatividade e os fatores que influenciam no raciocínio analógico.

No capítulo 4, **Modelos físicos como estimuladores à criatividade**, é apresentada a sistemática de construção dos modelos físicos e a avaliação dos mesmos como estimuladores à criatividade.

Neste capítulo é descrito o experimento realizado, bem como os resultados obtidos, apresentando uma discussão sobre eles, que permite entender melhor os efeitos dos modelos físicos nas atividades realizadas.

O capítulo 5, **Sistematização do Projeto Conceitual auxiliado por modelos físicos**, apresenta uma sistemática para utilizar os modelos físicos, como estimuladores à criatividade, dentro das atividades do Projeto Conceitual. A partir disso, é realizada a avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos, sob ótica de especialistas, apresentando uma discussão sobre os pontos fortes e lacunas da proposta.

No capítulo 6, **Conclusões e Recomendações de trabalhos futuros**, são apresentadas as conclusões obtidas nesta pesquisa, com relação a contribuição dos modelos físicos às soluções de projeto e a maneira de utilizá-los dentro do Projeto Conceitual. Ao final, são sugeridos trabalhos futuros, relacionados ao tema desta dissertação, capazes de expandir o conhecimento aqui apresentado.

## 2 PROJETO DE PRODUTOS

Neste capítulo serão revisados os conceitos sobre o processo de desenvolvimento de produtos e criatividade. Será dada ênfase no Projeto Conceitual, fase especialmente criativa, em que está inserido o objetivo desta dissertação, tratando de métodos de criatividade que auxiliam na busca por soluções. Em especial, explora-se o projeto por analogias, que consiste em uma importante ferramenta na busca por soluções e que será um dos temas centrais deste trabalho.

### 2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Ulrich e Eppinger (2012) tratam o PDP como uma sequência de atividades que buscam conceber, projetar e comercializar um produto. Já Back et al. (2008) trata o desenvolvimento de produto como um processo de transformação de informações, referentes a demanda, produção e utilização de determinado produto. Quando se trata deste desenvolvimento em um contexto integrado, considera-se que as transformações sejam efetuadas por uma equipe multidisciplinar, trabalhando simultaneamente.

Existem diversas metodologias que buscam sistematizar o PDP, com objetivo de guiar a equipe de projeto por meio de atividades, que irão resultar em um produto com qualidade e rapidez. Dentre estas metodologias destacam-se Pahl et al. (2005), Ulrich e Eppinger (2012), Baxter (2000) e a de Back et al. (2008), conhecida como modelo PRODIP (Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos), apresentado de forma esquemática na Figura 2.1, com destaque para a fase em que se insere o presente trabalho. Esta metodologia será utilizada como o modelo de referência para o desenvolvimento de produtos nesta dissertação, mas a proposta aqui apresentada pode ser aplicada em qualquer um dos outros modelos citados.

Pode-se observar pela Figura 2.1 que o modelo consiste de três macrofases.

A macrofase “Planejamento” apresenta a proposta de desenvolvimento de um produto, identificada pelas diretrizes da empresa, tecnologia disponível, ou as necessidades de mercado. Essa oportunidade advém do planejamento de produtos da empresa, ou *feedback* recebido pela gerência, engenharia, ou área comercial, por parte dos consumidores. Também é possível perceber a oportunidade por uma análise dos produtos concorrentes, *benchmarking* tecnológico, ou previsão tecnológica. Essa

macrofase subdivide-se em duas fases, o Planejamento de Produto e o Planejamento de Projeto.

Figura 2.1 - Modelo PRODIP.



Fonte: Back et al (2008)

O Planejamento de Produto define o que será desenvolvido na organização, levando em conta a estratégia da empresa, as tecnologias disponíveis no momento, aspectos da produção e financeiros. Nessa fase são tomadas decisões importantes, pois implicam diretamente no negócio, no mercado, nos produtos e no desenvolvimento, estando diretamente relacionadas com o sucesso ou fracasso da empresa. Assim, é importante utilizar métodos que auxiliem no desenvolvimento da fase, principalmente para tomadas de decisão (BACK et al., 2008).

O Planejamento de Projeto define todas as pessoas envolvidas no desenvolvimento do projeto, apontando a responsabilidade de cada uma. Então, faz-se a estrutura de desdobramento do trabalho, em que se determinam as equipes e as tarefas são atribuídas. Ainda nessa fase, definem-se os custos, as restrições e outras informações que servirão como base para avaliar o andamento do projeto e tomar as decisões necessárias para correção de rumos (BACK et al., 2008).

A segunda macrofase é a Projetoção, que tem como objetivo a elaboração do projeto do produto e do plano de manufatura, subdividindo-se (Figura 2.1) em quatro fases. A fase Projeto Informacional, proposta por Fonseca (2000), tem como resultado das atividades as especificações de projeto. O processo consiste em elicitar as necessidades dos usuários, para então convertê-las em requisitos dos usuários e transformá-los em requisitos do projeto, ordenando-os com base na sua importância para o sucesso do produto. Então, com base nos requisitos do projeto, atribuem-se as especificações, que são grandezas necessárias para garantir o atendimento aos requisitos. Essa fase necessita contato direto com os *stakeholders*, para perceber *trade-offs*, identificar possíveis soluções

inovadoras e compreender com profundidade as expectativas para o produto (ULRICH; EPPINGER, 2012).

A segunda fase, o Projeto Conceitual, de acordo com Back et al. (2008, p. 77) é a fase que “destina-se ao desenvolvimento da concepção do produto”, devendo atender as especificações de projeto definidas na fase anterior. O sucesso dessa fase depende da criatividade da equipe de projeto, que a partir de ferramentas como síntese funcional, métodos de criatividade e métodos de seleção, gera as concepções alternativas do produto. Em função do escopo deste trabalho estar inserido dentro dessa fase, conforme destaca a Figura 2.1, ela será melhor detalhada na seção 2.2.

No Projeto Preliminar, define-se o leiaute final da concepção escolhida na fase anterior, e se determina a sua viabilidade econômica, baseando-se nas especificações de projeto (ROMANO, 2003). Ulrich e Eppinger (2012) tratam esta fase como de avaliações dos conceitos gerados, sendo possível trabalhar com mais de um, com expectativa de que os testes, dentro da empresa e com clientes, sejam capazes de evidenciar qual das concepções é a melhor.

A última fase da Projetação, o Projeto Detalhado, destina-se a finalizar as especificações dos componentes, terminando o projeto do produto e também o detalhamento do plano de manufatura (ROMANO, 2003). Nessa fase são criados os desenhos técnicos dos componentes necessários para a fabricação, além de documentos para a produção e utilização (PAHL et al., 2005).

A terceira macrofase, Implementação, divide-se em Preparação da Produção, em que é fabricado um lote piloto para avaliar o produto e são definidas as etapas de montagem. Seguindo para a fase de Lançamento, em que ocorre a produção do lote inicial que será disponibilizado no mercado, junto com o plano de marketing e manuais técnicos. Por fim, a fase Validação busca avaliar o produto junto aos clientes, pela sua satisfação e percepção da performance, identificando os problemas e promovendo ações corretivas para os próximos lotes (ROMANO, 2003).

Tratar o PDP de uma forma sistemática propicia que soluções sejam elaboradas durante todas as atividades do projeto, a partir de métodos apropriados, evitando que o projetista precise ter uma boa ideia em um instante qualquer (PAHL et al., 2005). Porém, sabe-se que algumas fases do desenvolvimento de produtos necessitam de maior contribuição criativa da equipe de projeto, pois precisam gerar soluções a partir de informações escassas e incompletas, como por exemplo, na fase do Projeto Conceitual. Devido a isso, e à importância da fase no resultado final do produto, são necessários métodos de criatividade, que

potencializem o trabalho dos projetistas e auxiliem na geração de melhores soluções. Na seguinte seção, a fase Projeto Conceitual será detalhada.

## 2.2 PROJETO CONCEITUAL

O projeto conceitual está presente em todas as metodologias de PDP, sendo tratado como fase essencial para o sucesso do produto. Baxter (2000) define o projeto conceitual como uma fase altamente criativa, em que se busca a definição dos princípios funcionais e do estilo do produto, gerando múltiplos conceitos e escolhendo aquele que melhor atender as especificações de projeto. Pahl et al. (2005) tratam uma concepção como uma solução inicial, desenvolvida a partir de princípios funcionais apropriados à estrutura de funcionamento do produto. Ulrich e Eppinger (2012) apontam que nesta fase ocorre a descrição da tecnologia, princípios funcionais e a forma do produto, definindo como as especificações de projeto serão satisfeitas.

A escolha por desenvolver a proposta desta dissertação na fase de Projeto Conceitual foi tomada pela sua importância no sucesso do produto. Entende-se que boas soluções geradas nesta fase aproximam o projeto de um bom resultado final. Justifica-se que, por melhor que seja uma oportunidade de desenvolvimento de um novo produto, sua inovação será baseada na combinação das soluções existentes nele, por isso é importante desenvolver uma maneira de melhorá-las, potencializando o aproveitamento das oportunidades encontradas.

De maneira geral, essa fase segue o procedimento composto pelas seguintes atividades (BACK et al., 2008):

- Formular a função global do sistema a ser desenvolvido;
- Estabelecer uma estrutura de funções do problema;
- Criar princípios de soluções para cada função da estrutura;
- Criar concepções alternativas a partir da combinação de um princípio de solução de cada função;
- Selecionar as concepções viáveis.

As duas primeiras atividades originam-se da síntese funcional do produto em desenvolvimento, ferramenta apresentada pelo modelo PRODIP, em concordância com outros autores, que também enxergam a abordagem funcional do sistema como uma maneira de facilitar a busca por soluções. Ulrich e Eppinger (2012) tratam esta atividade como uma maneira de decompor um problema complexo em subproblemas mais

simples. Segundo Hirtz et al. (2002), essa forma de trabalhar facilita a comunicação entre os projetistas.

Dentro do contexto do trabalho, Linsey, Wood e Markman (2008) afirmam que trabalhar com a estrutura de funções de um produto aumenta o número de soluções baseadas em analogias, efeito importante na busca por soluções inovadoras, como será visto na sequência do capítulo.

Back et al. (2008) trata a síntese funcional como um método de criatividade, que deve ser desenvolvido em cinco etapas.

1 – Formulação da função global do problema: A função global é a declaração da função do sistema em desenvolvimento sob uma forma condensada e abstrata.

2 – Desenvolvimento da estrutura funcional do sistema: A função global é, normalmente, uma função complexa e por isso deve ser dividida em subfunções para melhor entendimento.

3 - Padronização e Representação da estrutura de funções: Forma de uniformizar a representação e interligação das funções, para facilitar a visualização, arranjo e comunicação.

4 – Análise e seleção de estruturas funcionais alternativas: É sugerido que mais de uma estrutura funcional seja desenvolvida na etapa 3. Então, nesta etapa, a melhor estrutura é escolhida com base em critérios estabelecidos.

5 – Estruturas de princípios de solução do sistema técnico: Busca de princípios de solução alternativos para cada função, baseados em literaturas técnicas, soluções adotadas em sistemas similares, ou catálogos de soluções.

Após encontrar os princípios de solução, faz-se o processo de geração das concepções, utilizando o método sistemático chamado matriz morfológica (exemplo na Figura 2.2). Nesta matriz, cada função do produto é colocada em uma linha da primeira coluna, e os princípios de solução são registrados ao longo das colunas, na linha correspondente à função, sendo que cada coluna correspondente a um princípio diferente. Então, para a formação das concepções, combina-se um princípio de solução de uma linha com os das demais, atentando para que as alternativas sejam construtivamente viáveis. Após a combinação, usa-se algum critério de seleção para definir qual a melhor, ou melhores, concepções. Esses critérios podem ser baseados na viabilidade econômica ou na função utilidade, caso existam informações suficientes disponíveis, ou por critérios generalizados, utilizando métodos como Passa não passa, Atendimento de Limites ou Método de Pugh, sendo este último o mais recomendável (BACK et al., 2008).

Figura 2.2 - Matriz Morfológica, em que F são as funções e E os princípios de solução.

		Soluções						
		1	2	...	j	...	m	
Funções	1	$F_1$	$E_{11}$	$E_{12}$		$E_{1j}$		$E_{1m}$
	2	$F_2$	$E_{21}$	$E_{22}$		$E_{2j}$		$E_{2m}$
	:		$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
	j	$F_i$	$E_{i1}$	$E_{i2}$		$E_{ij}$		$E_{im}$
	:		$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
	n	$F_n$	$E_{n1}$	$E_{n2}$		$E_{nj}$		$E_{nm}$
			$\downarrow$	$\downarrow$		$\downarrow$		$\downarrow$

2      1      Combinação de soluções globais

Fonte: Pahl et al (2005).

Ulrich e Eppinger (2012) consideram um bom resultado para esta fase quando se tem a certeza de que um grande espaço de alternativas de soluções foi explorado. Esta busca por alternativas, principalmente se realizada nas fases iniciais do projeto, evita que um bom conceito surja durante as fases seguintes, ou que um concorrente consiga um produto com performance muito melhor do que o que está sendo desenvolvido.

A dificuldade existente em explorar diversas alternativas de solução está na dependência da criatividade da equipe de projeto, pois não existe um conceito único sobre o que é criatividade, o que impede uma definição correta sobre melhor forma de estimulá-la nos projetistas. Oman et al. (2013) trata algo criativo como novo ou original, sendo a criatividade o processo de avaliar um problema de forma diferente, para que assim sejam geradas soluções inovadoras. Cromptley (2016) define criatividade na engenharia como uma interação entre as pessoas, o objetivo do trabalho, os métodos aplicados e o ambiente, buscando um resultado novo e útil, dentro de determinado contexto. Essa interação, se não for bem gerida, dificulta o processo criativo, gerando barreiras à criatividade que prejudicarão os resultados.

Back et al. (2008) apresenta diversas barreiras à criatividade, destacando-se as seguintes: definição incorreta do problema, hábitos, fixação funcional, superespecialização, dependência excessiva dos outros, medo da crítica e julgamento prematuro. Percebe-se que algumas destas barreiras são inerentes ao ser humano e, portanto, dificilmente serão eliminadas do processo criativo. Devido a esta dificuldade, o

modelo PRODIP pauta as atividades criativas do Projeto Conceitual em métodos de criatividade, que se propõem a superar as barreiras citadas.

### 2.3 MÉTODOS DE CRIATIVIDADE

Inovação consiste em introduzir uma ideia nova no mercado e fazer com que ela seja aceita e percebida pelo mesmo. Do contrário, a novidade fica caracterizada apenas como uma invenção, pois inovar depende do mercado. Existem dois tipos principais de inovação, a inovação radical, que traz uma revolução tecnológica, forçando a extinção da tecnologia que existia antes (ex. discos de LP e CDs), sendo caracterizada por altos índices de pesquisa, investimento e incertezas. O segundo tipo é a inovação incremental, mais comum nas empresas e com menos riscos, por serem mais seguras, baratas e com retorno financeiro mais rápido, já que atuam no melhoramento ou evolução dos produtos existentes (CORAL; OGLIARI; ABREU, 2008).

Percebe-se que os dois tipos de inovação são dependentes de novas ideias, portanto, da criatividade dos projetistas. Porém, não é mais possível esperar que as ideias surjam espontaneamente, o que cria a necessidade de ferramentas que potencializem o processo criativo e unam bons resultados à rapidez no desenvolvimento. Essas ferramentas são os chamados métodos de criatividade.

Abdala (2013) apresenta a capacidade destes métodos auxiliar a transposição das barreiras à criatividade, já citadas na seção anterior, e a geração de ideais, tornando o processo criativo mais eficaz, gerenciável e sistêmico. Back et al. (2008) divide os métodos de criatividade em duas categorias, os intuitivos e os sistemáticos.

- Intuitivos: partem do conceito que uma nova ideia aparece no pensamento de forma repentina, sem origem e formação bem entendida. Então, estes métodos buscam impulsionar essa intuição e estimular a associação de ideias. Esta categoria costuma ser bem aplicada a qualquer área de conhecimento, não se restringindo a problemas de projetos (PAHL et al., 2005).

- Sistemáticos: São métodos que seguem uma sequência lógica de atividades que resultam em soluções alternativas para determinado problema (BACK et al., 2008).

O Apêndice A lista os métodos de criatividade mais citados na literatura.

Fernandes (2016) identifica que a maioria dos métodos de criatividade se baseiam na realização de analogias, por exemplo: os que estimulam o compartilhamento de informações para encontrar novas

soluções (*Brainstorming* e *Brainwriting*); os que buscam identificar soluções por comparação e similaridade com a descrição do problema; além do método *Syntetics*, que relaciona quatro tipos de analogias diferentes, i) analogia pessoal, ii) analogia direta, iii) analogia simbólica e iv) fantasia.

Dentre todos os métodos, o mais difundido é o *brainstorming*. O método apresenta grande aceitação pois é capaz de ser aplicado em qualquer área do conhecimento, além de permitir e incentivar a geração de ideias para qualquer tipo de problema (MEINEL; VOIGT, 2017). O método requer que pessoas de diversas áreas de conhecimento participem, permitindo que ideias variadas sejam apresentadas. Também é preciso considerar que ele não é recomendado para resolver problemas muito especializados, mas sim àqueles com um caráter mais geral, como novos princípios de solução (BACK et al., 2008).

Em determinado momento do *brainstorming* a quantidade de ideias pode diminuir, sendo necessária a introdução de um procedimento que desencadeie um novo fluxo (PAHL et al., 2005). Este procedimento pode se valer de estimuladores à criatividade para alcançar o resultado, conceito também diretamente relacionado às analogias.

Fernandes (2016) define os estimuladores como informações úteis ao projeto, que buscam reduzir o esforço cognitivo para assimilá-las e assim favorecer o processo criativo. O autor apresenta a proposta de utilizar estimuladores biológicos como auxílio no desenvolvimento de novos produtos, disponibilizando as informações na forma de cartões. Os cartões são considerados estímulos visuais, que favorecem a identificação de atributos físicos e morfológicos de sistemas da natureza, facilitando a identificação de similaridades entre as informações biológicas e o problema em estudo. Abdala (2013) e Abdala et al. (2017) propõem a utilização das Tendências de Evolução (TEs) como forma de estímulo à criatividade, para prospectar o futuro em mapas tecnológicos e assim auxiliar o planejamento de produtos. As TEs são mostradas em uma apresentação oral pelo facilitador da aplicação do método.

Pahl et al. (2005) e Ulrich e Eppinger (2012) tratam analogias, dentro do pensamento criativo como um forma de encontrar soluções, estudar o comportamento e verificar características de sistemas. Essas abordagens incluem as analogias nas fases criativas do PDP, em especial o Projeto Conceitual, quando se exploram soluções técnicas para os problemas de projeto.

## 2.4 ANALOGIAS

O entendimento do ser humano sobre alguma coisa, é em grande parte, baseado em outras coisas. A forma de aprender é fazendo conexões com o que já se sabe e a forma de explicar é usando conexões entre ideias. Isto define o raciocínio analógico, que é baseado no pensamento divergente, que também envolve a criatividade (CHOU; SHU, 2015). Este raciocínio parte da identificação de semelhança entre o objeto de interesse (ex. problema de projeto) e um ou mais casos (fontes de analogia), criando assim as analogias. É uma forma de raciocínio encontrada sempre que a decisão de uma situação é baseada em sua similaridade com outra, o que é muito comum em decisões jurídicas, avaliações éticas, descobertas científicas, etc. (HITCHCOCK, 2017).

Analogias são usadas como ferramenta para mitigar a fixação funcional nos projetistas, facilitando a geração de conceitos inovadores (LINSEY et al., 2010). São muitos os exemplos encontrados no dia-a-dia de soluções inovadoras originadas em uma analogia, por exemplo, o velcro, idealizado a partir da semente do carrapicho, os aviões, que possuem princípios dos pássaros, robôs manipuladores, que se inspiram nos membros do corpo humano, dentre outros (BACK et al., 2008).

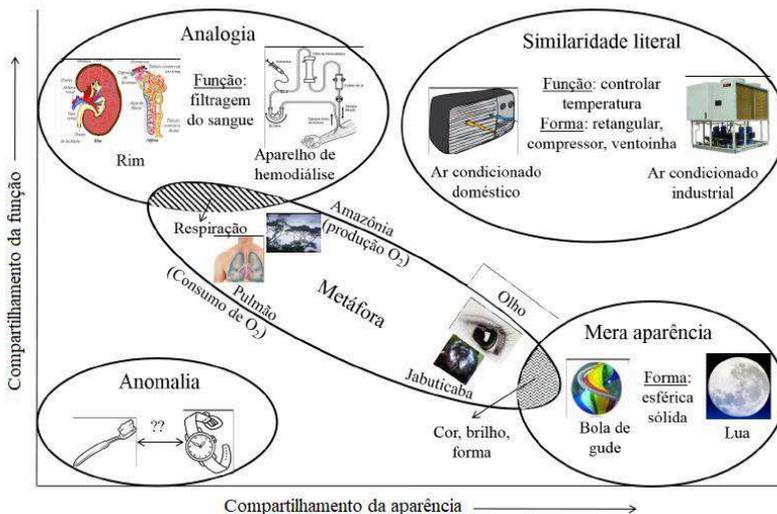
Gentner e Markman (1997) explicam o raciocínio analógico pela teoria *Structure Mapping* (GENTNER, 1983). Ela explica a realização de uma analogia pelo alinhamento estrutural, que é o compartilhamento de características ou funções semelhantes. Esse alinhamento segue três princípios: i) Deve ser estruturalmente consistente, significa que o compartilhamento de características entre a fonte de analogia e o objeto de interesse deve ser de um para um; ii) O foco deve ser relacional, significa que elementos similares entre fonte de analogia e objeto de interesse não precisam ter mesma aparência, mas sim funcionalidade/estrutura; e iii) Sistematicidade, refere-se ao fato de que os elementos que possuírem mais relações com outros elementos, dentro de um mesmo sistema, serão aqueles mais facilmente compartilhados em um raciocínio analógico.

A teoria *Structure Mapping* é exemplificada pela analogia feita por Rutherford, entre o sistema solar e um átomo. O sistema solar possui elementos como o sol e a terra, e estes elementos possuem relações como: a) Distância, b) Força de Atração, c) A terra gira em torno do sol, d) O sol tem mais massa do que a terra, e) O sol é mais quente do que a terra, etc. As relações a) – d) são igualmente compartilhadas com o átomo, em seus elementos análogos núcleo e elétrons, atendendo ao primeiro princípio. O segundo princípio é seguido pois, mesmo que essas relações tenham

magnitudes diferentes nos dois sistemas, o conceito da analogia não é afetado. O terceiro princípio explica o não compartilhamento da relação e) na analogia entre átomo e sistema solar, pois o sol ser mais quente do que a terra não possui relações com o conjunto a) – d), enquanto que qualquer alteração em uma relação deste conjunto irá influenciar diretamente nas outras. Portanto, como cada elemento do conjunto possui várias relações com os outros, o conjunto a) – d) será escolhido para o compartilhamento das informações (GENTNER, 1983).

Gentner e Markman (1997) definem um espaço com diferentes níveis de compartilhamento de atributos, caracterizando alguns conceitos de similaridades. A Figura 2.3 apresenta estas definições. Destacam-se as metáforas, que podem variar de uma analogia, quando existe a máxima semelhança estrutural, a até Mera aparência, quando existe máxima semelhança da aparência.

Figura 2.3 - Espaço de compartilhamento de função e aparência.



Fonte: Adaptado de Fernandes (2016)

Outra teoria para o raciocínio analógico é apresentada por Holyoak e Thagard (1989), denominada *Analogical Mapping*, que também apresenta três princípios básicos. São eles: i) Isomorfismo, que se baseia na consistência estrutural, em que uma característica compartilhada no objeto de interesse deve corresponder a uma característica da fonte de analogia, respeitando o critério de um para um. ii) Similaridade

semântica, refere-se ao fato de que a correspondência entre dois elementos será mais fácil se os dois forem semanticamente semelhantes.

iii) Centralidade pragmática, que define que correspondências são favorecidas se for entendido que determinada analogia é válida ao objeto de interesse, ou pelo julgamento de que um elemento é importante para resolver o problema.

As duas teorias apresentadas se baseiam no princípio da semelhança estrutural. A principal diferença entre elas está na rigidez do processo. Enquanto os princípios de Gentner e Markman (1997) forçam um mapeamento um para um, de modo a manter a consistência estrutural, os de Holyoak e Thagard (1989), apesar de seguirem a mesma correspondência, permitem algumas violações, através dois princípios ii) e iii). Isso acontece pois eles realizam mapeamentos potenciais à solução, desprezados pela outra teoria. Esses princípios permitem que a analogia seja “escolhida” pela pessoa que a faz, independente se o resultado final não apresentar uma relação completamente estrutural (classificação de “Analogias” da Figura 2.3). Assim, as possibilidades de correspondência são maiores, fazendo com que existam mais chances de que bons resultados, desprezados pela teoria *Structure Mapping*, sejam aproveitados. (HOLIOAK E THAGARD, 1989).

Estas duas teorias explicam uma analogia pela correspondência entre as relações dos elementos, atribuindo importância às similaridades superficiais (ex. aparência) apenas para seleção da fonte de analogia (SONG et al., 2018). Em contrapartida, Ross (1987) trata da teoria exemplo-analogia, aplicada principalmente para analogias dentro de um domínio de conhecimento semelhante. O autor defende que a forma de correspondência entre a fonte de analogia e o objeto de interesse depende de todos os detalhes da fonte (aparência, elementos, funções, etc.), e que eles irão guiar o raciocínio do projetista durante a atividade.

Back et al. (2008) apresentam três diferentes tipos de analogias que podem ser empregadas quando se busca uma solução. A analogia direta, em que se transferem conceitos da fonte diretamente para o objeto de interesse; a analogia simbólica, em que o problema a ser resolvido é representado por novas palavras sinônimas, expandindo a avaliação do problema e a busca por soluções; a analogia pessoal, que consiste em colocar-se no lugar do problema para avaliar como seria o comportamento.

A gama de tipos e aplicações das analogias as torna parte do dia-a-dia do ser humano, tornando este processo cognitivo quase espontâneo. Este fato é percebido por Linsey, Laux e Clauss (2007), que evidenciam que projetistas utilizam analogias para solucionar problemas

de projeto de forma, algumas vezes, inconsciente. Portanto, mesmo quando não percebido, o uso de analogias terá grande impacto no processo de projeto, sendo uma ferramenta de grande influência nos resultados.

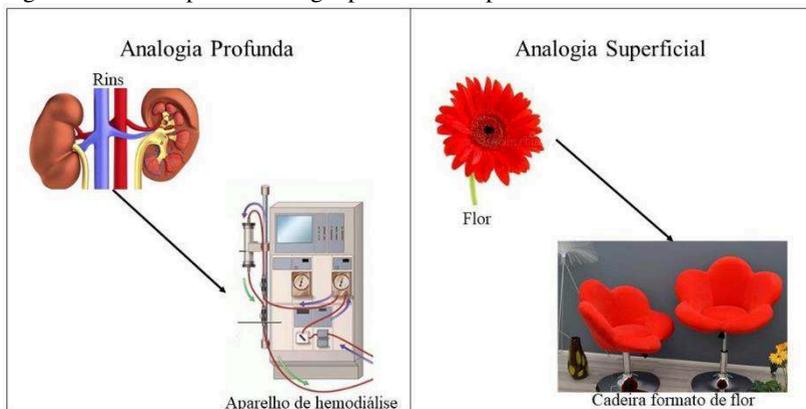
## 2.5 ANALOGIAS NO PROJETO DE PRODUTOS

Projetar com base em analogias consiste em buscar soluções para um problema a partir das existentes em outros sistemas. Este resultado pode ser alcançado pelo compartilhamento de características, atributos, propriedades, funções do sistema análogo com o problema de projeto (MORENO et al., 2015). Moreno et al. (2016) afirmam que utilizar analogias durante a fase de ideação é uma forma eficaz de transpor a fixação funcional, aumentando a quantidade de ideias geradas, pois, de acordo com Rule e Olsen (2016), ao se relacionar a fonte de analogia e o problema de projeto, o pensamento do projetista se torna mais amplo, aumentando as possibilidades de solução.

Esta forma de buscar soluções é uma abordagem extrínseca de projeto, pois utiliza estímulos externos ao projetista para chegar em uma solução, apresentando bons resultados com relação à novidade e qualidade das ideias (MORENO et al., 2015). Christensen e Schunn (2007) classificam em três os tipos de analogia em projeto, aquelas para explicar um conceito, as que buscam resolver, ou identificar um problema.

Nas atividades de projeto, a similaridade estrutural/funcional entre fonte de analogia e problema de projeto é chamada “profunda” e a similaridade de aparência é “superficial”. Ou seja, se uma solução é a baseada apenas na aparência da fonte de analogia, considera-se que ocorreu uma analogia superficial, quando a similaridade for entre funções, considera-se uma analogia profunda (CHAI et al., 2015). Considera-se um bom resultado em uma analogia quando a solução é gerada por meio de uma analogia profunda, pois o princípio das atividades de projeto visa encontrar melhores soluções para as funções do produto (LOPEZ; LINSEY; SMITH, 2011). A Figura 2.4 ilustra essa diferença.

Figura 2.4 - Exemplo de analogia profunda e superficial.



As pesquisas relacionadas ao projeto com base em analogias costumam trabalhar com três variáveis de interesse: a distância entre os domínios da fonte de analogia, do problema de projeto e do conhecimento do projetista; o nível de experiência dos projetistas; e a forma de apresentação das fontes de analogia.

### 2.5.1 Distância entre domínios

Chai et al. (2015) trabalham a distância entre fonte de analogia e problema de projeto com duas classificações: “Dentro do domínio”, quando existe grande similaridade superficial entre os sistemas e “Entre domínios”, quando a similaridade tende a ser mais profunda. Já Keshwani e Chakrabarti (2017) definem três níveis de distanciamento, sendo eles: 1) “Domínio biológico” para as fontes de analogia originadas em organismos, em que o fenômeno de interesse para o raciocínio analógico ocorre em seu interior, ou durante uma interação com o ambiente. Esse caso representa a maior distância possível para a fontes de analogia, com relação ao domínio da engenharia. 2) “Entre-domínio” que é usado para fenômenos que ocorrem dentro de sistemas técnicos, ou durante sua interação com o ambiente, pertencentes a um domínio de conhecimento diferente do problema de projeto (ex. fonte de analogia é um sistema técnico de refrigeração e o problema de projeto é de um sistema técnico de amortecimento). 3) “Mesmo-domínio” que representa os fenômenos que ocorrem dentro de um sistema técnico, ou durante sua interação com o ambiente, pertencente a um domínio de conhecimento que é similar ao

do problema de projeto. Este caso representa a distância mais próxima para uma analogia.

Fu et al. (2013) e Srinivasan et al. (2018) propõe uma medida para a distância entre a fonte e o problema de projeto com base em patentes, desenvolvendo uma relação quantitativa. Fu et al. (2013) baseia seu método na semelhança estrutural entre os sistemas propostos pelas patentes com o problema de projeto, enquanto Srinivasan et al. (2018) avalia a tecnologia empregada em cada patente e compara com o problema de projeto. Apesar de mostrarem bons resultados, os métodos se restringem a patentes, o que limita o universo de fontes de analogias.

Christensen e Schunn (2007) afirmam que é mais difícil transferir informações ao projetista quando o domínio de conhecimento da fonte de analogia é distante ao do problema de projeto. Apesar disso, esta situação é a que apresenta maiores níveis de originalidade das soluções desenvolvidas, sendo um contexto muito favorável para inovação. Fontes próximas ao domínio do problema de projeto limitam a criatividade, pois os projetistas tendem a pensar em menos opções de solução. Chan et al. (2011) e Srinivasan et al. (2018) também concordam que soluções inovadoras advêm de fontes distantes.

Entretanto, fontes extremamente distantes não são garantia de resultados mais criativos, pois podem não ser percebidas pelos projetistas como válidas para auxiliar na solução do problema. Esta afirmação mostra a necessidade de se desenvolver um parâmetro mais concreto para medir a distância entre fonte de analogia e problema de projeto, de maneira que seja possível de definir, de maneira precisa, o quão afastado podem ser esses domínios de conhecimento, para não inviabilizar a utilização da fonte (FU et al., 2013; VASCONCELOS; CRILLY, 2016).

Sob outra perspectiva, Jia et al. (2018) apresentam que fontes de analogia próximas são mais efetivas em estimular a criação de ideias com alto grau de inovação, maior variedade entre elas e com mais qualidade (relacionada a viabilidade de aplicação da ideia gerada). Os autores também mostram que variedade e qualidade possuem uma relação inversamente proporcional à distância do domínio de conhecimento da fonte de analogia para o problema de projeto. Este resultado pode ser explicado pela necessidade de o projetista entender, guardar e transferir uma grande quantidade de novas informações apresentadas pela fonte mais distante, sobrecarregando o processo cognitivo e dificultado uma melhor aplicação. Além disso, é possível que as fontes consideradas distantes no experimento realizado pelos autores tenham gerado nos projetistas a percepção de que elas não são válidas para a solução do problema, impedindo melhores resultados.

Keshwani e Chakrabarti (2015) concordam com a dificuldade em entender as informações quando o domínio da fonte de analogia é distante, mas encorajam a sua utilização pelo grande potencial em estimular a geração de ideias novas.

Em geral, os projetistas percebem as fontes de analogias pertencentes a domínios distantes como menos efetivas e menos práticas no resultado final. Apesar disso, quando elas estão disponíveis, a quantidade de ideias aumenta, em comparação com fontes de domínios próximos (LOPEZ; LINSEY; SMITH, 2011).

Já Toh e Miller (2013) identificam que projetistas avaliam positivamente fontes distantes de analogia como uma ferramenta de auxílio na busca por soluções, ainda que, no experimento dos autores, os resultados a partir delas não tenham sido satisfatórios.

Independente da distância da fonte de analogia para o problema de projeto, ela será melhor aproveitada se for corretamente compreendida pelo projetista. Assim, não deve se pensar em analogias apenas de fácil apresentação, ou que sejam comuns aos projetistas, mas que tenham a capacidade de serem entendidas por completo, transmitindo todos os seus conceitos à equipe de projeto (CHOU; SHU, 2015; RULE; OLSEN, 2016).

### **2.5.2 Experiência dos Projetistas**

O nível de experiência dos projetistas influencia em alguns fatores no aproveitamento de fontes de analogia, que, de maneira geral, dificultam o raciocínio analógico por parte dos inexperientes.

A escolha por utilizar determinada fonte de analogia para auxiliar na busca por soluções depende do objetivo traçado para a atividade e é igual tanto para projetistas experientes como inexperientes. Quando se buscam soluções mais simples, como para uma inovação incremental, fontes pertencentes a domínios próximos do problema de projeto são preferíveis. Quando o objetivo é encontrar soluções novas, as fontes de analogias mais distantes serão escolhidas (CHAI et al., 2015; OZKAN; DOGAN, 2013; CHRISTENSEN; SCHUNN, 2007).

A diferença entre os projetistas experientes e inexperientes está na maneira como eles utilizam as fontes de analogia. Os inexperientes, normalmente, têm o objetivo de apresentar soluções originais, mas realizam analogias superficiais entre a fonte e o problema. Ao contrário, projetistas experientes focam na relação estrutural entre fonte e problema, resultando em soluções mais consistentes (CHAI et al., 2015; OZKAN; DOGAN, 2013).

Essa diferença pode ser explicada pela dificuldade dos projetistas inexperientes em realizar analogias profundas, que é potencializada se a fonte for distante do domínio de conhecimento deles. O processo para realizar este tipo de analogia é auxiliado pela quantidade de conhecimento e experiência de cada um. Quanto se tratam de projetistas inexperientes, o conhecimento limitado sobre a fonte de analogia e atividades de projeto dificultam a abstração e utilização das informações dentro das soluções. Em contrapartida, projetistas experientes possuem maior capacidade de identificar o que é relevante ou não dentro de uma fonte de analogia, permitindo que eles foquem a atenção nas informações importantes, facilitando a sua abstração e emprego nas ideias (CHAI et al., 2015; CHOU; SHU, 2015; JIA et al., 2018; KESHWANI; CHAKRABARTI, 2015; OZKAN; DOGAN, 2013; SIO; KOTOVSKY; CAGAN, 2015).

Além disso, projetistas inexperientes não são propensos a utilizar o raciocínio analógico para solucionar problemas, tampouco são facilmente influenciados por fontes potenciais de analogia durante as atividades (VISWANATHAN; LINSEY, 2012b). Casakin (2010) também percebe este fenômeno, demonstrando que projetistas inexperientes só utilizam analogias para resolver os problemas se são orientados a isso. Do contrário, mesmo com as fontes disponíveis, eles não conseguem perceber uma relação entre elas e o problema de projeto. Já os projetistas experientes percebem a validade em buscar soluções por meio de analogias, e utilizam este raciocínio mesmo sem serem orientados sobre esta necessidade.

Portanto, fica claro que existe um hiato entre os projetistas experientes e inexperientes com relação ao aproveitamento de uma fonte de analogia, existindo um prejuízo aos inexperientes nesse tipo de raciocínio. Por isso, Chou e Shu (2015) apontam à necessidade de capacitar os projetistas a serem capazes de identificar quais pontos de uma fonte são relevantes ou não, evitando fixação em conceitos que não irão auxiliar na geração de melhores soluções.

### **2.5.3 Forma de apresentação da fonte de analogia**

O tipo de fonte de analogia que é apresentada ao projetista tem tanta influência nos resultados quanto a distância ao domínio de conhecimento do problema do projeto. A distância entre domínios influencia na forma como as soluções serão exploradas pelo projetista, com relação a novidade das ideias, enquanto que a forma de apresentação da fonte influencia no espaço de busca por soluções, que está relacionado à quantidade de opções que o projetista considera durante a geração de

ideias (CHAN et al., 2011). Este espaço é melhor explorado quando a fonte de analogia é incomum ao projetista, ou seja, o quanto ele conhece sobre o sistema análogo (AGOGUÉ et al., 2013; CHAN et al., 2011). Aliando fontes que pertençam à domínios distantes de conhecimento e que, dentro deste domínio, sejam incomuns aos projetistas, a busca por soluções criativas é potencializada.

A literatura também estuda a influência da maneira pela qual a fonte de analogia é apresentada aos projetistas, em que se pode destacar **textos** (CHAN et al., 2011; FERNANDES, 2018; FU et al., 2013; KESHWANI; CHAKRABARTI, 2017; VISWANATHAN; LINSEY, 2012c), **imagens** (CHAI et al., 2015; CHAN et al., 2011; FERNANDES, 2018; FU et al., 2013; VISWANATHAN; LINSEY, 2012c), **oral** (AGOGUÉ et al., 2013; SONG et al., 2018) e **objetos** (SONG et al., 2018; VISWANATHAN; LINSEY, 2012c). Vasconcelos e Crilly (2016) acreditam que uma apresentação de estímulos aproveitando várias destas formas é a melhor maneira de potencializar o processo de ideação.

O número de fontes de analogias disponibilizadas aos projetistas também influencia nas soluções. Por exemplo, é mais fácil entender a funcionalidade de fontes semelhantes se várias são disponibilizadas aos projetistas (SONG et al., 2018). Porém, a quantidade correta a ser disponibilizada ainda não possui definição (VASCONCELOS; CRILLY, 2016). O que se sabe é que existe um ponto de saturação, no qual o número de ideias geradas não aumenta, mesmo que se aumentem as fontes disponíveis. Além disso, quando o projetista pode trabalhar com diversas fontes, algumas possuem uma preferência maior de utilização para auxiliar a geração de ideias (SONG et al., 2018).

Outro fator relacionado à apresentação das fontes de analogia é o nível de detalhamento das informações. Ele deve estar relacionado, de maneira proporcional, com a familiaridade do projetista com o sistema análogo. Por exemplo, fontes pertencentes ao domínio biológico devem ser apresentadas com menor nível de detalhamento, pois é possível que os projetistas possuam pouca familiaridade com este tipo de sistema. A justificativa é que informações mais específicas não seriam compreendidas, pois a falta de conhecimento sobre biologia impede a interpretação de imagens específicas ou termos técnicos, impedindo a abstração destes conceitos (KESHWANI; CHAKRABARTI, 2015, 2017).

Linsey, Wood e Markman (2008) afirmam que para reter a fonte de analogia na memória de maneira mais fácil, o melhor é utilizar uma linguagem mais geral na sua apresentação. Isso também facilita no momento de recuperar as informações na memória, durante a resolução

de outro problema, pois o caráter geral facilita o seu emprego em diferentes contextos, aumentando as possibilidades de uma solução inovadora em outro projeto.

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi apresentada a metodologia de desenvolvimento de produtos PRODIP, explicando cada fase, desde o planejamento do produto até o lançamento. Foi dado foco na fase de Projeto Conceitual, para contextualizar as características e necessidades da fase, servindo como suporte para as decisões relacionadas ao estimulador que é proposto nesta dissertação.

O Projeto Conceitual é uma fase altamente criativa, que tem como objetivo principal definir uma concepção viável para ser desenvolvida na sequência do projeto. Essa concepção é resultado da combinação de soluções geradas em uma sessão de ideação.

Como forma de potencializar a criatividade, e assim facilitar a geração das soluções, as atividades do modelo PRODIP empregam métodos de criatividade durante a sua execução. Em comum, alguns métodos são baseados em analogias, estimulando a busca por soluções a partir da similaridade entre sistemas diferentes. A revisão da literatura evidencia que melhores soluções advêm de analogias profundas, e que elas são mais criativas quando o raciocínio analógico é feito a partir de uma fonte de analogia distante do domínio de conhecimento do problema de projeto.

Entretanto, este tipo de raciocínio é complexo de ser realizado, pela necessidade de abstrair as informações da fonte e transferi-las para um contexto diferente. Essa dificuldade é maior quando se tratam de projetistas inexperientes, pois a falta de conhecimento sobre as atividades de projeto e os sistemas análogos impede um melhor aproveitamento do raciocínio analógico. Além disso, quando as fontes pertencem a domínios distantes, o entendimento dos seus conceitos é mais complicado, fazendo com que as analogias baseadas nelas não sejam profundas.

Tentando potencializar o raciocínio analógico, existem diversos estudos que apresentam as fontes de analogia em diferentes formatos, como textos, imagens, de forma oral, ou por objetos, avaliando quais os efeitos gerados no aproveitamento das informações. Porém, nenhum desses tem o objetivo de facilitar entendimento das informações do sistema análogo.

Portanto, pela importância do raciocínio analógico no Projeto Conceitual, faz-se necessária uma ferramenta que facilite este processo,

permitindo um maior entendimento das informações da fonte de analogia, potencializando os resultados por meio da realização de analogias na busca por soluções. Por isso, a presente dissertação propõe-se a contribuir com o desenvolvimento desta fase, agregando a utilização de modelos físicos como um método para estimular a criatividade, em função das características que serão tratadas no capítulo a seguir



### 3 MODELOS FÍSICOS NO PROJETO DE PRODUTOS

Modelos são representações de algo que se quer avaliar, como, por exemplo, as características de um produto. Esta representação pode ter vários níveis de detalhamento e formas, como pictorial, física, computacional, matemática, etc., necessitando garantir que ela seja capaz de prover as informações necessárias para o uso requerido (ISA; LIEM, 2014; ULRICH; EPPINGER, 2012; LANDE; LEIFER, 2009; BUCHENAU; SURI, 2000).

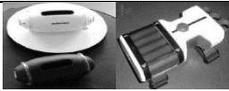
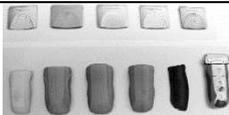
Segundo Lande e Leifer (2009) existem dois tipos de modelos utilizados durante um projeto, que são: modelos para projeto (*Design models*) e modelos para engenharia (*Engineering models*). O primeiro se preocupa com a funcionalidade de um sistema, preservando a ambiguidade para explorar soluções de maneira superficial, utilizado nas fases conceituais do projeto. O segundo trata dos princípios físicos do sistema, buscando reduzir as incertezas de uma solução, utilizado nas fases de detalhamento do projeto.

Ulrich e Eppinger (2012) classificam os modelos em duas dimensões. A primeira, os divide em físico ou analítico. Modelos físicos são criados para se aproximar do funcionamento do produto, em que características são construídas para teste e experimentação. Modelos analíticos são representações não tangíveis do produto, como visuais ou matemáticas, desenvolvidos para analisar alguma característica, sem a necessidade de uma construção. Modelos analíticos são mais flexíveis do que físicos, sendo aconselhável utilizá-los quando variações de parâmetros forem necessárias.

A segunda dimensão divide os modelos em completos ou focados. Modelos completos implementam a maior parte, se não todos, atributos do produto, aplicados para testar as situações reais de uso. Ao contrário, modelos focados implementam um, ou poucos, destes atributos (ULRICH; EPPINGER, 2012).

Isa e Liem (2014) tratam modelos como uma expressão multidimensional do projetista, que têm a capacidade de transmitir a ideia para os interessados no projeto, tornando mais fácil o entendimento das soluções. Os autores propõem uma classificação de modelos com base no exposto no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Classificação de modelos.

Modelo <i>Soft</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo rústico;</li> <li>- Usado para avaliar o tamanho, forma e proporções da concepção;</li> <li>- Refinado e remodelado manualmente.</li> </ul>	
Modelo <i>Hard</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réplicas próximas, mas sem o funcionamento técnico;</li> <li>- Com texturas e cores;</li> <li>- Já possui algumas funções de trabalho.</li> </ul>	
Modelo de apresentação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construído em CAD ou desenhos;</li> <li>- Também pode ser completo e bem detalhado;</li> <li>- Alguns componentes podem ser negligenciados devido ao custo de implementação.</li> </ul>	
Protótipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de alta qualidade com as funcionalidades do produto;</li> <li>- Será testado e avaliado para conclusões antes da produção.</li> </ul>	

Fonte: Adaptado de Isa e Liem (2014)

Back et al. (2008, p. 435) apresentam que modelagem é a “maneira típica do ser humano lidar com a realidade”, tratando modelos como uma simplificação de algo que é real. Os autores apresentam uma classificação de modelos baseada em suas características, destacando-se os seguintes:

- Geométrico: Com geometria similar ao objeto original;
- Funcional: Função ou comportamento de entrada-saída similar ao original;
- Computacional: Quando o modelo é analisado com base em simulação feita em computador;
- Icônico: Modelo com ênfase em características físicas do sistema, podendo ser em 2D ou 3D.

- Analógico: Modelo que se comporta como o sistema original, sem necessitar ter a mesma aparência;

Back et al. (2008) também apresentam algumas habilidades pessoais necessárias para quem trabalha com modelos, como: solução criativa de problemas, experiência prática, reconhecer e adaptar novas tecnologias, boa comunicação verbal e interação com grupos.

Os modelos são úteis para os seguintes propósitos:

- Exploração (BACK et al., 2008; CAMBURN et al., 2017);
- Realizar previsões (BACK et al., 2008);
- Tomada de decisão (BACK et al., 2008);
- Comunicação (BACK et al., 2008; BAXTER, 2000; CAMBURN et al., 2017; ULRICH; EPPINGER, 2012);
- Refinamento (CAMBURN et al., 2017);
- Aprendizado (CAMBURN et al., 2017; ULRICH; EPPINGER, 2012);
- Integração (BAXTER, 2000; ULRICH; EPPINGER, 2012);
- Progresso (ULRICH; EPPINGER, 2012);
- Outros (ex. listas de verificação para manutenção em aeronaves, normas técnicas, etc.) (BACK et al., 2008).

O termo refinamento é adotado quando o modelo é desenvolvido e melhorias são implementadas a partir de sua análise. Integração faz referência a quando se quer garantir que componentes e subsistemas trabalhem juntos, da mesma forma que foram projetados. Um modelo com propósito de progresso é desenvolvido para demonstrar que determinada funcionalidade foi alcançada, reforçando o cronograma e permitindo o avanço do trabalho.

São vários os autores que estimulam o desenvolvimento de modelos durante as atividades de projeto, argumentando que eles permitem buscar novas informações, integrando a busca por soluções e o aprendizado (CAMBURN et al., 2017), sem despender grande quantidade de recursos, podendo ser construídos em escala e sem apresentar risco ao sistema original (BACK et al., 2008). Além disso, em atividades de modelagem, os projetistas dividem as tarefas em porções menores, permitindo-os agir com mais frequência sobre elas. Esta forma de trabalho permite a observação de pequenos avanços, visualizando o impacto e atribuindo sucesso às ações. Isso auxilia na gestão de incertezas, inerentes ao projeto de produto (GERBER; CARROLL, 2012).

Porém, é preciso considerar algumas ressalvas com relação ao emprego de modelos no desenvolvimento de produtos. Existem riscos quando as conclusões são baseadas neles, originados pela interpretação

dos resultados e também pela sua manipulação. Devido a isso, é importante compreender sob quais condições os resultados foram obtidos e, a partir disso, admiti-los válidos como uma solução. Se algum destes pontos não for observado da maneira correta, as análises resultarão em conclusões equivocadas (BACK et al., 2008).

Além das características já citadas, é possível tratar a modelagem como um processo capaz de inspirar o projetista com novas ideias, sendo uma boa prática a ser colocada em fases iniciais do projeto (ISA; LIEM, 2014; HESS; SUMMERS, 2013; BUCHENAU; SURI, 2000). A aplicação de modelos em fases iniciais de projeto trata, principalmente, de modelos físicos, devido à escassez de informações que permita o desenvolvimento de outras formas. Nesse sentido, Broek et al. (2000) propõem uma classificação, apresentada no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Classificação de modelos físicos.

Tipo	Função
Visualização	Utilizado em apresentações e avaliações de forma.
Funcionalidade-teste	Utilizados para teste, em que o modelo é útil apenas para avaliação dentro do experimento.
Físicos-teste	Modelos fabricados com mesmo material do produto final
Marketing	Apresentar o valor do produto para os clientes.
Prova de conceito	Modelo muito bem detalhado para avaliar o cumprimento dos requisitos de projeto.
Editáveis	São modelos montáveis e desmontáveis, sendo possível criar versões adaptadas do mesmo modelo.
Comunicação	São usados para comunicação dentro da equipe de projeto ou para os superiores interessado.
Processo	São modelos usados para avaliar o que acontece com determinada configuração.

Fonte: Adaptado de Broek *et al* (2000)

Broek et al. (2000) afirmam que, para a fase de projeto conceitual, os modelos físicos são mais utilizados para representações das ideias, discussão e avaliações. Pela característica abstrata dos conceitos nesta fase, qualquer objeto presente no ambiente é capaz de desempenhar esse papel. Nesse sentido, Brereton e McGarry (2000) estudaram os efeitos que objetos geram ao raciocínio do projetista, sendo eles:

- Ponto de partida: Quando o objeto auxilia na geração de um novo conceito, baseado em algumas das suas características, servindo como uma base de comparação.

- Camaleão: A interpretação do objeto depende do contexto em que ele está sendo usado, pois poderá apresentar diferentes informações ao projetista quando colocado em diferentes situações.

- Pensamento: São objetos próximos, que incentivam novas ideias.

- Gatilhos para memória: Auxilia na recuperação de memórias relacionadas ao objeto.

- Personificação de conceitos abstratos: A utilização do objeto sustenta conceitos físicos fundamentais, demonstra conceitos abstratos e evidencia imprevistos no comportamento do projeto.

- Desafio: Apresenta erros e discrepâncias daquilo que se pensava;

- Argumento: O objeto traz questões e informações a quem trabalha, incitando discussões, questionamentos e ideias.

- Meio para Integração: Usado para integrar componentes dentro de seu contexto de funcionamento, revelando limites do uso, características de operação, formas de conexão, relações causais e quantidades físicas.

- Meio de comunicação: Quando usado para chamar atenção, demonstrar ou persuadir.

A adoção de um objeto, ou modelo físico propriamente dito, permite que uma ideia inicial evolua pela interação gerada com o material. Além disso, utilizar modelos físicos gera estímulos sensoriais diversos e dá suporte ao projeto e à criatividade, principalmente na fase de projeto conceitual (BROEK et al., 2000). Dessa forma, inseri-los dentro da geração de conceitos é uma maneira de estimular a geração de soluções mais inovadoras, pelo estímulo à criatividade dos projetistas.

### 3.1 MODELOS FÍSICOS COMO ESTÍMULO À CRIATIVIDADE

Estimuladores à criatividade são empregados, nos trabalhos de Messerschmidt (2018), Boetler (2017), Fernandes (2016), González (2015) e Abdala (2013), com a apresentação de informações adicionais aos projetistas durante a geração de soluções. Existe a expectativa de que, por meio de um raciocínio analógico, elas sejam utilizadas nas ideias geradas, aumentando a novidade das soluções.

Modelos físicos são vistos como uma forma de estimular a criatividade por diversas razões, sendo uma delas a grande quantidade de estímulos sensoriais que eles proporcionam aos projetistas, enriquecendo o ambiente de projeto com sentidos que normalmente não são utilizados

(GOLDSCHMIDT; SMOLKOV, 2006; BROEK et al., 2000). Além disso, a utilização de modelos gera um aporte ao processo criativo, pois a interação com as partes do modelo físico facilita a evolução de uma solução para outra, aumentando as informações durante o processo (SERRAT, 2017). Também, usar e manipular diferentes objetos facilita a identificação de funções que podem ser aplicadas na solução (HESS; SUMMERS, 2014).

A presente dissertação considerou empregar os modelos físicos como estimuladores à criatividade por duas características discutidas na literatura. A primeira trata da capacidade de mitigar a fixação funcional, fenômeno complexo e que influencia diretamente nos resultados de um processo de ideação. E a segunda que trata os modelos físicos como uma ferramenta que facilita o aprendizado de conceitos, característica importante no raciocínio analógico, que é a base de diversos métodos de criatividade e auxilia na busca por soluções criativas em projetos.

### **3.1.1 Modelos Físicos para Mitigar a Fixação Funcional**

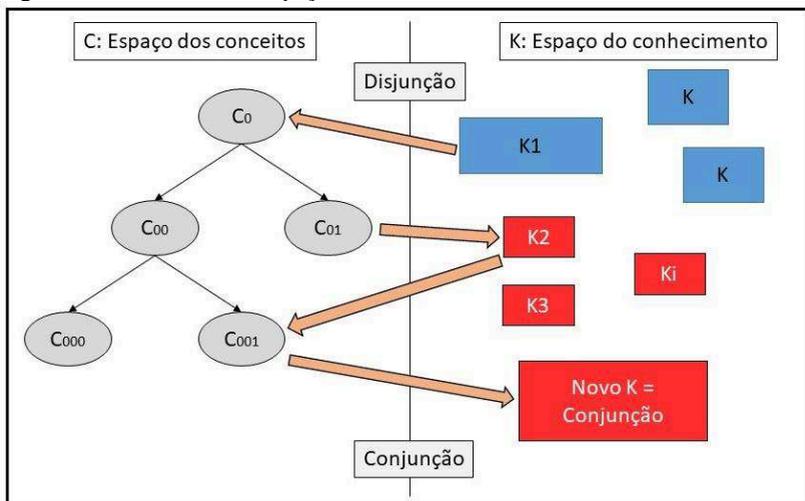
O uso de um estimulador à criatividade visa superar as barreiras do processo criativo, principalmente a fixação funcional nos projetistas, que segundo Viswanathan e Linsey (2012a), é a aderência a um limitado conjunto de ideias no processo de projeto, diminuído a novidade e variedade das soluções. Essa barreira foi estudada primeiramente por Jansson e Smith (1991), que encontraram evidências de que ela surge, sobretudo, durante a geração de conceitos, sendo um fenômeno que acomete tanto projetistas experientes como inexperientes.

A fixação funcional também pode ser explicada pela forma como o ser humano guarda as informações na memória, por meio de redes de conceitos associados. Isso significa que quando um conceito é recobrado na memória, outros conceitos interconectados estão mais propensos a serem recuperados a seguir. Assim, gera-se uma dificuldade a partir do momento que o primeiro conceito não é adequado para o projeto, tornando muito possível que os próximos também não sejam. Em função das poucas informações durante a fase criativa do projeto, as primeiras ideias tendem a ser falhas no cumprimento total dos requisitos do produto, gerando uma cadeia equivocada de pensamentos e fixação funcional (VISWANATHAN et al., 2014).

Esta explicação vai ao encontro da teoria C-K. A teoria sugere que, na solução de um problema, existe a interação entre dois espaços, o dos conceitos (C) e o dos conhecimentos (K). O espaço dos conceitos é formado por um conceito inicial, com origem em determinado

conhecimento do segundo espaço, que é particionado em outros, de maneira gradual e progressiva, gerando um formato de árvore. O espaço K é composto por blocos, que são as informações que cada pessoa possui como verdadeiras. A partir da interação entre os espaços, espera-se que novos conceitos gerem novos conhecimentos e vice-versa, além da possibilidade dos próprios conhecimentos gerarem outros, o que caracteriza um processo de solução criativo. A Figura 3.1 ilustra essa interação, em que disjunção representa a geração de novos conceitos a partir dos conhecimentos existentes no espaço K e conjunção representa a geração de um novo conhecimento a partir dos conceitos gerados no espaço C (AGOGUÉ et al., 2013; HATCHUEL; LE MASSON; WEIL, 2011).

Figura 3.1 - Dinâmica do espaço C-K.



Fonte: Adaptado de Hatchuel, Masson e Weil (2011)

Existe fixação funcional quando a partição de um conceito não é expansiva, ou seja, um conceito gera apenas outro mais específico, limitando as soluções. Além disso, se a geração de conceitos não promove uma expansão dos conhecimentos no espaço K, o caminho seguido para se chegar no conceito final é padrão e comum, não caracterizando um processo criativo.

Hatchuel, Le Masson e Weil (2011) apresentam que os principais pontos discutidos na literatura, quando se estuda formas de mitigar a fixação funcional, são: 1) Mitigar a fixação no desenvolvimento de

alternativas de soluções, 2) Transpor a fixação na aquisição de conhecimento, 3) Mitigar a fixação para ideação em grupo e 4) mitigar a fixação gerada pelo processo adotado para solução do problema. A questão do desenvolvimento de alternativas trata de evitar que os projetistas se fixem em suas ideias iniciais e acabem gerando alternativas parecidas umas com as outras. O segundo ponto trata da dificuldade das pessoas em adquirir conhecimento durante os processos criativos, o que é importante para potencializar a criatividade. Em geral, o projetista não aprende com as tarefas, mas sim emprega o que já sabe nas soluções.

O terceiro ponto trata da interação pessoal durante o trabalho em grupo, um processo que gera barreiras à criatividade por questões estruturais, pessoais e também por não se compreender ao certo qual a melhor forma de compartilhar conhecimento.

A fixação gerada pelo processo alerta sobre o processo de ideação adotado pelos projetistas, dividido em um período de pensamento divergente, em que se origina uma boa ideia, seguido de um pensamento convergente, em que essa ideia é refinada e detalhada. Esta abordagem sequencial limita a criatividade, pois o trabalho nesta fase deve ser de períodos que alternam entre pensamento divergente e convergente, até que se alcance a melhor solução.

Nesse sentido, utilizar modelos físicos é uma forma de mitigar a fixação funcional, pois os projetistas identificam equívocos e assim alteram o rumo do pensamento, buscando novos conceitos para solucionar o problema de projeto. Isto contribui para a geração de soluções conceitualmente corretas, ou seja, com mais capacidade de funcionar de acordo com o que foi pensado pelo projetista (VISWANATHAN et al., 2014; VISWANATHAN; LINSEY, 2012a, 2011; ACUNA; SOSA, 2011; YOUMANS, 2011). Kershaw, Hölta-Otto e Lee (2011) percebem que esta capacidade dos modelos de facilitar a correção de soluções equivocadas auxilia na diminuição da quantidade de informações processadas pelo projetista, liberando-o para explorar novas possibilidades de solução. Isto acontece pois, ao utilizar o modelo e avaliar a validade de uma ideia, é mais fácil rejeitá-la caso não cumpra determinado requisito estabelecido, passando para a consideração de novas possibilidades, ou partindo para a realização de melhoramentos dentro da mesma solução, de maneira que as ideias se mantêm em constante evolução.

Este efeito também é percebido pelos próprios projetistas, pois na visão deles, utilizar modelos físicos durante a geração de ideias é uma forma de receber avaliações sobre a solução proposta, possibilitando que

pontos não satisfatórios às necessidades do projeto sejam rejeitados, e que o trabalho siga explorando novas alternativas (CRILLY, 2015).

Em contraponto, Christensen e Schunn (2007) e Viswanathan e Linsey (2011) apresentam que utilizar modelos físicos durante a ideação não é capaz de mitigar a fixação funcional, ao contrário, o seu efeito é potencializado.

Dos mesmos autores, Viswanathan e Linsey (2012a) não conseguem confirmar que exista qualquer nível de fixação funcional induzida nos projetistas por trabalharem com modelos físicos. Este resultado é explicado pelo “Efeito do menor custo”, que surge em função do esforço que o projetista emprega na construção do modelo, de forma que, para ele, não é vantajoso investir mais recursos para encontrar outra ideia, pois o “menor custo” seria melhorar a ideia existente, fixando-se nela. Por isso, Broek et al. (2000) afirmam que a melhor forma de obter resultados positivos com os modelos físicos parte de uma construção fácil e rápida, gerando o menor esforço possível nos projetistas.

Associando a utilização de modelos físicos com os principais pontos encontrados por Hatchuel, Le Masson e Weil (2011), sobre as estratégias para mitigar a fixação funcional, os conceitos discutidos até aqui vão ao encontro dos itens 1, 3 e 4, que são: 1) Mitigar a fixação no desenvolvimento de alternativas de soluções, 3) Mitigar a fixação para ideação em grupo; 4) Mitigar a fixação gerada pelo processo adotado para solução do problema. Os modelos têm a capacidade de mostrar equívocos das ideias, facilitando a mudança de pensamento e a exploração de novas alternativas, assunto do item 1. O compartilhamento de informações é facilitado pelos modelos, o que estimula a geração e associação de diversas ideias e vai ao encontro do item 3. Trabalhar com modelos físicos tende a gerar uma alternância entre pensamento convergente e divergente, necessidade apontada no item 4. A avaliação de uma ideia utilizando um modelo físico, iniciada em um pensamento convergente, pode demonstrar a necessidade de explorar outras soluções, partindo para um pensamento divergente, que ao encontrar outra boa solução e fazer o seu detalhamento, passa para um pensamento convergente, podendo ser repetido o processo a partir de novos testes e avaliações. Portanto, modelos físicos possuem características capazes de mitigar a fixação funcional nos projetistas, estimulando a criatividade.

O item 2 também é atendido quando se trabalha com modelos físicos, pois a literatura trata da sua capacidade de potencializar o ensino de conceitos a quem os utiliza. Pela relevância desta característica para o raciocínio analógico, a próxima seção trata exclusivamente dos modelos físicos como ferramenta de aprendizado.

### 3.1.2 Modelos Físicos como Ferramenta de Aprendizado

Identifica-se na utilização de modelos físicos uma ferramenta capaz de organizar as atividades de projeto, de maneira a superar a fixação funcional, e também ensinar conceitos (LANDE; LEIFER, 2009). Brereton e McGarry (2000) afirmam que o pensamento de projeto é fortemente dependente de experiências com objetos físicos e materiais. Broek et al. (2000) identificam nos modelos uma importante ferramenta para obter experiências relacionadas a forma de um produto, os seus detalhes, a composição e a funcionalidade. Lemons et al. (2010) percebem a modelagem física como uma forma de conscientizar os projetistas sobre suas estratégias de projeto e solução de problemas.

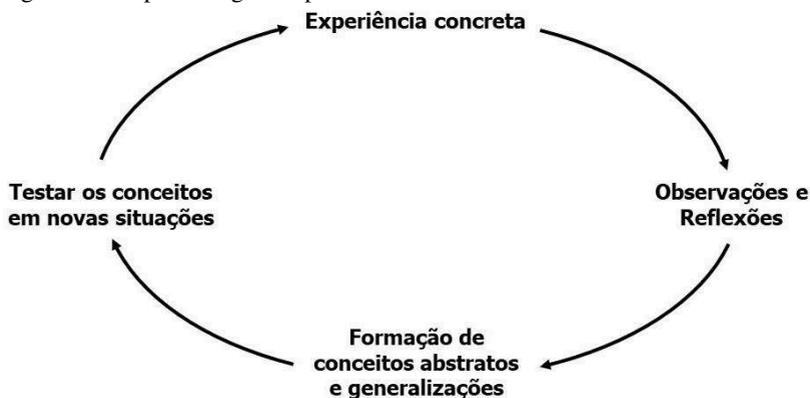
O aprendizado proporcionado pela modelagem não se refere apenas ao sentido educacional da atividade, mas também ao entendimento sobre fenômenos mais complexos, a partir de conhecimentos práticos (CAMBURN et al., 2017).

Kolb e Fry (1975) e Kolb (2014) apresentam um modelo de aprendizado chamado *Experiential Learning*, que pode ser traduzido como aprendizagem experiencial. Esse modelo advém da semelhança entre as teorias de aprendizado propostas por Lewin, Dewey e Piaget. O modelo sustenta que ideias são formadas e reformadas pela experiência do indivíduo, integrando experiências emocionais concretas com processos cognitivos de análise e entendimento. Este modelo aponta a necessidade de quatro habilidades para um aprendizado completo, sendo elas:

- Se permitir uma experiência concreta na atividade realizada;
- Observar e refletir sobre a atividade através de várias perspectivas;
- Formar conceitos abstratos sobre aquilo que se observou;
- Utilizar estes conceitos para tomar decisões e resolver problemas em situações diferentes.

O conceito é resumido na Figura 3.2.

Figura 3.2 - Aprendizagem experiencial.



Fonte: Adaptado de Kolb (1984)

Conhecimento, habilidades e atitudes são alcançadas através do confronto entre as quatro habilidades do aprendizado experiencial, sendo que, dependendo do indivíduo, sua formação e experiências de vida, algumas delas são mais presentes do que outras.

Lemons et al. (2010) aponta que a modelagem está diretamente relacionada ao modelo da Aprendizagem Experiencial. A atividade permite experiência concreta e reflexão dos conceitos através de testes e avaliações. A partir disso, tem-se a oportunidade de formar conceitos abstratos para os quais novas análises podem ser feitas. Na modelagem, os projetistas são encorajados a refletir sobre suas ações, facilitando a previsão de ações similares em situações futuras.

Dentro do contexto desta dissertação, as quatro habilidades podem ser exercitadas pelo uso modelo físico, facilitando o aprendizado dos conceitos que a fonte de analogia transmite. A experiência concreta é obtida pela manipulação do modelo, pois ele tem a capacidade de prender a atenção do projetista e envolvê-lo na tarefa. Os testes realizados com o modelo, além da avaliação das peças e o seu funcionamento, fazem o projetista observar e refletir sobre a atividade. Os conceitos abstratos se formam pelo entendimento estrutural da fonte de analogia representada pelo modelo, o que possibilita empregá-los dentro de um contexto diferente. Por fim, a quarta habilidade está diretamente relacionada ao processo de ideação, em que os conceitos são testados em situações diferentes.

Rule, Baldwin e Schell (2008) e Rule e Furletti (2004) utilizaram objetos físicos como forma de facilitar o ensino de conceitos, através de

analogias. Os experimentos consistiam em descrever, por meio de um cartão, a forma e a função de determinado conteúdo, relacionados à biologia ou partes do corpo humano. Esperava-se que os participantes identificassem similaridades entre conceito do cartão e objetos dentro de uma caixa, a partir de um raciocínio analógico. Após o procedimento, os participantes conferiam no verso do cartão qual objeto era análogo à informação apresentada. Um exemplo é apresentado na Figura 3.3. Neste caso, o correto raciocínio demandaria que o participante associasse a informação da frente do cartão com um cercado infantil, disponível dentro da caixa.

Figura 3.3 - Cartão forma e função para conteúdo biológico.

Frente	Verso
 <p><b>Um ninho tem paredes para segurar e proteger os filhotes de pássaros.</b></p>	<p><b>Cercado Infantil</b></p> <p><b>Um cercado tem paredes para segurar e proteger bebês e crianças. Similarmente, as paredes dos ninhos impedem que os bebês caiam.</b></p>

Fonte: Adaptado de Rule, Baldwin e Schell (2008)

Os autores evidenciaram que quando o ensino dos conceitos era desenvolvido com o auxílio dos objetos, maior era o aprendizado dos participantes. Isso se justifica pela capacidade de os objetos prenderem a atenção das pessoas, devido ao aumento de estímulos sensoriais. Mais atenção influencia na fixação de conceitos, pois a aprendizagem ocorre quando se está envolvido em localizar informações relevantes, organizando-as em representações fundamentadas e consistentes (RULE; BALDWIN; SCHELL, 2008).

O trabalho com objetos também é avaliado como uma atividade divertida e prazerosa, o que potencializa o aprendizado (LEMONS et al., 2010; RAMDUNY-ELLIS et al., 2008; RULE; BALDWIN; SCHELL, 2008). Brereton e McGarry (2000) apontam que objetos físicos são atraentes aos projetistas pois:

- Podem ser vistos e tocados, estimulando dois sentidos, pelo menos;
- Dão presença física a modelos conceituais;
- Seu comportamento revela erros nos modelos conceituais;
- Se comporta de maneira incerta, forçando a pessoa a explorar seu comportamento;

- Se comporta de maneiras diferentes dependendo do ambiente e contexto de uso;
- Interagir com um modelo e seus componentes revela propriedades e limites dos mesmos;
- São fundamentais para comunicação, afetando o andamento da investigação, ideação, descobertas e a dinâmica do grupo. Objetos são usados para atrair atenção, demonstrar e persuadir.

### 3.2 MODELOS FÍSICOS NA REPRESENTAÇÃO DE FONTES DE ANALOGIA

A utilização de modelos físicos durante um processo de ideação se mostra vantajosa para mitigar a fixação funcional, facilitar o compartilhamento de ideias e o aprendizado sobre determinado conceito. Estas características são capazes de potencializar o raciocínio analógico, se fontes de analogia forem representadas por meio de modelos físicos, o que sustenta a proposta desta dissertação.

Porém, é preciso considerar que a apresentação de uma fonte, ainda mais de forma física, pode ser interpretada como um exemplo de solução para o problema, ao invés de uma fonte inspiração. Além disso, existem efeitos relacionados à interação dos projetistas com as peças que compõe o modelo, sua desmontagem e montagem. Por isso, é preciso entender de que forma esses fatores interferem na geração de ideias, para avaliar a melhor forma de expor as fontes de analogia, potencializando a sua aplicação.

A exposição de exemplos na fase de projeto conceitual é incentivada por Sio, Kotovsky e Cagan (2015), pois os autores entendem que ela deve ser feita no início da solução do problema, para terem um impacto positivo nos conceitos gerados. Caso este estímulo venha após algumas etapas de trabalho, a tendência é que sejam desprezados. Isto ocorre em razão da dificuldade que o projetista associaria em mudar o que realizou até o momento. Esta afirmação vai ao encontro da teoria do menor custo, já citada. Os autores também indicam que esses exemplos devem ser incomuns ao projetista, aumentando o espaço de soluções explorado.

Agogué et al. (2013) afirma que a exposição a exemplos pode ser uma alternativa para mitigar a fixação funcional. Porém, deve-se ter atenção com a familiaridade aos projetistas, pois os comuns acabam ativando conceitos mais acessíveis dentro do espaço C-K, aumentando a fixação e reduzindo a quantidade e originalidade das ideias. Quando se apresentam exemplos desconectados das soluções padrões, eles são

capazes de resgatar conceitos diferentes, explorando novos caminhos e conhecimentos, fazendo com que as soluções sejam mais originais, superando os efeitos da fixação funcional, como já foi discutido no capítulo 2.

Quando projetistas são confrontados com exemplos, eles tendem a copiar total ou parcialmente os conceitos expostos, gerando uma variedade menor de ideias. Isso é um fenômeno estável, que ocorrerá de qualquer forma com as pessoas envolvidas no projeto, sendo potencializado em projetistas inexperientes. Portanto, é fundamental que estes exemplos possuam informações corretas, pois do contrário, os erros conceituais serão transferidos para as soluções. Como ponto positivo, a menor variedade das ideias garante que elas possuam um elevado grau de qualidade e novidade, por serem mais exploradas (MORENO et al., 2016; SIO; KOTOVSKY; CAGAN, 2015; VISWANATHAN et al., 2014).

Ao se depararem com um exemplo, os projetistas têm consciência de que se fixam em suas características. Porém, nem sempre avaliam o fenômeno como um problema ao projeto, pois acreditam que o exemplo está influenciando positivamente nos resultados (LINSEY et al., 2010).

Com relação a forma de apresentação do exemplo, não existe diferença se for por meio de desenhos ou objetos, com relação à fixação funcional gerada nos projetistas. Além disso, exemplos físicos geram um número de ideias não redundantes maior e mais completas do que exemplos pictóricos (VISWANATHAN; LINSEY, 2012c).

Em contraponto, Toh e Miller (2014) apresentam que exemplos físicos tendem a fixar mais os projetistas do que se fossem apresentados por imagens. Os autores argumentam que a riqueza de detalhes de um objeto físico limita o espaço de soluções explorados, fazendo com que o exemplo tenha um efeito restritivo à criatividade. Viswanathan, Tomko e Linsey (2016) explicam que quando um exemplo é apresentado de forma física, os projetistas tendem a refletir mais sobre a sua funcionalidade. Nesse caso, a fixação gerada é maior, porém ela irá melhorar as ideias, pois o exemplo físico é capaz de evidenciar as desvantagens da solução e gerar um pensamento crítico nos projetistas.

Como espera-se que as fontes de analogias estimulem a geração de soluções mais criativas a partir das suas informações, é interessante que os projetistas se atenham aos seus detalhes, para entenderem completamente os conceitos apresentados. Assim, a possível fixação funcional causada pelos exemplos físicos não é uma desvantagem, pois eles podem ser melhor avaliados pela equipe de projeto, potencializando o raciocínio analógico.

Outro fator que influencia na geração das ideias é a utilização das peças do modelo físico pelos projetistas, pois as atividades de desmontar e montar o modelo físico se assemelham as atividades de engenharia reversa. Segundo Otto e Wood (1998), a engenharia reversa é um processo de observar, desmontar, testar, experimentar e documentar as características de um produto já existente, tendo como objetivo principal compreender e representar esse produto para que, a partir de seus componentes, surjam soluções para os sistemas de um produto em desenvolvimento

A engenharia reversa também tem o potencial de mitigar a fixação, ou pelo menos encorajar os projetistas a gerarem mais ideias. Esse fato é sustentado pela capacidade de a atividade ativar conceitos que não seriam acessados apenas por uma inspeção visual do objeto, o que aumenta os processos cognitivos e assim o espaço de busca por soluções (TOH; MILLER, 2014; TOH; MILLER; OKUDAN, 2012).

Entretanto, Starkey et al. (2017) apresentam que a engenharia reversa de sistemas físicos pode gerar certo nível de fixação funcional, mesmo que inconsciente, devido aos recursos empregados pelos projetistas na atividade. Os autores também apontam que a criatividade de soluções propostas é maior quando a atividade é realizada em produtos distantes do domínio do problema de projeto, o que vai ao encontro do que foi discutido no capítulo 2.

### 3.3 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS FÍSICOS

Modelos físicos utilizados em fases iniciais de projeto devem ser simples e de rápida construção, pois possivelmente não serão aproveitados após as avaliações realizadas (BROEK et al., 2000; RAMDUNY-ELLIS et al., 2008). A construção deve priorizar a abstração dos conceitos, pois isso diminui a chance de os projetistas se fixarem no modelo para o restante do trabalho, garantindo que ele seja apenas um objeto de apoio (JANG; SCHUNN, 2012; KIRIYAMA; YAMAMOTO, 1998).

É importante desenvolver o modelo com menos requisitos do que o sistema análogo, para diminuir tempo e custo da construção. Essa prática não prejudica a avaliação e se aplica muito bem para trabalho em grupo, permitindo expressar um conceito inicial e aprender com ele, evitando a fixação funcional pela presença de muitos detalhes. Outra forma para economizar recursos é trabalhar com sistemas, ou subsistemas, isolados, ou ainda fazer modelos em escala (CAMBURN et al., 2017).

Com modelos físicos simples, é mais fácil conscientizar que a falha faz parte das atividades de projeto, e que deve ser encarada como uma oportunidade de melhoria. Este tipo de modelo transmite uma sensação de avanço, pois possibilitam comunicação rápida e efetiva, facilitando correções e o *feedback*, motivando a equipe pela consistência que o trabalho apresenta. Além disso, trabalhar com modelos simples aumenta a quantidade de ideias geradas durante a ideação, causando a sensação de um trabalho mais eficiente, potencializando a criatividade, devido ao compartilhamento de ideias (GERBER; CARROLL, 2012).

Uma forma de construir modelo de forma rápida é por meio de *mockups*. Eles representam as características de um sistema em um alto nível de abstração, aproximando o comportamento físico do sistema de referência. *Mockups* podem representar um sistema com múltiplas construções, e são úteis para receber *feedback* sobre a usabilidade de um conceito. Porém, podem deturpar os princípios físicos existentes no sistema, requerendo cuidados para sua interpretação (CAMBURN et al., 2017).

A construção dos modelos físicos, em fases iniciais de projeto, não deve demandar grande habilidade, ou conhecimentos, assemelhando-se às práticas de desenvolvimento “Faça você mesmo”. Nelas, pessoas comuns são capazes de desenvolver produtos, ou tecnologias, a partir de pouca informação. Essa prática possui cinco princípios básicos, que aumentam a sua eficiência, sendo eles (CAMBURN et al., 2015):

- Empregar construções básicas;
- Aproveitar produtos comerciais;
- Preparar projetos de fabricação;
- Repetir processos de fabricação;
- Incluir vazios estruturais.

Ressaltam-se os princípios de aproveitar produtos comerciais e incluir vazios estruturais. O primeiro sugere o aproveitamento de produtos para facilitar construções complicadas, ou o emprego de tecnologias específicas, sendo útil no desenvolvimento de modelos físicos para melhorar a representação do sistema análogo, sem adicionar complexidade à construção. Os vazios reduzem o material utilizado e, portanto, o peso do modelo, facilitando o manuseio e reduzindo custos.

De acordo com Hess e Summers (2013), modelos simples também auxiliam o processo de aprendizado e melhoria das ideias. Por isso, os autores propõem algumas diretrizes para a construção em fases conceituais de projeto, sendo elas:

- Planejar qual será o propósito do modelo;

- Planejar o que será feito com os resultados obtidos a partir do modelo;
- Começar o mais rápido e com menor custo possível;
- Construir com a maior precisão possível, para aquilo que se quer avaliar;
- Compartilhar recursos entre os modelos, para construir conceitos e avaliar melhor o espaço de soluções;
- Definir uma sistemática para construção dos modelos, o que auxilia na gestão dos custos e riscos;
- Fazer modelos cedo e várias vezes, para depois iterar nas soluções.

Os materiais que constituem o modelo também têm a capacidade de influenciar os projetistas, facilitando o aprendizado, inspirando ou sendo fontes de analogia (HESS; SUMMERS, 2014). Portanto, eles devem estimular a interação dos projetistas, do contrário, podem ser desprezados como uma ferramenta de auxílio a geração de ideias (RAMDUNY-ELLIS et al., 2008). Além disso, o tipo de material direciona a forma que os conceitos terão, por exemplo, papel tende a ser empregado para representar cilindros ou outros formatos semelhantes (LEMONS et al., 2010; RAMDUNY-ELLIS et al., 2008). Assim, é fundamental trabalhar com materiais capazes de representar as mais diferentes geometrias, permitindo que várias opções de soluções possam ser exploradas.

### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo definiu modelos como representações de algo que se quer avaliar, podendo variar no tipo de construção e detalhamento. Eles são ferramentas muito utilizadas em projetos, em função da sua ampla gama de aplicações, baixo custo e bom retorno de informações. Porém, é necessária atenção na sua aplicação, pois pela simplicidade podem deturpar algumas interpretações e assim prejudicar os resultados.

No universo dos modelos, destacam-se os físicos, pela sua facilidade de construção, a partir de poucas informações e materiais simples. Além disso, utilizá-los durante atividades de ideação pode estimular a criatividade dos projetistas, melhorando as soluções.

Isto ocorre pela sua capacidade de mitigar a fixação funcional, por evidenciarem soluções equivocadas, que são descartadas mais rapidamente, fazendo com que o projetista consiga explorar mais o espaço de busca por soluções. Além disso, os modelos facilitam a comunicação da equipe de projeto e enriquecem o ambiente com estímulos sensoriais,

tornando mais fácil encontrar uma solução criativa durante o trabalho em equipe.

Também, trabalhar com modelos físicos cria um ambiente que facilita o aprendizado de conceitos, seguindo a teoria do Aprendizado Experiencial, pela sua capacidade de focar a atenção nas informações nele contidas e realizar testes, que garantem o entendimento do que está sendo representado. Assim, é mais fácil abstrair os conceitos, para que eles possam ser empregados em outras ideias, durante os processos criativos.

Esta junção de características, que fazem dos modelos físicos uma ferramenta capaz de potencializar a criatividade e facilitar o aprendizado, os tornam bons estimuladores à criatividade, se representarem fontes de analogia, sendo capazes de facilitar o raciocínio analógico, auxiliando principalmente projetistas inexperientes.

Esta proposta pode gerar algum tipo de fixação funcional nos projetistas, caso os modelos sejam interpretados como exemplos de soluções. Porém, esse efeito tende a ser benéfico, pela maior atenção dada ao estimulador, fazendo com que suas funções e características sejam melhor exploradas, facilitando o entendimento dos conceitos e assim potencializando o raciocínio analógico.

Portanto, é necessário propor uma sistemática de construção dos modelos físicos que facilite o seu desenvolvimento. Para isso, ela deve aproveitar características das atividades “Faça você mesmo”, a partir de atividades simples e rápidas, que utilizem materiais simples e variados, representando a fonte de analogia com características de abstração dos conceitos, trabalhando com sistemas, ou subsistemas quando for possível. Esta proposta será apresentada no capítulo que segue.

## 4 MODELOS FÍSICOS COMO ESTIMULADORES À CRIATIVIDADE

A revisão da literatura mostrou a importância do raciocínio analógica na busca por soluções inovadoras e como os estimuladores à criatividade, na forma de textos, imagens e objetos, tentam facilitar o desenvolvimento de uma analogia. Estes estimuladores adicionam informações sobre determinado sistema ao processo criativo, o que permite aos projetistas identificarem mais facilmente a similaridade entre o problema de projeto e os sistemas análogos apresentados.

A presente dissertação se baseia na premissa que, ao apresentar esse estímulo de forma física, existem mais possibilidades de identificar as similaridades entre a fonte de analogia e o problema de projeto, pois modelos físicos são capazes de estimular mais sentidos do que os formatos compostos por imagens e textos. Ao contrário das propostas que utilizam objetos como estimuladores à criatividade, a proposta dessa dissertação não se limita a produtos comerciais ou exemplos de soluções existentes, pois o objetivo é que sistemas pertencentes à diversos domínios de conhecimento possam ser representados pelos modelos físicos e, assim, estimular melhores soluções a partir de suas características.

Portanto, para construir modelos físicos para estimular a criatividade é proposta uma sistemática para orientar a captura e transformação das informações de uma fonte de analogia para representá-las por meio das peças e relações de um modelo físico, sendo simples em suas atividades, de maneira que não seja necessário grande esforço ou recursos no desenvolvimento de modelos para estimular a criatividade. A sistemática de construção dos modelos físicos proposta é apresentada na sequência.

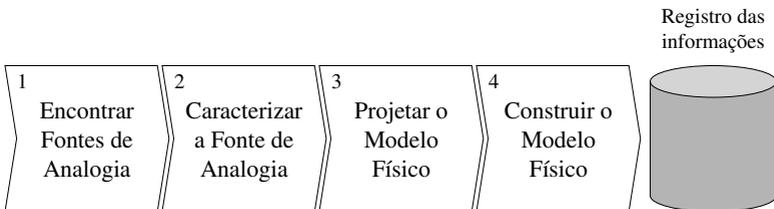
### 4.1 SISTEMÁTICA PARA CONSTRUÇÃO DOS MODELOS FÍSICOS

O objetivo da sistemática de construção dos modelos físicos é apresentar um caminho simples para o desenvolvimento de modelos que irão representar as fontes de analogias. Ela deve ser aplicada por um facilitador do processo de ideação, que deverá construir e apresentar os modelos físicos para a equipe de projeto, antes do início da sessão criativa. As atividades propostas visam economia de recursos, tanto material quanto humano, ao longo da construção dos modelos.

A visão geral da sistemática de construção dos modelos físicos é apresentada na Figura 4.1, composta por quatro atividades principais. Na

primeira são buscados os sistemas que serão fontes de analogia para a solução do problema em questão. Esta atividade se baseia em uma função do produto, definida como a de interesse para o processo de ideação, sendo aquela que demanda soluções inovadoras. A sistemática concentra a busca por fontes de analogia em sistemas biológicos e técnicos.

Figura 4.1 - Visão geral da sistemática de construção dos modelos físicos.



A atividade 2 visa descrever o conteúdo da fonte de analogia, identificando o que é importante para a execução da função do sistema análogo e, portanto, que deve ser representado no modelo físico. A terceira atividade consiste no projeto do modelo físico. Seguindo orientações encontradas no capítulo 3, esta atividade resulta no desenho de cada peça e o seu posicionamento no modelo, buscando que o projeto atenda requisitos de funcionalidade do sistema análogo.

A atividade 4 é a construção das peças, sua montagem e também teste do modelo físico. O objetivo é garantir que o modelo esteja conceitualmente de acordo com o sistema de referência, seja de fácil manuseio e interação.

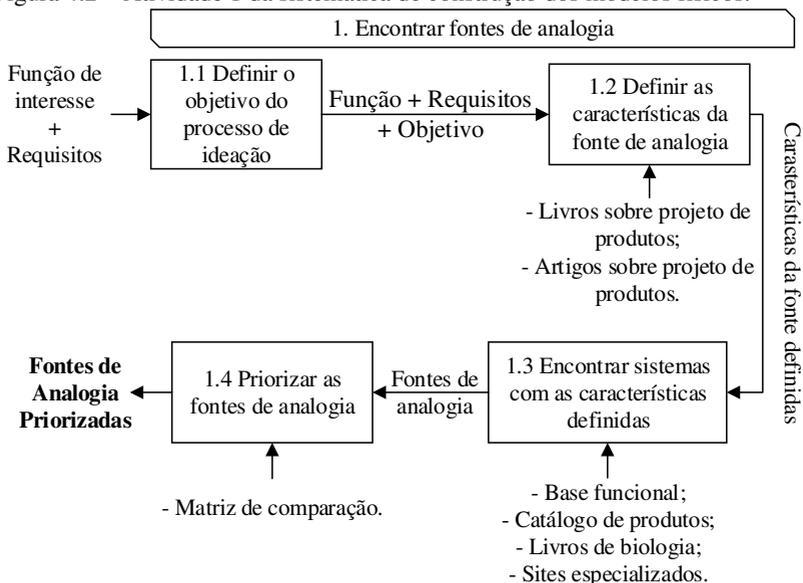
Ao final, as informações geradas ao longo do desenvolvimento do modelo físico devem ser registradas em um banco de dados específico. Assim, registra-se o conhecimento adquirido com o processo, tornando mais fácil resgatar o projeto dos modelos, ou as informações sobre determinado sistema análogo, que possam ser úteis em futuros desenvolvimentos.

Na sequência, cada atividade é detalhada, com suas tarefas e ferramentas de auxílio para o desenvolvimento do modelo físico. Para exemplificar o desenvolvimento das atividades, utiliza-se como exemplo o projeto de uma cadeira de rodas, que auxilie cuidador e usuário na transferência da cama para cadeira, e vice-versa (o problema está detalhado no Quadro 4.8, Problema 2). Outros exemplos de aplicação da sistemática de construção dos modelos físicos são apresentados no Apêndice B.

### 4.1.1 Atividade 1: Encontrar fontes de analogia

As tarefas para busca de fontes de analogias são apresentadas na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Atividade 1 da sistemática de construção dos modelos físicos.



A entrada da atividade 1 é a função de interesse para o processo de ideação, que é aquela que demanda soluções inovadoras, mais os requisitos dos usuários. A definição da função de interesse depende de informações existentes em fases anteriores do projeto, como o planejamento do produto e projeto informacional. Esta função pode estar relacionada a uma melhoria no desempenho do produto, uma nova tecnologia a ser apresentada ao mercado, ou aprimoramentos em relação a uma linha de produtos anterior.

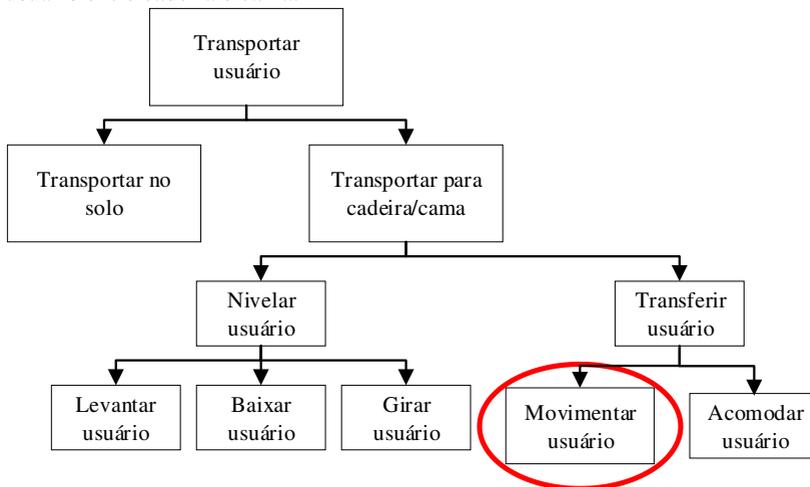
Na primeira tarefa (1.1) será definido o objetivo do processo de ideação, que pode ser, por exemplo: desenvolver uma inovação radical, desenvolver uma inovação incremental, ou implementar características específicas nas soluções, como princípios do projeto universal, projeto modular; etc. Cada um destes objetivos demanda um tipo de estímulo específico, por isso é importante que a definição seja precisa, para que os modelos físicos estejam alinhados ao tipo de resultado esperado.

É o objetivo do processo de ideação que define em qual domínio serão buscadas as fontes de analogia. Isso proporciona ao facilitador um

universo menor de opções para pesquisar, facilitando o seu trabalho e aumentando as chances de escolher um bom sistema para ser a fonte de analogia.

Exemplificando o desenvolvimento da Tarefa 1.1, a função de interesse para o projeto da cadeira de rodas (Síntese funcional apresentada na Figura 4.3) é movimentar usuário. É nesta função que está o diferencial do produto, pois é ela a responsável pela inovação tecnológica do produto, que vai possibilitar o usuário se movimentar entre cama e cadeira com mais facilidade. Os requisitos para a execução da função são que o sistema seja seguro, fácil de utilizar, diminua esforços tanto do paciente como do cuidador e seja confortável.

Figura 4.3 - Síntese funcional da cadeira de rodas que auxilia a movimentação do usuário entre cadeira e cama.



Por existirem poucos sistemas que se propõe a movimentar usuários de cadeiras de roda para a cama, principalmente quando se trata de um sistema acoplado a cadeira, o objetivo da tarefa 1.1 é **desenvolver uma inovação radical para a função**. Outros exemplos de definição do objetivo do processo de ideação estão no Apêndice B.

A Tarefa 1.2 determina as características necessárias da fonte de analogia, para que ela seja capaz de estimular o tipo de solução demandada no objetivo do processo de ideação. A tarefa é baseada em conceitos de projeto de produto, que sugerem quais sistemas tem potencial de ser uma boa fonte de analogia ao objetivo definido. Com estes conceitos, o facilitador possui as informações que o permitem

definir as características dos sistemas que serão buscados, reduzindo o número de possibilidades apenas às boas alternativas. As ferramentas que auxiliam o desenvolvimento dessa tarefa são livros e artigos que tratam do conceito de estimuladores à criatividade. O Quadro 4.1 apresenta sugestões de características da fonte de analogia a partir do objetivo do processo de ideação, com o conceito que sustenta cada escolha.

Quadro 4.1 - Sugestões para o desenvolvimento da tarefa 1.2 da sistemática de construção dos modelos físicos.

<b>Objetivo</b>	<b>Conceito</b>	<b>Característica da fonte de analogia</b>
Desenvolver uma inovação radical	Fontes de analogia pertencentes à domínios distantes tem maior potencial de estimular a criatividade (SRINIVASAN et al., 2018) e são preferidas pelos projetistas quando o objetivo é uma inovação radical (OZKAN; DOGAN, 2013).	Tratando de um projeto de engenharia, a característica buscada na fonte de analogia deve ser: <b>um sistema biológico que realize função análoga à de interesse.</b>
Desenvolver uma inovação incremental	Para uma inovação incremental, os projetistas têm preferência em utilizar fontes de analogia pertencentes a domínios de conhecimentos próximos ao domínio do problema (OZKAN; DOGAN, 2013), além de que este tipo de fonte de analogia estimula soluções com maior grau de aplicabilidade (JIA et al., 2018), o que facilita a implementação de melhorias nos produtos.	Tratando de um projeto de engenharia, a característica buscada na fonte de analogia deve ser: <b>um sistema técnico que realize função análoga à de interesse.</b>

Continua

Objetivo	Conceito	Característica da fonte de analogia
Implementar características específicas na solução	A implementação de uma característica específica nas soluções demanda que os projetistas entendam esta característica, processo que é facilitado se várias fontes de analogia, que utilizam a característica no seu funcionamento, sejam apresentadas aos projetistas (SONG et al., 2018).	Tratando de um projeto em que se quer implementar algum princípio de projeto universal nas soluções, a característica buscada na fonte de analogia deve ser: <b>sistemas técnicos que implementem o princípio de projeto universal nas suas tecnologias.</b>

Exemplificando, para o desenvolvimento da cadeira de rodas em que o objetivo é gerar uma inovação radical para a função de interesse, as fontes de analogia que melhor estimulam este tipo de solução pertencem a domínios de conhecimento distantes do domínio do projetista. Então, como os modelos físicos serão utilizados por equipes compostas por membros com conhecimentos em engenharia, o domínio da biologia proporciona uma grande distância. Portanto, para estimular inovações radicais para a função de interesse, os sistemas análogos devem ter como característica **ser um sistema da natureza que exerça função análoga à de interesse**. Outros exemplos de desenvolvimento da Tarefa 1.2 estão no Apêndice B.

Na Tarefa 1.3, procuram-se as fontes de analogia que possuam as características definidas na Tarefa 1.2. Como ferramentas de auxílio à execução, sugerem-se catálogos de produtos, livros de biologia (para o caso de sistemas da natureza), uma base funcional (Exemplo 1 do Apêndice B) ou sites especializados, que tratam especificamente das características necessárias à fonte de analogia.

Para o exemplo de aplicação da sistemática sendo desenvolvido, utilizando os trabalhos de Lodish et al. (2014), Melo (2015) e Ogliari e Melo (2015) os sites *AskNature* (AskNature (2019)) e o BioIns<sup>1</sup> (Boetler (2017)), os sistemas que realizam função análoga à Movimentar usuário são: a Cinesina-1, que promove o movimento de organelas dentro de células (LODISH et al, 2010); o Canguru, que movimenta o seu filhote dentro da bolsa marsupial (BOETLER, 2017); as Escamas das cobras, que

<sup>1</sup> <http://bioins.sites.ufsc.br/registrar.php>

facilitam a movimentação em terrenos ásperos (ASKNATURE, 2019); a Tromba do elefante, que consegue movimentar alimentos e objetos (MELO, 2015) e o Espinho do Ouriço, que possui a capacidade de se movimentar em diferentes direções (MELO, 2015).

A Tarefa 1.4 orienta a priorização dos sistemas encontrados na Tarefa 1.3, com relação ao seu potencial de estimular melhores soluções para o objetivo definido do processo de ideação. Esta tarefa auxilia na decisão sobre quais fontes serão representadas pelos modelos físicos, quando não for viável construir um modelo para cada fonte de analogia encontrada.

A priorização deve ser realizada utilizando uma matriz de comparação (PAHL et al., 2005), em que o critério de priorização depende do objetivo do processo de ideação e das características da fonte de analogia.

Para evitar a fixação funcional dos projetistas nos sistemas representados pelos modelos físicos, o que diminui a variedade e criatividade das soluções, os sistemas análogos devem ser desconhecidos à equipe de projeto, como revisado na literatura. Se o objetivo do processo de ideação é implementar algum tipo de conceito específico nas soluções, o critério de priorização deve avaliar qual fonte de analogia é capaz de demonstrar o conceito de maneira mais clara, pois isso irá influenciar no entendimento dos projetistas e na futura implementação das informações na solução. O exemplo 1 do Apêndice B demonstra a priorização de fontes de analogia, a partir de sistemas técnicos, em que se deseja evitar fixação funcional nos projetistas. O exemplo 2 do Apêndice B demonstra a priorização quando o critério avalia quais fontes melhor demonstram determinado conceito, que se quer implementar nas soluções.

No desenvolvimento da cadeira de rodas, por se tratar de um projeto que demanda uma inovação radical, é necessário evitar a fixação funcional nos projetistas, sendo que as melhores fontes de analogia são as mais incomuns a eles. Então, uma forma de priorizar os sistemas análogos é comparar as características de uma fonte considerada comum com as demais.

Esta forma de comparação parte do princípio que algo incomum é o oposto de algo comum. Assim, o processo consiste em definir uma das fontes encontradas como comum aos projetistas, listar suas características, com relação à execução da função análoga, e compará-las com as mesmas características das outras fontes. Então, quanto menos características forem compartilhadas, mais distante a fonte comparada estará da fonte comum, sendo mais incomum.

Para as cinco fontes encontradas na Tarefa 1.3, faz-se a comparação apresentada no Quadro 4.2.

O canguru foi escolhido como fonte mais comum por ser um animal conhecido, com filmes, documentários e personagens baseados nele.

A classificação de fontes de analogia, ordenando da mais incomum para a comum é a seguinte:

1º - Cinesina-1 (compartilha 2 de 7 características com a fonte comum);

2º - Espinhos do ouriço europeu (compartilha 3 de 7 características com a fonte comum);

3º - Escamas da cobra (compartilha 6 de 7 características com a fonte comum);

4º - Tromba do elefante (compartilha 7 de 7 características com a fonte comum);

5º - Canguru (fonte considerada comum aos projetistas).

A capacidade de ver a função está relacionada a visão do ser humano a olho nu. A característica de transporte ativo ou passivo é baseada no que está sendo transportado e em quem atua nesse movimento. Se o sistema atua no seu próprio movimento, considera-se ativo, enquanto que se o sistema movimenta outro, trata-se de um movimento passivo. Por exemplo, para o canguru, quem é transportado é o filhote, enquanto quem faz o transporte é a mãe. São dois sistemas diferentes, considerando-se que o movimento do canguru atua em outro sistema, ele é passivo. Ao contrário, para a cobra, as escamas atuam no próprio movimento do animal, em que existe apenas um sistema envolvido, considerando-se um movimento ativo. Os espinhos do ouriço também, eles se movimentam conforme a necessidade do corpo do animal, correspondendo a um sistema único, que gera o próprio movimento, considerado ativo.

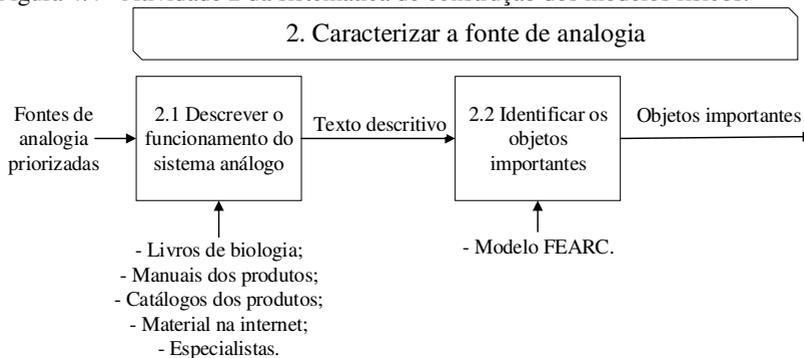
Quadro 4.2 - Comparação das características das fontes.

<b>C</b>	<b>Característica</b>	<b>1</b>	<b>Característica</b>	<b>2</b>	<b>Característica</b>	<b>3</b>	<b>Característica</b>	<b>4</b>	<b>Característica</b>
<b>Canguru</b>	Função pode ser vista	<b>Cinesina-1</b>	Função não pode ser vista	<b>Escamas de cobra</b>	Função pode ser vista	<b>Tromba do Elefante</b>	Função pode ser vista	<b>Espinho do ouriço europeu</b>	Função pode ser vista
	Movimento por efeitos mecânicos		Movimento por efeitos químicos		Movimento por efeitos mecânicos		Movimento por efeitos mecânicos		
	Movimento passivo		Movimento passivo		Movimento ativo		Movimento passivo		
	Várias direções		Uma direção		Várias direções		Várias direções		
	Médias e longas distâncias		Distâncias microscópicas		Médias e longas distâncias		Médias distâncias		
	Variação na velocidade		Velocidade contínua		Variação na velocidade		Variação na velocidade		
	Movimento preciso		Movimento preciso		Movimento preciso		Movimento preciso		
C – Fonte comum; 1, 2, 3 e 4 – Fontes comparadas									

#### 4.1.2 Atividade 2: Caracterizar a fonte de analogia

As tarefas da Atividade 2 são apresentadas na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Atividade 2 da sistemática de construção dos modelos físicos.



Na Tarefa 2.1, os sistemas análogos escolhidos para serem representados por modelos físicos, em função de serem melhor ranqueados na priorização da Tarefa 1.4, são descritos, com relação a como executam a função que os fazem atender à característica da fonte de analogia definida na Tarefa 1.2. As ferramentas de auxílio a esta tarefa são sites especializados, manuais e catálogos de produtos, livros de biologia e consulta a especialistas.

A saída da atividade 1 mostra que os dois sistemas com maior potencial de estímulo, para o desenvolvimento de uma inovação radical para cadeira de rodas, são a Cinesina-1 e o Espinho do Ouriço Europeu. A descrição da Cinesina-1 é apresentada no Quadro 4.3 e dos Espinhos do Ouriço Europeu no Quadro 4.4. Foram escolhidos dois sistemas análogos para serem representados por modelos físicos em função do tempo e recursos disponíveis para construção. Caso existam maiores possibilidades, outras fontes de analogia também podem ser consideradas para representação e apresentação aos projetistas como estímulos à criatividade.

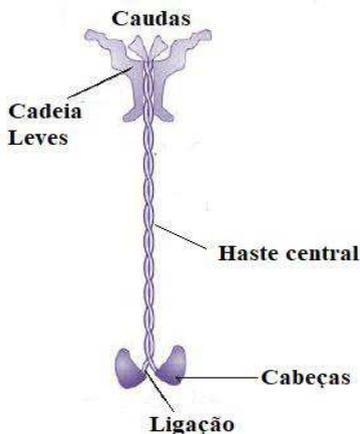
Quadro 4.3 - Texto descritivo da Cinesina-1.

<b>Descrição da Cinesina-1</b>
A Cinesina-1 movimenta as organelas nas células ao longo de rotas bem definidas, através dos microtúbulos, que funcionam como trilhos no transporte intracelular.
Continua

### Descrição da Cinesina-1

A Cinesina-1 possui a seguinte estrutura: um par de domínios de cabeças globulares, conectados por um domínio de ligação, curto e flexível, à uma longa haste central, terminando em um par de pequenos domínios de caudas, globulares, que se associam as cadeias leves. A Figura 1 apresenta esta estrutura.

Figura 1 – Estrutura da Cinesina-1.



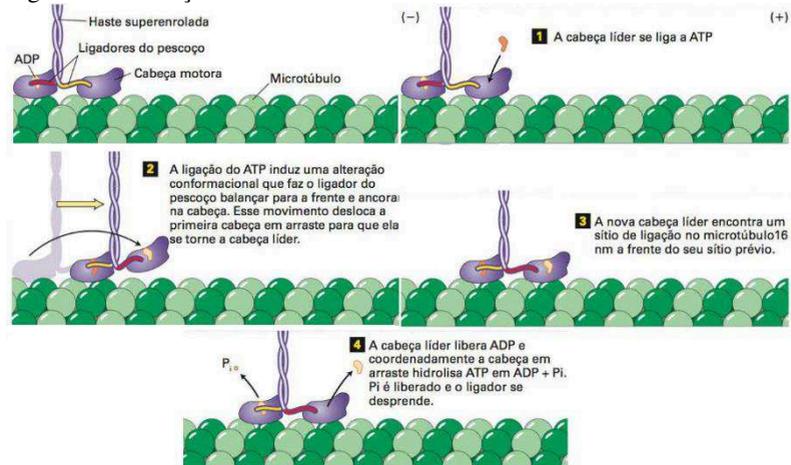
**Movimento:** A cabeça líder se liga ao ATP, gerando uma ligação forte com o microtúbulo. Isso induz a ligação a balançar para frente, ficando ancorada na cabeça líder. Esse movimento desloca a primeira cabeça, que possui uma ligação fraca, para frente, tornando-a líder. A nova cabeça líder libera ADP e se liga a um ATP, promovendo uma ligação forte com o microtúbulo. Essa ligação provoca uma hidrólise do ATP em ADP + P<sub>i</sub>, na cabeça que ficou para trás. Quando o P<sub>i</sub> é liberado, a ligação com o microtúbulo se torna fraca, iniciando o processo novamente. A Figura 2 ilustra esse movimento.

O domínio da cabeça se liga aos microtúbulos e ao ATP, responsável pela atividade motora. O domínio de ligação é essencial à motilidade para frente e o domínio da cauda é responsável pela ligação à receptores na membrana das estruturas transportadas.

Continua

## Descrição da Cinesina-1

Figura 2 – Ilustração do movimento da Cinesina-1.



**Glossário:** Organela – Pequenos grãos que realizam as atividades celulares essenciais para as células.

Motilidade – Capacidade de se mover espontaneamente.

ATP – Sigla para Adenosina Trifosfato, essa molécula constitui a principal forma de energia química para as células.

ADP – Sigla para Adenosina Difosfato, sempre que é requerida energia para a célula, ocorre a conversão do ATP em ADP +  $P_i$ .

$P_i$  – Radical de fosfato inorgânico, liberado pela molécula de ATP.

Hidrólise – Reação de decomposição ou alteração de uma substância pela água.

Fonte: (LODISH et al., 2014).

Quadro 4.4 - Texto descritivo dos Espinhos do Ouriço Europeu.

### Descrição dos espinhos o Ouriço Europeu

Os espinhos do Ouriço europeu têm a capacidade de se movimentar em diferentes direções, devido à forma como ele é ligado na pele do animal. Eles são pelos modificados e móveis, com um pequeno músculo na base de cada espinho, que o puxa para cima e garante que cada um tenha movimento independente.

A principal característica do ouriço europeu é ter o corpo revestido pelos espinhos, com comprimento entre 2 e 3 cm, de cor marrom escuro. Os espinhos estão distribuídos dorsalmente e descansam em uma capa mais profunda de gordura do tecido subcutâneo.

Continua

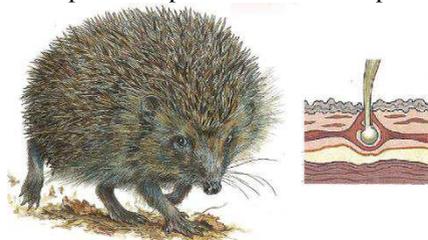
### Descrição dos espinhos o Ouriço Europeu

Na base de cada espinho existe um bulbo esférico, que proporciona excelente ancoragem na pele e impede que o espinho seja empurrado para o corpo do ouriço durante algum impacto.

No crescimento do espinho, existe uma ligeira curvatura, cerca de 60°, imediatamente acima do bulbo. Esse ângulo, aliado ao pequeno diâmetro do espinho, proporciona uma boa elasticidade, fazendo com que os espinhos atuem também como amortecedores.

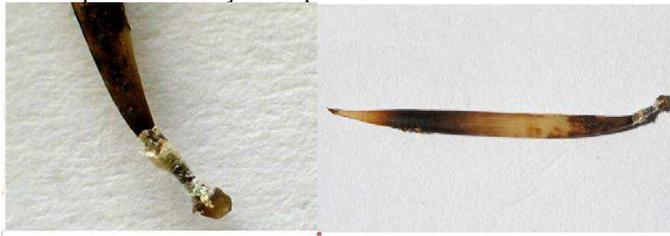
A Figura 1 apresenta o ouriço europeu e o arranjo do espinho na pele do animal. A Figura 2 apresenta o espinho completo, demonstrando a angulação, e um destaque para o bulbo da base.

Figura 1 - Ouriço Europeu e o espinho no interior da pele.



Fonte: [http://portal.veracruz.edu.br/guia\\_animais/guia/mamiferos/10.jpg](http://portal.veracruz.edu.br/guia_animais/guia/mamiferos/10.jpg)

Figura 2 – Espinho do Ouriço Europeu



Fonte: (WILDLIFE ONLINE, 2019)

O exemplo 2 do Apêndice B mostra o desenvolvimento da Atividade 2 quando o sistema análogo é escolhido por implementar algum conceito específico, que se quer aplicar nas soluções geradas pela equipe de projeto.

A Tarefa 2.2 guia a identificação dos objetos importantes da fonte de analogia, que devem ser representados no modelo físicos. Para isso, é aplicado o modelo FEARC, desenvolvido para esta sistemática, baseado em Qian (2002), que realiza a análise de um sistema segundo a sua **Função, Elementos, Atributos, Relações e Comportamentos**. O objetivo é identificar no texto descritivo estes cinco objetos, para facilitar a

identificação das características importantes do sistema na execução da função análoga. O modelo FEARC apresenta as seguintes definições:

**Função:** É o motivo pelo qual o sistema foi escolhido como fonte de analogia para o problema, sendo o resultado dos comportamentos existentes;

**Elementos:** São as partes físicas que constituem o sistema, sendo possível um elemento dividir-se em outros menores e mais específicos.

**Atributos:** São as características dos elementos, sendo importantes para o funcionamento do sistema, ou para manter a aparência.

**Relações:** São as formas como os elementos se relacionam entre si (ex. posicionamentos, ações e reações, etc.), possibilitando os comportamentos e a função.

**Comportamentos:** São ações intermediárias que ocorrem dentro do sistema, por meios das quais a função é alcançada.

O modelo FEARC é um guia que facilita a classificação das informações, porém nem todos objetos que foram identificados na descrição precisam ser representados no modelo. Então, após a classificação do texto descritivo, o facilitador faz uma avaliação de cada objeto, com valores de 1 a 5 para a importância do objeto na obtenção da função, em que: 1 – Nenhuma importância; 2 – Pouco importante; 3 – Importante; 4 – Muito importante; 5 – Extremamente importante.

Ao final, deve-se dar prioridade aos objetos com avaliações iguais a 4 ou 5, pois estes devem estar representados no modelo físico. Objetos com avaliação igual a 3 podem ou não estarem representados, dependendo da complexidade que será a sua representação no modelo, em que esta avaliação fica a cargo do facilitador que está aplicando a sistemática. Objetos com avaliação menor do que 3 devem ser desconsiderados.

A aplicação do modelo FEARC é apresentada no Quadro 4.5 para a Cinesina-1, e no Quadro 4.6 para os Espinhos do Ouriço Europeu.

O exemplo 2 do Apêndice B apresenta a aplicação do modelo FEARC para um sistema análogo que possui determinada característica que se quer implementar nas soluções.

Quadro 4.5 – Identificação dos objetos, com base no modelo FEARC, da Cinesina-1.

<b>Função</b>		
Movimentar organelas ao longo de rotas bem definidas		
<b>Elementos e Atributos (I)</b>	<b>Comportamentos (I)</b>	<b>Relações (I)</b>
Organela (5)  Cabeças: São globulares (5); Microtúbulo (5)  Ligação: Curta e flexível (5); Haste central (5);  Cauda: São globulares (5); Cadeias leves (5);	Microtúbulos são semelhantes a trilhos (4)  Depois da ligação da cabeça com o ATP, gera-se uma ligação forte com os microtúbulos (5) Quando as cabeças possuem só ADT, a ligação com o microtúbulo é fraca (5)  As cabeças se deslocam pelo movimento da ligação (5)  Quando ficam atrás, a cabeça faz a hidrólise de ATP em ADT + P <sub>i</sub> (4) A ligação balança para frente, ancorando na cabeça líder, depois da ligação dela com o ATP (5)	Os microtúbulos fazem ligação com as cabeças (5) As cabeças se ligam com o ADT e com o ATP (5) A cauda associa as cadeias leves (4) As cabeças liberam P <sub>i</sub> quando ficam para trás (5) As ligações conectam a cabeça à haste centra (4) As cabeças liberam ADT quando se tornam líderes (5)
<b>O que deve ser representado no modelo físico</b> - Representar os elementos; - Representar a dinâmica do deslocamento, pois as informações relacionadas à processos químicos, apesar de importantes ao movimento, são difíceis de serem representadas em um modelo físico.		
Legenda: <b>I</b> – Importância do objeto na execução da função.		

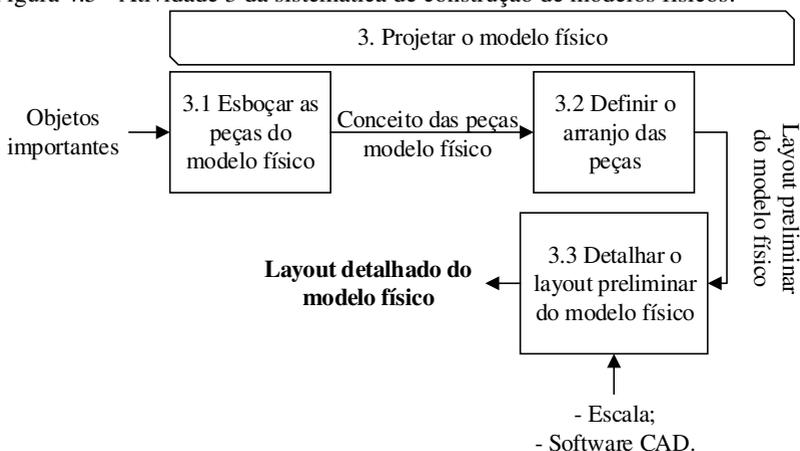
Quadro 4.6 - Identificação dos objetos, com base no modelo FEARC, do Espinho do Ouriço Europeu.

<b>Função</b>		
Movimentar-se em diferentes direções		
<b>Elementos e Atributos (I)</b>	<b>Comportamentos (I)</b>	<b>Relações (I)</b>
Bulbo: esférico (5)  Espinhos, comprimento 2 e 3 cm, marrom escuro, curvatura de 60°, pequeno diâmetro (5) Pele (4)  Músculo que movimenta o espinho (5)  Camada subcutânea da pele (4)	Espinhos são móveis (5)  Espinhos possuem boa elasticidade, funcionando como amortecedores (1)  Bulbo impede que o espinho seja empurrado contra a pele (2) Músculo é responsável por puxar o espinho para cima (5) Movimento independente de cada espinho (4)	Espinhos distribuídos dorsalmente (2) Bulbo do espinho possui uma junção na camada subcutânea da pele (5) Músculo é ligado ao bulbo (5) Bulbo é ligado ao espinho (5)
<b>O que deve ser representado no modelo físico</b> - Representar os elementos. - Músculo será representado pela ação de quem utilizar o modelo físico.		
Legenda: <b>I</b> – Importância do objeto na execução da função.		

### 4.1.3 Atividade 3: Projetar o modelo físico

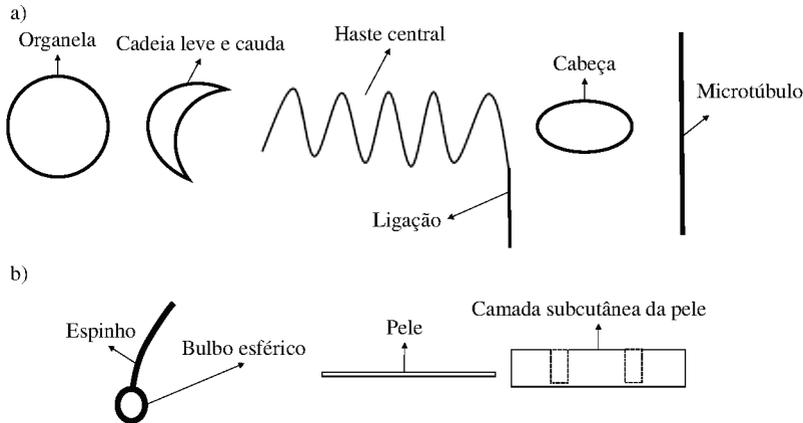
Na atividade 3 é realizado o projeto do modelo físico. As suas tarefas são apresentadas na Figura 4.5.

Figura 4.5 - Atividade 3 da sistemática de construção de modelos físicos.



Na tarefa 3.1 são esboçadas cada uma das peças do modelo físico, a partir dos elementos principais da fonte analogia identificados na Tarefa 2.2. Como uma das diretrizes da sistemática é a construção de modelos com o menor número de peças possível, deve-se optar, sempre que possível, por representar em um único esboço mais de um elemento ao mesmo tempo. A Figura 4.6 exemplifica esta tarefa para os elementos identificados, em a) para a Cinesina-1, e em b) para os Espinhos do Ouriço Europeu.

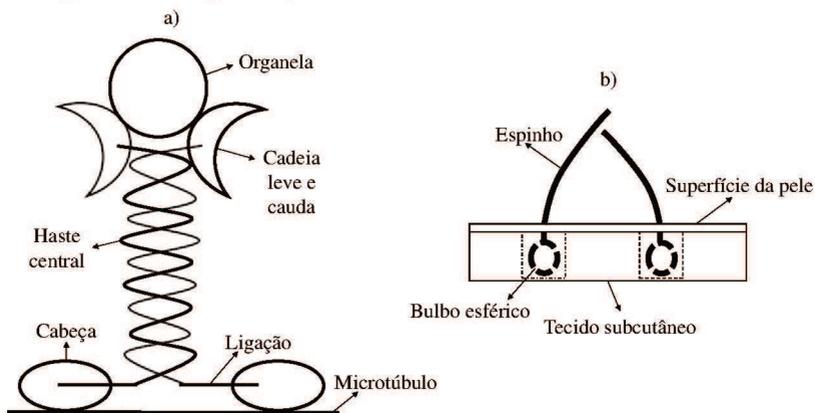
Figura 4.6 - Conceito das peças dos modelos físicos. Em a) para a Cinesina-1 e em b) para o Espinho do Ouriço Europeu.



Na Tarefa 3.2 os esboços desenvolvidos na Tarefa 3.1 são posicionados em um desenho único, de maneira a atender as relações e comportamentos identificados na Tarefa 2.2, resultando no leiaute preliminar do modelo físico. O posicionamento dos esboços também pode ser baseado em uma imagem do sistema de referência, resultando em um leiaute preliminar visualmente semelhante à fonte de analogia. Porém, como é diretriz desta sistemática, o leiaute preliminar deve priorizar o desenvolvimento de um modelo físico abstrato, ou seja, o foco deve ser em garantir que os posicionamentos possibilitem a execução da função do sistema análogo, e não que o modelo físico seja parecido com a fonte de analogia. A Figura 4.7 exemplifica o resultado da Tarefa 3.2, para a Cinesina-1 em a), e para os Espinhos do Ouriço Europeu em b).

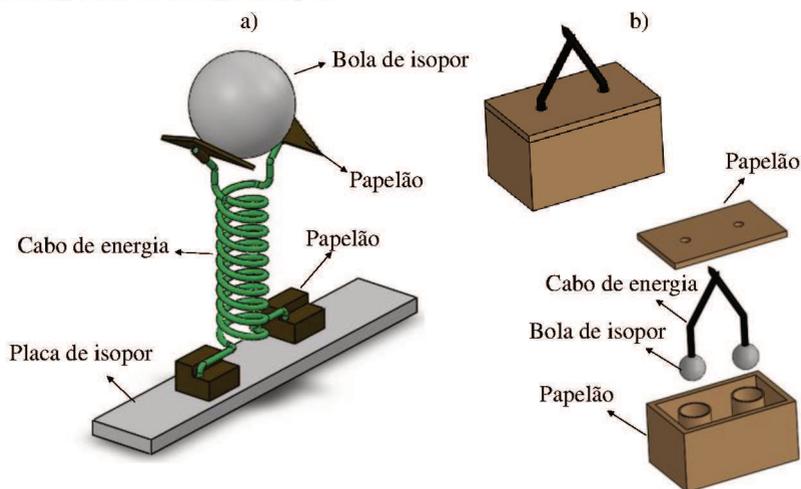
Na Tarefa 3.3 o leiaute preliminar do modelo físico é detalhado, definindo relações de tamanho, forma, material (dando preferência aos materiais existentes no ambiente de construção dos modelos, para reduzir os custos), cores, tipos de encaixe e fixação das peças, bem como demais relações relevantes para o funcionamento do modelo físico ser análogo ao da fonte de analogia. Caso algum elemento possua uma geometria complexa, ou muitos detalhes na sua forma, sugere-se empregar um software CAD para o seu detalhamento, pois isso facilita a visualização 3D e permite a fabricação através de alguma técnica de manufatura aditiva. Nesta tarefa também deve ser definido um planejamento sobre como serão fabricadas as peças.

Figura 4.7 - Leiaute preliminar dos modelos físicos. Em a) da Cinesina-1 e em b) do Espinho do Ouriço Europeu.



A Figura 4.8 apresenta o leiaute detalhado dos modelos da Cinesina-1, em a), e dos Espinhos do Ouriço Europeu, em b).

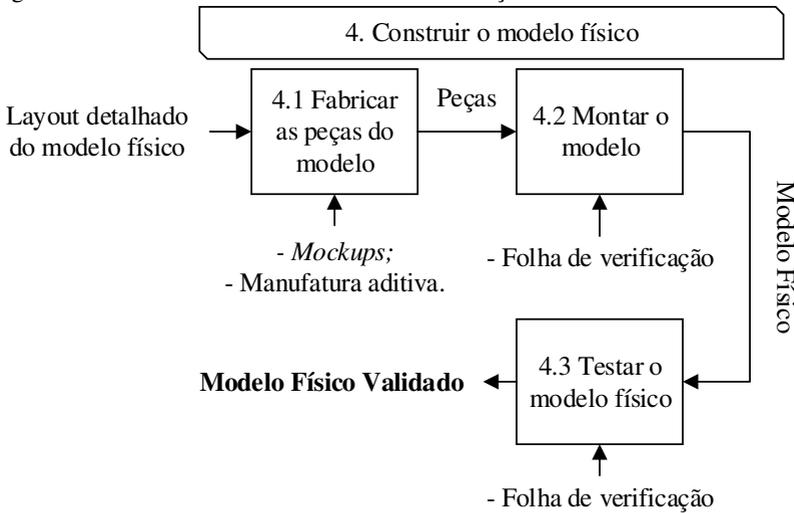
Figura 4.8 - Leiaute detalhado dos modelos físicos. Em a) da Cinesina-1 e em b) dos Espinhos do Ouriço Europeu.



#### 4.1.4 Atividade 4: Construir o modelo físico

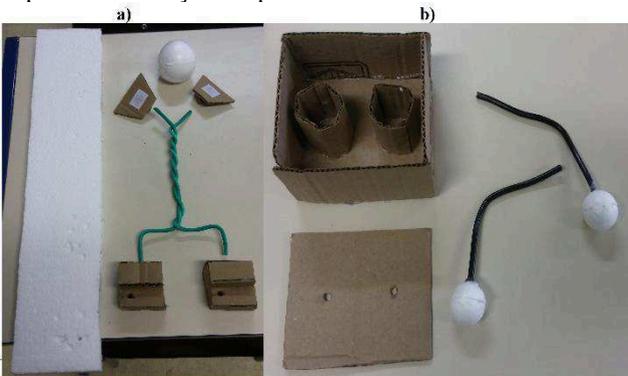
A Atividade 4 orienta a construção e testes do modelo físico. Para isso, são propostas as tarefas apresentadas na Figura 4.9.

Figura 4.9 - Atividade 4 da sistemática de construção dos modelos físicos.



Na Tarefa 4.1 são fabricadas as peças do modelo físico, a partir das definições do leiaute detalhado, resultado da Tarefa 3.3. Caso existam geometrias complexas, ou que demandem maior detalhamento, pode-se empregar alguma técnica de manufatura aditiva na fabricação das peças. A Figura 4.10 apresenta as peças construídas para o modelo da Cinesina-1, em a), e para os Espinhos do Ouriço Europeu, em b).

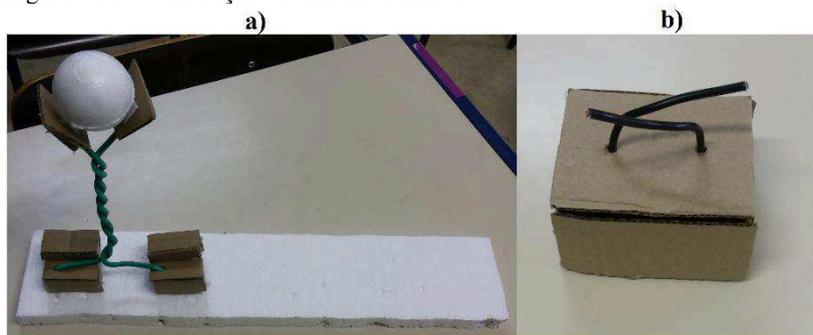
Figura 4.10 - Peças dos modelos físicos, em a) da Cinesina-1 e em b) dos Espinhos do Ouriço Europeu.



Na Tarefa 4.2 o modelo é montado, conforme o arranjo definido na Atividade 3, e ocorre a avaliação se a montagem e desmontagem do sistema é possível e prática aos projetistas. Esta avaliação é feita pelo facilitador do método e prevista em função da característica de utilização dos modelos, que deve ser livre durante as sessões de ideação, de maneira que os projetistas possam interagir com o modelo físico montado, ou somente com suas peças. Assim, a alternância de configurações deve ser rápida e prática.

A Figura 4.11 apresenta os modelos físicos da Cinesina-1, em a), e dos Espinhos do Ouriço Europeu, em b), montados.

Figura 4.11 - Construção dos modelos físicos.



O método de avaliação para a Tarefa 4.2 foi o mesmo para os modelos da Cinesina-1 e dos Espinhos do Ouriço Europeu, em que o resultado é apresentado no Quadro 4.7. Sugere-se a utilização de uma escala de pontuação conforme o seguinte: 1 – Muito insatisfatória; 2 – Insatisfatória; 3 – Possui pontos a melhorar; 4 – Satisfatória; 5 – Muito satisfatória. Avaliações iguais a 1 ou 2 estão relacionadas a problemas de projeto, pois a execução da montagem ou desmontagem são impedidas pelas relações de posicionamento definidas na Atividade 3 ou pela geometria do modelo. Uma avaliação igual a 3 representa pequenas alterações a serem realizadas nas peças ou posicionamentos do modelo físico, sem implicar em mudanças significativas no leiaute detalhado da Atividade 3. Estas alterações devem ser descritas no campo Observações, quando for o caso.

Quadro 4.7 - Avaliações da Tarefa 4.2 para os modelos da Cinesina-1 e dos Espinhos do Ouriço Europeu.

Tarefa 4.2	Avaliação				
	1	2	3	4	5
Facilidade em montar o modelo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Facilidade em desmontar o modelo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Rapidez da montagem e desmontagem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Praticidade da montagem e desmontagem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
<b>Observações:</b> Nenhuma observação.					

A aprovação da Tarefa 4.2 acontece se cada uma das avaliações obtiver uma pontuação, no mínimo, igual a 4, representando uma performance satisfatória. Caso algum critério obtenha pontuação igual a 3, o modelo deve ser corrigido de acordo com as observações e um novo teste deve ser realizado. Se algum critério obtiver pontuação menor ou igual a 2, deve-se retornar à Atividade 3 para revisar o projeto do modelo.

Na Tarefa 4.3 o facilitador avalia se o modelo físico executa corretamente a função do sistema análogo e se continua íntegro durante a utilização. Como os projetistas poderão utilizar o modelo diversas vezes durante as atividades, é preciso verificar se o modelo se mantém funcional mesmo após algum tempo de uso.

Caso o modelo não execute corretamente a função do sistema análogo, deve-se identificar onde está o problema e retornar para a Atividade 3, refazendo o projeto para a correção do problema. Se o modelo não se manter em condição de funcionamento após os testes, deve-se retornar para a Tarefa 3.3 e definir outros materiais para a fabricação das peças, em função do tipo de avaria percebida durante a utilização.

As demonstrações de como os modelos representam o funcionamento dos sistemas de referência são apresentadas na Figura 4.12, para o modelo da Cinesina-1, e na Figura 4.13, para o modelo dos Espinhos do Ouriço Europeu.

Figura 4.12 - Demonstração do funcionamento do modelo da Cinesina-1 e em b) do espinho do Ouriço Europeu.

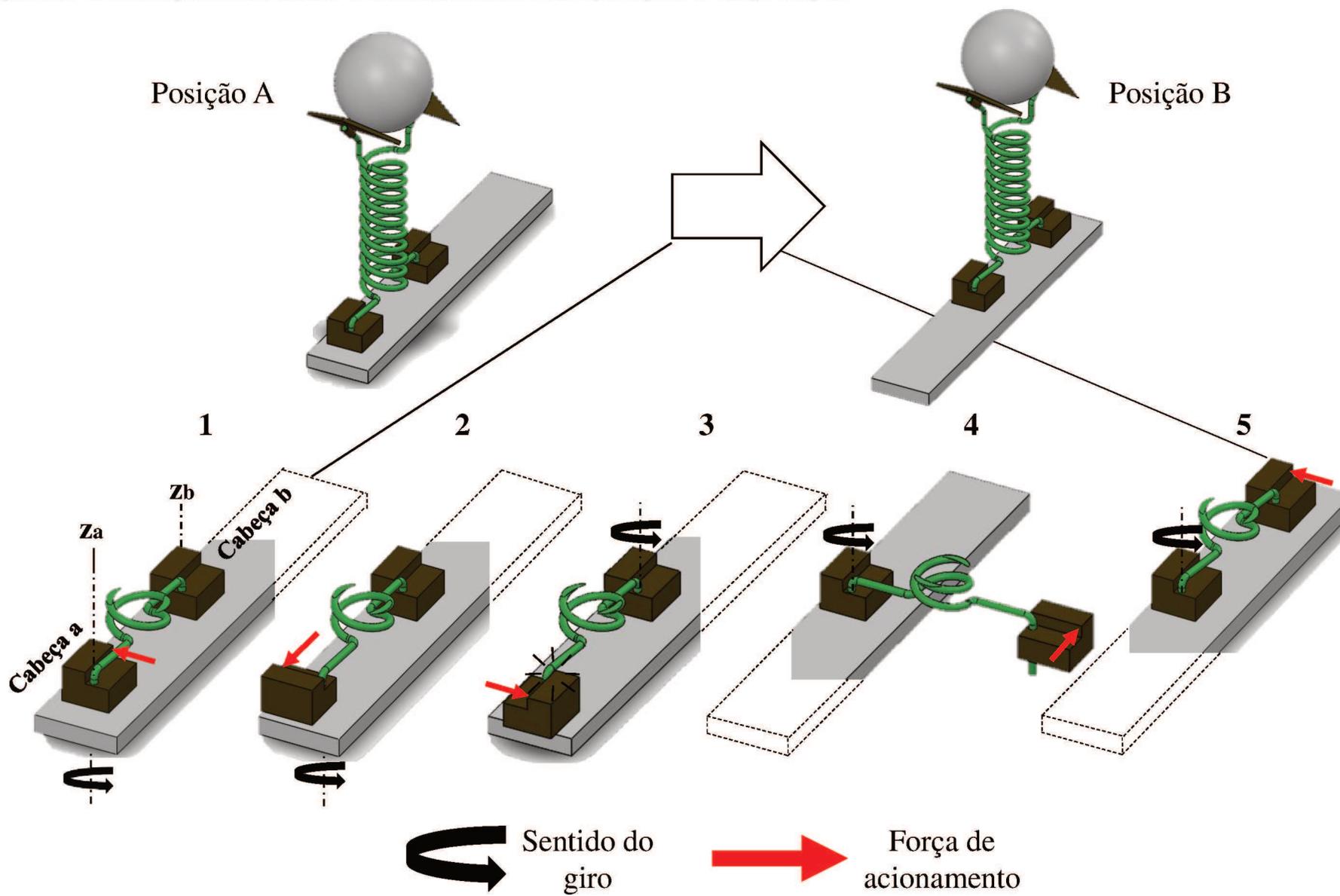
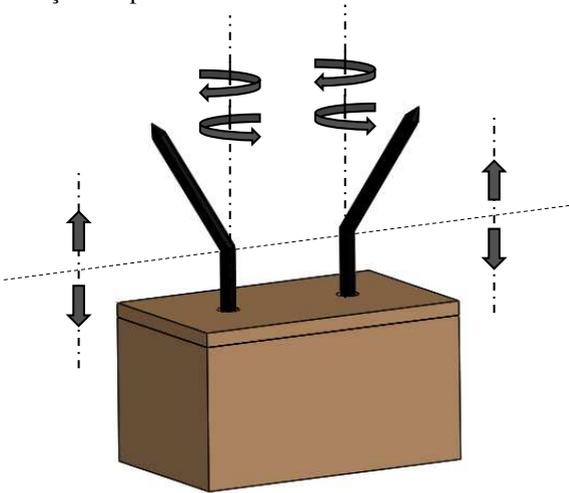


Figura 4.13 - Demonstração do funcionamento do modelo dos Espinhos do Ouriço Europeu.



O modelo da Cinesina-1 possui dois graus de liberdade de movimento, podendo girar sobre os eixos  $z_a$  e  $z_b$ . O movimento ocorre pela aplicação de uma força na cabeça a, fazendo-a girar no sentido apresentado em 1 e 2. Quando a cabeça a chega na posição apresentada em 3, o cabo de energia restringe o seu movimento de giro, de maneira que agora o modelo só possui liberdade para girar no eixo  $z_b$ . Seguindo a aplicação da força na cabeça a, acontece um efeito de alavanca, que vai promover o giro do modelo como mostra a imagem 4. O movimento é finalizado quando o modelo chega na posição da imagem 5, tendo avançado sobre a placa.

O modelo do espinho do Ouriço Europeu possui os graus de liberdade de movimento apresentados em b). Cada espinho pode girar e se mover linearmente sobre o eixo mostrado, nos dois sentidos. Pelas combinações possíveis, é alcançado o movimento em diversas direções.

Para os modelos da Cinesina-1 e do Espinho do Ouriço Europeu, tanto a execução da função análoga como a avaliação da integridade dos modelos foram satisfatórias.

Ao final, os modelos físicos que foram validados pelos testes podem ser utilizados pelos projetistas nas sessões de ideação, ou as suas definições podem orientar a construção de mais unidades dos mesmos modelos, caso seja necessário.

## 4.2 ESTRUTURA DA AVALIAÇÃO DOS MODELOS FÍSICOS COMO ESTIMULADORES À CRIATIVIDADE

A fim de verificar a eficácia dos modelos físicos como estimuladores à criatividade, elaborados com base na sistemática apresentada na seção 4.1, é proposto um experimento, com as tarefas mostradas na Figura 4.14.

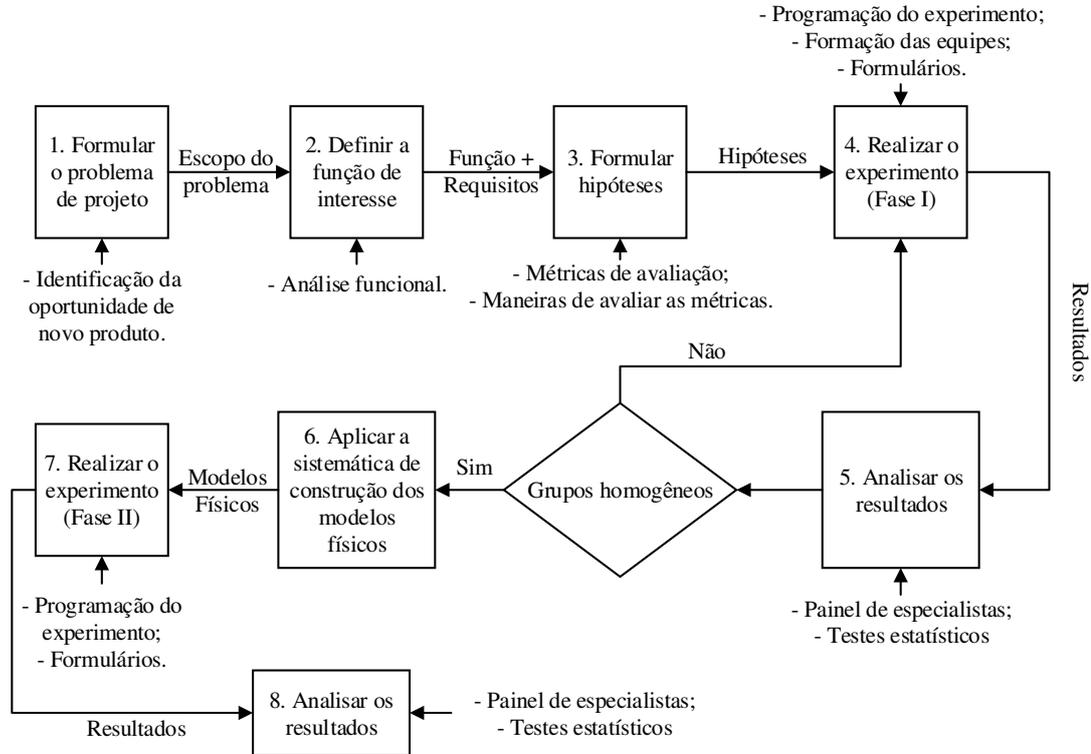
A avaliação dos modelos físicos começa com a formulação de um problema de projeto (Tarefa 1), que deve se encontrar dentro do escopo de desenvolvimento de produtos. Os problemas propostos são resultados da identificação de oportunidades de novos produtos. No Quadro 4.8 são apresentados os dois problemas definidos para o experimento, que serão aplicados nas fases I e II do experimento, respectivamente.

Quadro 4.8 - Problemas de projeto de produtos.

<b>Problema 1 (P1)</b>	A laranja foi a fruta mais comercializada no Brasil no primeiro trimestre de 2018 <sup>2</sup> . Costumeiramente, a fruta é consumida sem casca, tendo a sua total remoção em certos casos. Além disso, a grande gama de aplicações da fruta, como em bolos, doces, sucos, etc., demanda que exista uma maneira fácil de remover a casca, principalmente para o consumo em grandes quantidades. Portanto, o produto a ser desenvolvido é um descascador de laranjas, com os requisitos de suportar qualquer tamanho de fruta, atuar em toda superfície da fruta e se fácil de utilizar.
<b>Problema 2 (P2)</b>	Usuários de cadeiras de rodas demandam que as cadeiras apresentem um sistema que facilite a transferência entre cama e cadeira, facilitando o seu dia a dia e o das pessoas que auxiliam no cuidado. Essa inovação proporciona mais autonomia a quem utiliza e também previne possíveis problemas ocasionados pela transferência manual, tanto do usuário quanto do cuidador (DICIANNO, 2018). Portanto, o produto a ser desenvolvido é uma cadeira de rodas que facilite a transferência do usuário da cama para cadeira, e vice-versa. Os requisitos são diminuir esforços de paciente e cuidador e proporcionar conforto e segurança.

<sup>2</sup> Fonte: Disponível em: <<https://sfagro.uol.com.br/20-frutas-mais-comercializadas-2018/>> Acesso em: 14 Setembro 2018

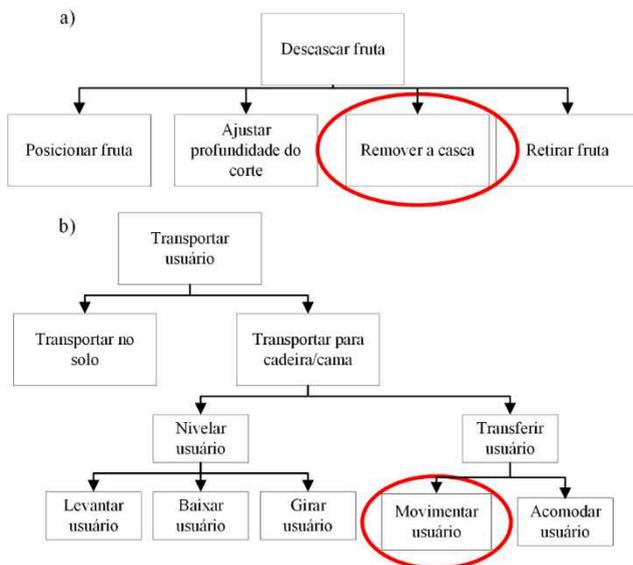
Figura 4.14 - Tarefas para avaliação dos modelos físicos como estimuladores à criatividade.



Na Tarefa 2 é feita a síntese funcional dos problemas, identificando as funções global, parciais e elementares do produto. Após a análise funcional, define-se qual função demanda uma solução inovadora, que será a função de interesse para o processo de ideação, podendo estar relacionada à um diferencial do produto em relação aos concorrentes, inovações tecnológicas, diminuição de custos, etc. As sínteses funcionais dos problemas apresentados no Quadro 4.8, com a identificação das funções de interesse, são mostradas na Figura 4.15.

Então, a avaliação da eficácia dos modelos físicos como estimuladores à criatividade é feita a partir das métricas de avaliação, e suas hipóteses, conforme a Tarefa 3. Serão utilizadas as métricas novidade e utilidade, baseadas no trabalho de Sarkar e Chakrabarti (2011), que as sugere para medir a criatividade de ideias, e a métrica exequibilidade da solução, proposta neste trabalho para avaliar os modelos físicos como um estimulador capaz facilitar o entendimento da fonte de analogia e proporcionar soluções com maior potencial de implementação.

Figura 4.15 - Sínteses funcionais dos problemas. Em a) do descascador de laranjas e em b) da cadeira de rodas.



A avaliação dos modelos físicos como estimuladores será feita por meio das ideias geradas durante uma sessão de *brainstorming*, utilizando o estimulador como auxílio à geração de ideias. Este método foi escolhido

por ser tradicional e capaz de auxiliar na solução de diversos tipos de problemas, como foi revisado no Capítulo 2.

Cropley (2016) trata o ambiente como um fator que influencia na criatividade. Por isso, como ambiente de projeto será enriquecido com as informações dos modelos físicos, as ideias geradas tendem a ser mais criativas em comparação com um ambiente que não utilize estímulos. Portanto, para mitigar a influência do ambiente nos resultados, deve-se comparar as ideias geradas utilizando os modelos físicos como estimuladores à criatividade com as ideias geradas utilizando outro tipo de estimulador. Assim, os dois ambientes apresentam semelhança de informações adicionais aos projetistas, permitindo que a existência de melhores soluções possa ser atribuída ao tipo de estimulador, e não às configurações do método de criatividade adotado.

O estimulador a ser comparado com os modelos físicos será o cartão informativo, aplicado nos trabalhos de Messerschmidt (2018), Boetler (2017) e Fernandes (2018), os quais obtiveram bons resultados dentro do escopo de aplicação de cada um. Estes cartões apresentam informações sobre determinado sistema, que tem potencial de estimular melhores soluções para o tipo de problema sendo resolvido. Os cartões utilizados nas duas fases do experimento são apresentados no Apêndice C. No experimento para avaliar os modelos físicos, tanto o cartão quanto o modelo devem ser desenvolvidos a partir do mesmo sistema biológico, preservando o tipo de informação que cada estimulador pode apresentar aos projetistas.

#### 4.2.1 Métricas de Avaliação

A avaliação das soluções geradas, sob as métricas utilidade, novidade e exequibilidade da solução, é realizada por um painel de especialistas em desenvolvimento de produtos, com base nas definições a seguir:

- **Utilidade:** Neste trabalho, o valor da métrica é obtido pela contagem das funções presentes em cada ideia, sendo definida pela Equação 1, em que  $UT$  – utilidade;  $f$  – funções presentes em cada ideia. Os trabalhos de Boetler (2017) e Fernandes (2016) avaliam a utilidade da mesma maneira, considerando que quanto mais funções existirem, maior é o potencial da ideia atender os requisitos, aumentando o seu valor agregado e a sua utilidade.

$$UT = \sum f \quad (1)$$

- **Novidade:** Essa métrica é avaliada pela novidade das características da ideia, conforme sugerem Boetler (2017), Fernandes (2016) e Sarkar e Chakrabarti (2011), utilizando valores de 0 – nenhuma novidade e 1 – ideia nova. Para evitar a influência da quantidade de características por ideia, o resultado desta métrica é obtido pela razão entre o número de características novas pelo número total de características. A Equação 2 apresenta como deve ser calculado o valor da métrica, sendo: NOV – Novidade da ideia; ca – características novas da ideia; Nc – Número total de características.

$$NOV = \frac{\sum ca}{Nc} \quad (2)$$

- **Exequibilidade da Solução:** A definição desta métrica parte do princípio que, pela capacidade dos modelos físicos em facilitar o entendimento da fonte de analogia, as soluções propostas devem estar mais próximas de um sistema técnico implementável, facilitando a execução da ideia na sequência do projeto. Assim, pode-se avaliar esta métrica pelos riscos ao projeto, ou seja, uma solução com maior exequibilidade significa uma solução com menos riscos de desenvolvimento.

Portanto, a métrica será avaliada sob três parâmetros, baseados nos trabalhos de Grubisic (2009) e Grubisic e Ogliari (2016), que citam como fatores de risco para as concepções do projeto conceitual, dentre outros, os seguintes: a - Quantidade de informações da concepção; b - Maturidade da Tecnologia; c - Consideração das funções relevantes.

a) Quantidade de informações: trata da completude das informações da concepção, em que é preciso avaliar se, com o que foi exposto na ideia, é possível entender completamente a concepção, analisando seus componentes, tecnologias aplicadas e o comportamento da solução. A escala de avaliação é a seguinte:

- 0 – Informações incompletas;
- 1 – Completas em parte;
- 2 – Informações completas.

b) Maturidade tecnológica: está relacionada ao tipo de tecnologia que é empregada na solução, avaliando o risco envolvido na sua aplicação, dentro do contexto do sistema. Essa análise é baseada em cinco cenários, definidos a partir do trabalho de Firmino (2007), sendo eles:

- 0 – Impossível avaliar a tecnologia;
- 1 – Tecnologia obsoleta no mercado;
- 2 – Tecnologia nova, com grande complexidade e risco de falha;

3 – Tecnologia nova, com grande expectativa de sucesso;

4 – Tecnologia madura no mercado, disponível e com aprovação do mesmo.

Nesta escala, a melhor avaliação da tecnologia acontece no maior nível, pois os riscos de insucesso da solução, neste caso, são os menores.

c) Funções relevantes: avalia se a ideia apresenta todas as funções relevantes para o funcionamento do sistema proposto. A ausência de alguma dessas funções dificulta, ou inviabiliza, o desenvolvimento, diminuindo a exequibilidade da solução. Essa métrica é avaliada pela seguinte escala:

0 – Não considera as funções relevantes;

1 – Considera em partes;

2 – Considera completamente.

Estes três parâmetros possuem importância diferente à exequibilidade da solução, pois é considerado que a quantidade de informações é mais importante que a tecnologia empregada, que por sua vez tem influência maior no resultado do que a consideração das funções relevantes. Justificam-se estas considerações pelo fato de que, com as informações necessárias, é mais fácil implementar as soluções. Além disso, dentro de um contexto de inovação, é mais importante o tipo de tecnologia empregada do que as funções relevantes serem tratadas ou não, pois ainda existe a possibilidade de corrigir o escopo da solução em fases seguintes do projeto.

Então, para evitar distorções no resultado, atribuem-se pesos diferentes a cada um dos parâmetros, definidos pelo Quadro 4.9, em que é apresentada uma matriz de comparação aos pares, que compara o nível de importância do parâmetro para a exequibilidade da solução, com a seguinte escala de avaliação:

1 – Igual importância;

2 – Menor importância;

3 – Maior importância.

Quadro 4.9 - Matriz de comparação dos parâmetros avaliados para a Exequibilidade da Solução.

	Informações	Tecnologia	Funções	Soma	Peso
Informações	1	5	5	11	41%
Tecnologia	3	1	5	9	33%
Funções	3	3	1	7	26%
<b>Total</b>				<b>27</b>	

Portanto, o valor da Exequibilidade da Solução é obtido pela Equação 3, em que EXE – Exequibilidade da solução; QInfo – Quantidade de Informações; Tec – Maturidade da tecnologia; Func – Funções Relevantes.

$$EXE = (0,41 \times QInfo) + (0,33 \times Tec) + (0,26 \times Func) \quad (3)$$

Para facilitar a avaliação das métricas, o formulário de respostas disponibilizado no experimento contém campos específicos de preenchimento, destinados ao desenho da ideia, suas funções e as características.

#### **4.2.2 Análise Estatística**

A definição das métricas e as hipóteses para cada uma são apresentadas no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 – Métricas e Hipóteses para o experimento com os modelos físicos.

<b>Métrica</b>	<b>Definição</b>	<b>Hipótese alternativa</b>	<b>Justificativa</b>
Utilidade	Avalia o quão útil é a ideia, dentro do contexto que ela se insere.	As ideias geradas no <i>brainstorming</i> utilizando modelos físicos possuem mais utilidade comparando com as ideias geradas utilizando cartões informativos.	A manipulação das peças do modelo e a facilitação do entendimento da fonte de analogia proporcionada pelo modelo tendem a gerar ideias com maior número de funções (HESS; SUMMERS, 2014; LEMONS et al., 2010)
Novidade	Avalia a novidade das características da ideia, dentro do contexto do problema de projeto.	As ideias geradas no <i>brainstorming</i> utilizando modelos físicos possuem maior novidade comparando com as ideias geradas utilizando cartões informativos.	Fontes de analogia pertencentes a domínios distantes estimulam soluções mais criativas. Como os modelos facilitam o entendimento das informações, e ajudam a mitigar a fixação funcional, as ideias tendem a ser mais novas. (LEMONS et al., 2010; VISWANATHAN et al., 2014)
Exequibilidade da Solução	Avalia o quão exequível é a ideia, com base na quantidade de informações existentes, a tecnologia proposta e a consideração das funções relevantes para o funcionamento do sistema.	As ideias geradas no <i>brainstorming</i> utilizando modelos físicos são mais exequíveis comparando com as ideias geradas utilizando cartões informativos.	Os modelos físicos facilitam a comunicação da equipe e o aprendizado sobre a fonte de analogia, o que tende a gerar soluções mais corretas e, portanto, mais fáceis de serem executadas. (GERBER; CARROLL, 2012; YOUMANS, 2011).

A verificação das hipóteses do Quadro 4.10 é feita com testes estatísticos, escolhidos pelos critérios apresentados no Quadro 4.11.

Quadro 4.11 - Critérios para uso dos testes estatísticos.

Variáveis Independentes	Variáveis dependentes	Distribuição*	Teste Estatístico
1	1	Normal	Teste t
1 ou mais			Análise de Variância (ANOVA)
1	1	Não Normal	Teste U de Mann-Whitney
* Realização do teste de Anderson-Darling para verificação da normalidade da amostra.			

Fonte: Adaptado de Creswell (2009)

Primeiramente, verifica-se se os dados das amostras com os resultados das métricas utilidade, novidade e exequibilidade da solução possuem uma distribuição normal, utilizando a estatística de Anderson-Darling. Então, escolhe-se o teste de hipótese estatístico que melhor se adequa à característica de cada amostra.

Se os dados possuem distribuição normal e mesmo tamanho de amostra, aplica-se o Teste t, quando existir apenas uma variável independente; ou a Análise de variância (ANOVA), se existirem uma ou mais variáveis independentes. Caso os dados não possuam distribuição normal, utiliza-se o Teste U de Mann-Whitney, indicado para populações não paramétricas. Para todos os testes estatísticos, adota-se o nível de significância igual a 0,05 (CRESWELL, 2009).

### 4.2.3 Programação do Experimento

O experimento foi realizado em uma turma de Metodologia de Projeto, do 4º semestre de engenharia mecânica, da Universidade Federal de Santa Catarina, em dois dias. A turma foi disposta em equipes de 3 alunos, distribuídos aleatoriamente, totalizando 14 equipes. O total de equipes foi dividido em dois grupos, um de teste e um de controle. O grupo de teste realizou as atividades de ideação por meio de um *Brainstorming* assistido pelos modelos físicos (BRm), enquanto o grupo de controle fez o mesmo através de um *Brainstorming* assistido por cartões informativos (BRc). São dois dias de ideação, com dois problemas diferentes,

apresentados no Quadro 4.8, em que o tipo de estímulo em cada dia é apresentado no Quadro 4.12.

Quadro 4.12 - Estrutura dos grupos para o experimento.

		<b>Grupo A</b>	<b>Grupo B</b>
Dia 1	<b>Problema 1</b>	BRc	BRc
Dia 2	<b>Problema 2</b>	BRm	BRc

No primeiro dia do experimento foi desenvolvida a Tarefa 4 da Figura 4.14 (conforme a programação do Quadro 4.13), em que os dois grupos de alunos trabalharam com o mesmo tipo de estimulador, os cartões informativos. Como o sorteio dos grupos foi feito de forma aleatória, e o estímulo era igual aos dois, esperava-se que nenhum grupo obtivesse resultados significativamente diferentes, verificando-se a homogeneidade entre eles na Tarefa 5. Caso ocorresse diferença, ela seria atribuída exclusivamente ao arranjo dos participantes, tendo que ser realizado um novo sorteio aleatório para a formação de novos grupos, retornando à Tarefa 4. Esta avaliação foi feita com as métricas do Quadro 4.10, utilizando os testes estatísticos definidos no Quadro 4.11.

Confirmada a homogeneidade entre os grupos, parte-se para a Tarefa 6, em que foram construídos os modelos físicos para o experimento. Cada equipe do Grupo A recebeu um modelo da Cinesina-1 e um dos Espinhos do Ouriço Europeu, iguais aos apresentados na Figura 4.11.

No segundo dia de experimento foi desenvolvida a Tarefa 7, conforme a programação do Quadro 4.13. Ao final, os resultados foram avaliados na Tarefa 8, utilizando as métricas do Quadro 4.10 e os testes definidos no Quadro 4.11, igualmente ao realizado na Fase I do experimento.

Quadro 4.13 - Programação das atividades do experimento.

<b>Programação do experimento</b>			
Dia 1 (Fase I)		Dia 2 (Fase II)	
<b>Atividade</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Atividade</b>	<b>Tempo (min)</b>
Sorteio e preparação das equipes	10	Apresentação do problema	5
Apresentação do problema	5	Apresentação dos estimuladores	10

Continua

<b>Programação do experimento</b>			
Apresentação dos estimuladores	10	Interação com o estimulador <b>Grupo A:</b> Modelos Físicos; <b>Grupo B:</b> Cartões.	10
Interação com o estimulador <b>Grupo A:</b> Cartões; <b>Grupo B:</b> Cartões.	10	Realização do <i>Brainstorming</i>	45
Realização do <i>Brainstorming</i>	45	Aplicação de um questionário ao Grupo A	10

A atividade Interação com o estimulador é destinada a utilização dos modelos físicos, quando for o caso. Nesse período, os participantes poderiam montar, desmontar e testar os modelos, para entender a função da fonte de analogia representada e a maneira pela qual ela era atingida. No caso do *brainstorming* assistido por cartões informativos, este período foi de leitura e entendimento das informações.

Importante ressaltar que, durante o período de realização do *brainstorming*, os participantes dos dois grupos tinham à disposição os estimuladores no seu formato correspondente, para utilizarem da maneira como achassem conveniente. Assim, o tempo destinado a interação com os estimuladores antes da ideação visava familiarizar os participantes com o material, sendo livre a sua utilização durante todo o período restante.

Ao final do segundo dia de experimentos foi aplicado um questionário, com objetivo de obter uma avaliação qualitativa sobre a percepção dos participantes com relação ao experimento, verificando como eles compreenderam a influência dos estimuladores nas soluções propostas e nas atividades de projeto. Nesse espaço também eram permitidos livres comentários e críticas, identificando pontos de melhoria no processo.

Nos dois dias de experimento cada equipe recebeu os instrumentos de trabalho, que são: um documento com a contextualização do problema de projeto e a atividade que deveria ser desenvolvida no dia, os respectivos estimuladores, mais um conjunto de formulários para registro das ideias. Na Fase II do experimento, cada participante do grupo A recebeu uma folha com o questionário.

## 4.3 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DOS MODELOS FÍSICOS COMO ESTIMULADORES À CRIATIVIDADE

### 4.3.1 Processo de Avaliação das soluções geradas

As ideias foram avaliadas por um painel de três especialistas em projeto de sistemas mecânicos, como sugere Sarkar e Chakrabarti (2011). O perfil dos especialistas é apresentado no Quadro 4.14.

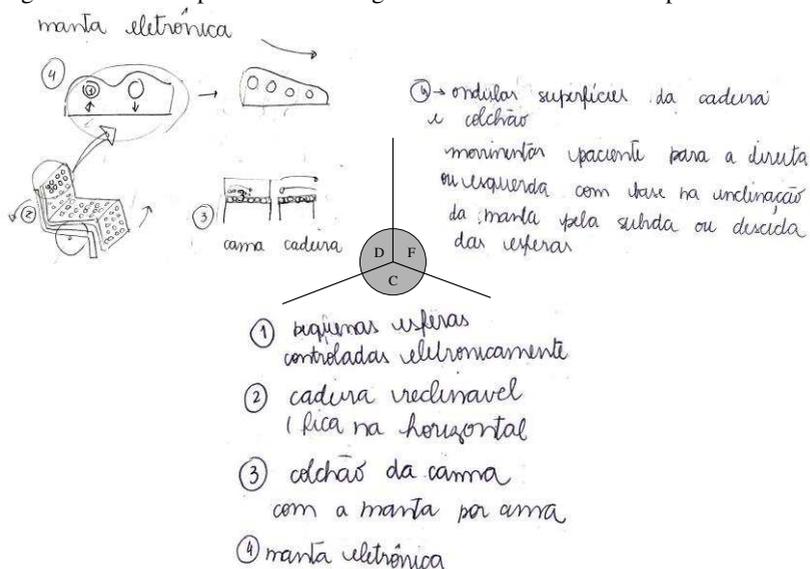
Quadro 4.14 - Perfil dos avaliadores.

<b>Especialista</b>	<b>Perfil</b>
Especialista 1	Engenheiro mecânico, com 2 anos de experiência em projetos de sistemas mecânicos
Especialista 2	Mestre em engenharia mecânica, com 5 anos de experiência em projeto de sistemas mecânicos
Especialista 3	Engenheiro mecânico, com experiência em projeto de sistemas mecânicos.

A Figura 4.16 apresenta um exemplo de ideia gerada, para o problema 2, durante o experimento. Como se observa, a descrição da ideia apresenta quatro funções no campo correspondente (F), que são “Ondular a superfície da cadeira”, “Ondular a superfície do colchão”, “Movimentar paciente” e “Inclinar a manta”. Esta última função não está na forma de um verbo + substantivo, mas indica uma ação que deve ser realizada pelo sistema para movimentar o usuário, o que se encaixa na categoria de funções.

A métrica novidade avalia se as características propostas (campo C) são novas para o tipo de produto que está sendo desenvolvido, pontuando de acordo com o que foi apresentado na seção 4.2.1. Considera-se que as esferas eletrônicas, o conjunto da cama com a manta e a própria manta eletrônica são características que não existem em produtos similares, o que resulta em 3 características novas de um total de 4. Portanto, para a ideia apresentada na Figura 4.16, o valor da novidade é igual a 0,75.

Figura 4.16 - Exemplo de uma ideia gerada em um dos dias do experimento.



Com relação a exequibilidade da solução, considera-se que é possível entender completamente o sistema que foi proposto e como é o seu funcionamento, o que resulta em uma avaliação igual a 2 para o parâmetro Quantidade de informações. Considerando as tecnologias existentes no mercado e o potencial de sucesso da ideia apresentada na Figura 4.16, existem grandes chances de sucesso caso a tecnologia proposta seja implementada, por se tratar de um sistema compacto, com movimento suave e capaz de ser empregado em diversas configurações de cadeira de rodas. Por isso, a pontuação para o parâmetro Maturidade Tecnológica é igual a 3. Por fim, a descrição não aborda uma função relacionada a nivelar a cadeira de rodas com a altura da cama, o que parece ser fundamental para permitir a movimentação do paciente de um lugar para o outro. Em função disto, a avaliação para o parâmetro Funções relevantes é igual a 1. Com as três análises (2, 3 e 1), aplicando os valores na equação 3, o valor da métrica Exequibilidade da Solução é igual a 2,07.

### 4.3.2 Avaliação da homogeneidade entre os grupos

Os instrumentos utilizados nesta fase do experimento são apresentados no Apêndice D.

A Tabela 4.1 apresenta os resultados dos testes de normalidade de Anderson-Darling para as três métricas, de cada um dos especialistas, com os correspondentes testes estatísticos indicados.

Tabela 4.1 - Teste de normalidade Anderson-Darling dos dados para as métricas utilidade, novidade e exequibilidade das soluções, dos três especialistas, na fase I do experimento.

		Especialista					
		1		2		3	
Métrica	Grupo	p	Teste indicado	p	Teste indicado	p	Teste indicado
UT	A	<0,005	Teste U de Mann Whitney	<0,005	Teste U de Mann Whitney	<0,005	Teste U de Mann Whitney
UT	B	<0,005		<0,005		<0,005	
NOV	A	0,15	Teste t	<0,005	Teste U de Mann Whitney	0,058	Teste t
NOV	B	0,204		0,033		0,12	
EXE	A	0,025	Teste U de Mann Whitney	0,287	Teste U de Mann Whitney	<0,005	Teste U de Mann Whitney
EXE	B	0,019		0,017		0,009	

**Legenda:** UT – Utilidade (Número de funções);

NOV – Novidade

EXE – Exequibilidade das soluções;

A – Grupo trabalhou com cartões informativos;

B – Grupo trabalhou com cartões informativos;

p – Valor-p.

Os resultados das avaliações de cada uma das ideias, por cada um dos especialistas, na fase I do experimento de avaliação dos modelos físicos são apresentados no Apêndice E, na Tabela E.1, Tabela E.2 e Tabela E.3. Como pode ser visto, o número funções por ideia é igual nas três avaliações, pois esta avaliação foi realizada em conjunto pelos especialistas, para que houvesse um consenso sobre o que, na descrição da ideia, deveria ser considerado como uma função do sistema proposto. Portanto, o resultado da métrica Utilidade é igual nas três avaliações. Esta abordagem também foi realizada para os resultados da segunda fase do experimento.

A análise estatística para verificação da hipótese relacionada à métrica de utilidade, é apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Análise estatística da métrica utilidade, na fase I do experimento.

Métrica	Teste estatístico	Hipótese nula	Valor-p	Análise do resultado
Utilidade	Teste U de Mann Whitney	Mediana da utilidade das ideias dos dois grupos é igual	0,4464	Aceita a hipótese nula. Não existe diferença significativa na utilidade das ideias geradas pelos dois grupos.

As análises estatísticas das avaliações dos três especialistas, para verificação das hipóteses das métricas Novidade e Exequibilidade da solução, são apresentadas na Tabela 4.3 e Tabela 4.4, respectivamente.

Tabela 4.3 - Análise estatística da métrica novidade, na fase I do experimento.

Hipótese nula	Valor-p	Análise do resultado
<b>Especialista 1 (Teste t)</b>		
Média dos dois grupos é igual	0,626	Aceita a hipótese nula. Não existe diferença significativa na novidade das ideias entre os dois grupos.
<b>Especialista 2 (Teste U de Mann Whitney)</b>		
Mediana dos dois grupos é igual	0,9647	Aceita a hipótese nula. Não existe diferença significativa na novidade das ideias entre os dois grupos.
<b>Especialista 3 (Teste t)</b>		
Media dos dois grupos é igual	0,494	Aceita a hipótese nula. Não existe diferença significativa na novidade das ideias entre os dois grupos.

Tabela 4.4 - Análise estatística da métrica exequibilidade da solução, na fase I do experimento.

Hipótese nula	Valor-p	Análise do resultado
<b>Especialista 1 (Teste U de Mann Whitney)</b>		
Mediana dos dois grupos é igual	0,8828	Aceita a hipótese nula. Não existe diferença significativa na exequibilidade da solução entre os dois grupos.

Continua

Hipótese nula	Valor-p	Análise do resultado
<b>Especialista 2 (Teste U de Mann Whitney)</b>		
Mediana dos dois grupos é igual	0,1328	Aceita a hipótese nula. Não existe diferença significativa na exequibilidade da solução entre os dois grupos.
<b>Especialista 3 (Teste t)</b>		
Media dos dois grupos é igual	0,787	Aceita a hipótese nula. Não existe diferença significativa na exequibilidade da solução entre os dois grupos.

A avaliação dos três especialistas comprovou a homogeneidade entre os dois grupos, sendo mantida a configuração dos participantes para a segunda fase do experimento.

### 4.3.3 Avaliação dos modelos físicos como estimuladores à criatividade

Os instrumentos utilizados nesta fase do experimento são apresentados no Apêndice F.

Os resultados das avaliações de cada uma das ideias, por cada um dos especialistas, na segunda fase do experimento de avaliação dos modelos físicos, são apresentados no Apêndice G, na Tabela G.1, Tabela G.2 e Tabela G.3.

A Figura 4.17 ilustra os participantes trabalhando com os modelos físicos.

Figura 4.17 - Participantes trabalhando com os modelos físicos.



A Tabela 4.5 apresenta os resultados dos testes de normalidade de Anderson-Darling para as três métricas avaliadas por cada especialista, com os correspondentes testes estatísticos indicados.

Tabela 4.5 - Teste de normalidade Anderson-Darling dos dados para as métricas utilidade, novidade e exequibilidade das soluções, dos três especialistas, na fase II do experimento.

		Especialista					
		1		2		3	
Métrica	Grupo	p	Teste	p	Teste	p	Teste
UT	A	<0,005	U de	<0,005	U de	<0,005	U de
UT	B	<0,005	Mann Whitney	<0,005	Mann Whitney	<0,005	Mann Whitney
NOV	A	0,09	U de	0,039	U de	0,091	Teste t
NOV	B	<0,005	Mann Whitney	<0,005	Mann Whitney	0,084	
EXE	A	<0,005	U de	<0,005	U de	<0,005	U de
EXE	B	0,056	Mann Whitney	0,155	Mann Whitney	0,068	Mann Whitney

**Legenda:** NF – Utilidade (Número de funções)

NOV – Novidade

EXE – Exequibilidade das soluções

A – Grupo que trabalhou com modelos físicos;

B – Grupo que trabalhou com cartões informativos.

p – Valor-p

A análise estatística da métrica utilidade, com base na hipótese definida no Quadro 4.10 é apresentada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Análise estatística da métrica utilidade, na fase II do experimento.

<b>Métrica</b>	<b>Teste estatístico</b>	<b>Valor-p</b>	<b>Análise do resultado</b>
Utilidade	U de Mann Whitney	0,001	Rejeita a hipótese nula. Houve aumento na utilidade das ideias usando os modelos físicos como estimuladores.

Os resultados das análises estatísticas das três avaliações dos especialistas, para a verificação da hipótese relacionada a novidade das soluções, são mostrados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Análise estatística da métrica novidade, na fase II do experimento.

<b>Hipótese nula</b>	<b>Valor-p</b>	<b>Análise do resultado</b>
<b>Especialista 1 (Teste U de Mann Whitney)</b>		
Mediana dos dois grupos é igual	0,0029	Rejeita a hipótese nula. Houve aumento na novidade das ideias usando modelos físicos como estimuladores.
<b>Especialista 2 (Teste U de Mann Whitney)</b>		
Mediana dos dois grupos é igual	0,0011	Rejeita a hipótese nula. Houve aumento na novidade das ideias usando modelos físicos como estimuladores.
<b>Especialista 3 (Teste t)</b>		
Media dos dois grupos é igual	0,121	Aceita a hipótese nula. Não existe diferença significativa na novidade das ideias entre o grupo que trabalhou com modelos físicos e o grupo que trabalhou com os cartões informativos.

Na Tabela 4.8 são apresentadas as três análises estatísticas, das avaliações dos especialistas, para verificação da hipótese relacionada a métrica exequibilidade da solução.

Tabela 4.8 - Análise estatística da métrica exequibilidade da solução, na fase II do experimento.

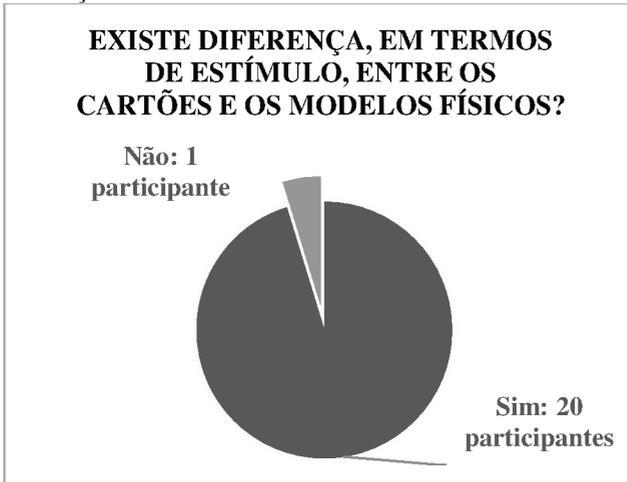
Hipótese nula	Valor-p	Análise do resultado
<b>Especialista 1</b> (Teste U de Mann Whitney)		
Mediana dos dois grupos é igual	0,0046	Rejeita a hipótese nula. Houve aumento na exequibilidade das soluções usando modelos físicos como estimuladores.
<b>Especialista 2</b> (Teste U de Mann Whitney)		
Mediana dos dois grupos é igual	0,0003	Rejeita a hipótese nula. Houve aumento na exequibilidade das soluções usando modelos físicos como estimuladores.
<b>Especialista 3</b> (Teste U de Mann Whitney)		
Mediana dos dois grupos é igual	0,0218	Rejeita a hipótese nula. Houve aumento na exequibilidade das soluções usando modelos físicos como estimuladores.

#### 4.3.4 Avaliação qualitativa sobre o uso dos modelos físicos como estimuladores à criatividade

Todas as respostas e comentários realizados no questionário são apresentados no Apêndice H, Quadro H.1.

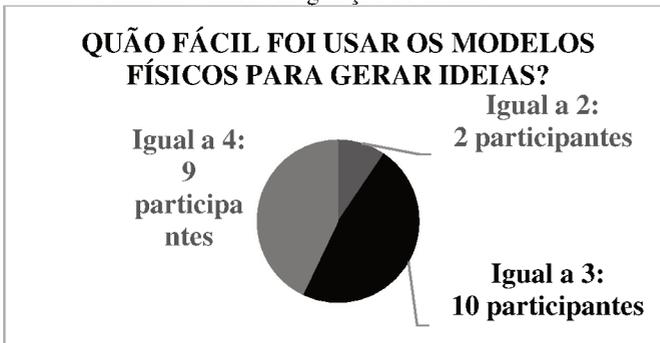
Na primeira questão, os participantes que utilizaram os modelos físicos como estimuladores avaliaram se existe diferença, em termos de estímulo, entre os cartões informativos e os modelos. As respostas dos participantes são apresentadas na Figura 4.18. A maioria dos participantes percebem que existe diferença de estímulo entre os cartões e os modelos, em que os comentários realizados evidenciam que existe um melhor entendimento da fonte de analogia quando ela é apresentada de forma física. De maneira geral, os participantes percebem os modelos físicos como uma ferramenta que facilita a comunicação, estimula mais sentidos e facilita o entendimento das informações da fonte de analogia, demonstrando os seus pontos positivos e negativos.

Figura 4.18 – Resultado da avaliação dos participantes sobre se existe uma diferença de estímulo entre os cartões e os modelos físicos.



A segunda questão perguntava o quão fácil foi utilizar os modelos físicos para gerar ideias. As respostas dos participantes são apresentadas na Figura 4.19, em que o valor 1 representa muita dificuldade em utilizar os modelos, e o valor 5 significa que houve muita facilidade.

Figura 4.19 – Resultado da avaliação dos participantes sobre a facilidade em utilizar os modelos físicos na geração de ideias.

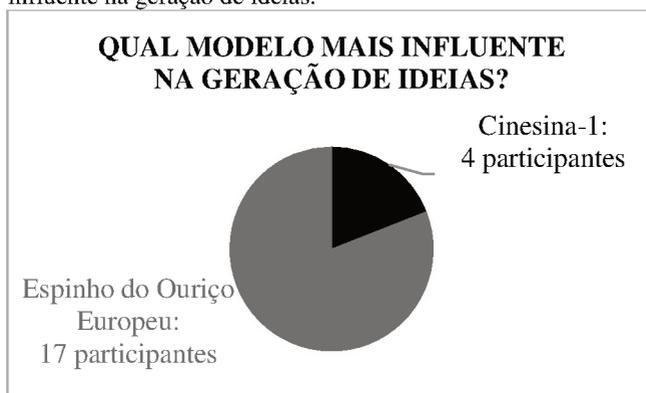


As principais dificuldades encontradas foram relacionadas a empregar as informações da fonte de analogia diretamente em uma solução para o problema e a complexidade do problema de projeto proposto. Um raciocínio analógico demanda que as informações da fonte de analogia sejam abstraídas e posteriormente utilizadas na solução do

problema, com as devidas adaptações necessárias. Empregar as informações diretamente em uma solução é complexo, pois o funcionamento dos modelos físicos é baseado em um sistema análogo, e não em uma solução para o problema, o que gera esta dificuldade aos participantes.

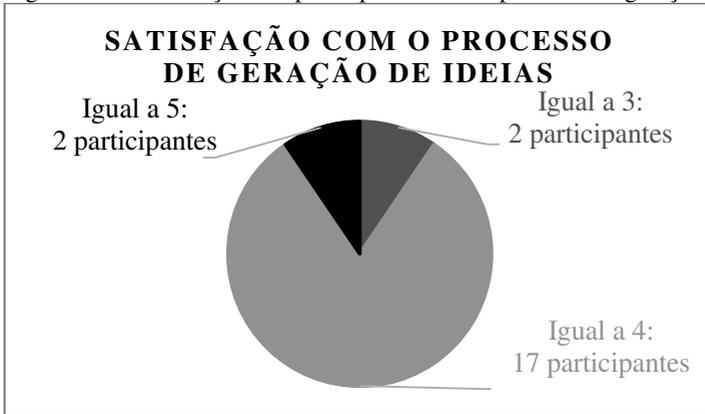
Na terceira questão, os participantes deveriam indicar qual modelo físico foi mais influente na geração das ideias. A escolha dos participantes é apresentada na Figura 4.20, em que 17 participantes consideraram o modelo do Espinho do Ouriço Europeu como mais influente nas suas soluções, enquanto 4 tiveram preferência pela Cinesina-1. Os participantes justificam, de maneira geral, que os movimentos do modelo físico dos Espinhos do Ouriço Europeu inspiravam mais soluções, pois se adequam melhor às necessidades de movimento da cadeira de rodas.

Figura 4.20 - Resultado da avaliação dos participantes sobre qual modelo foi mais influente na geração de ideias.



A quarta questão perguntava aos participantes do Grupo A qual o nível de satisfação com os resultados do processo de geração de ideias, em que o valor 1 representava estar muito insatisfeito e o valor 5 representava estar muito satisfeito. A Figura 4.21 apresenta a resposta dos participantes para esta questão, demonstrando que o resultado da geração de ideias foi satisfatório para os participantes, em que 17 apontaram estarem satisfeitos, 2 apontaram valor igual a muito satisfeitos e 2 um valor intermediário de satisfação.

Figura 4.21 - Satisfação dos participantes com o processo de geração de ideias.



### 4.3.5 Considerações finais sobre a avaliação dos Modelos Físicos

Os resultados das análises estatísticas e da avaliação dos participantes do experimento mostraram que existem vantagens ao utilizar os modelos físicos como estimuladores à criatividade, em comparação com os cartões informativos. Há evidências estatísticas de que o uso dos modelos físicos auxilia na geração de ideias mais úteis, novas e exequíveis, segundo as definições de cada métrica apresentadas neste trabalho.

Foi confirmada a hipótese da métrica utilidade, apresentada no Quadro 4.10, evidenciando que o uso de modelos físicos apoia a geração de ideias mais úteis por estimular a implementação de mais funções nas soluções. Este resultado corrobora com os conceitos revisados na literatura, que evidenciam uma maior capacidade dos projetistas identificarem funções que podem ser aplicadas nas soluções, quando manipulam objetos durante a ideação.

Além disso, conforme comentários dos participantes do experimento à primeira questão do questionário, que perguntava se existe diferença de estímulo entre os cartões informativos e os modelos físicos, evidencia-se a capacidade dos modelos em instigar um pensamento funcional, que tende a aumentar o número de funções existentes em cada ideia. Alguns destes comentários são: “Os modelos físicos permitem um melhor entendimento do funcionamento e suas limitações”; “O modelo físico instiga o indivíduo a pensar sobre possíveis formas de funcionamento e uso do elemento”; “Porque está vendo como é na prática, o real funcionamento”.

Com relação a métrica novidade, a avaliação de dois especialistas confirma a hipótese do Quadro 4.10, mostrando que o uso dos modelos físicos como estimuladores à criatividade contribui para a geração de ideias com maior novidade. Ao contrário, a avaliação de um especialista não evidencia que existe um aumento estatisticamente significativo na novidade das ideias ao utilizar os modelos físicos.

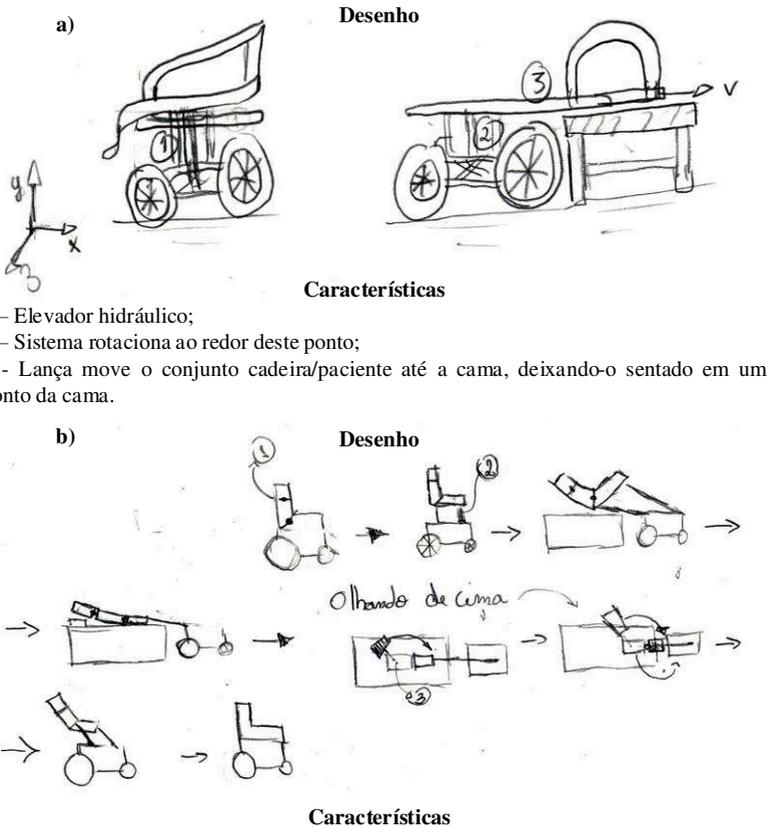
Considerando as avaliações dos dois primeiros especialistas, o aumento na novidade das ideias permite inferir sobre a capacidade dos modelos físicos de facilitar a abstração e transferência das informações do sistema análogo para as soluções propostas. Esta afirmação se justifica pois as fontes de analogia eram pertencentes a domínios de conhecimentos distantes à engenharia, que, pela revisão da literatura, estimulam soluções mais novas se bem compreendidas pelos projetistas. Ilustrando, a Figura 4.22 apresenta duas das ideias com melhor avaliação da métrica novidade, considerando as avaliações dos três especialistas, que foram geradas pelo grupo que trabalhou com modelos físicos. Estas ideias apresentam algumas das funções existentes nos modelos utilizados no experimento.

Na ideia a) é possível identificar movimentos semelhantes ao do modelo do Espinho do Ouriço Europeu nas características 2 e 3, que remetem ao movimento rotacional e vertical do espinho. Na ideia b) são identificados movimentos existentes nos dois modelos, em que a característica 2 remete ao espinho do Ouriço Europeu, que é articulado na pele do animal e permite movimentos rotacionais e lineares, e a característica 3 remete ao modelo da Cinesina-1, pois permite os movimentos de giro semelhantes ao movimento do modelo.

A maior quantidade de estímulos sensoriais adicionados à ideação, pela utilização de modelos físicos, também tem influência positiva na criatividade dos projetistas, favorecendo a geração de ideias mais novas.

Apesar do resultado contrário do especialista 3, pode-se considerar os modelos físicos como um estimulador efetivo à criatividade, pois a avaliação apresenta que a média da novidade das ideias do grupo que trabalhou com os modelos foi maior ( $x = 0,4$ ), em relação ao grupo que utilizou os cartões informativos ( $x = 0,3333$ ). Além disso, os trabalhos de Boetler (2017) e Fernandes (2016) demonstram que a utilização dos cartões informativos aumenta a novidade das ideias, quando comparados à uma sessão de *brainstorming* sem estímulo. Sendo assim, é possível inferir que os modelos físicos estimulam ideias mais novas em comparação com o método tradicional, que não possui nenhum tipo de estímulo à geração de ideias.

Figura 4.22 - Exemplo de duas das ideias com melhor avaliação da métrica novidade, geradas pelo grupo que trabalho com modelos físicos.



Foi confirmada a hipótese relacionada a métrica Exequibilidade das soluções, apresentada no Quadro 4.10, evidenciando que o uso de modelos físicos auxilia na geração de soluções mais exequíveis. Este resultado se justifica sob três aspectos. O primeiro trata das mesmas evidencias apresentadas para o aumento da métrica utilidade, pois aqueles argumentos também são válidos para explicar uma melhor consideração das funções relevantes por parte dos projetistas.

O segundo aspecto está relacionado à capacidade dos modelos físicos em facilitar o entendimento das informações do sistema análogo, evidenciado pelas ideias geradas, como foi discutido na métrica novidade,

e pelos comentários dos participantes do experimento à primeira questão do questionário, que perguntava se existe diferença de estímulo entre os cartões informativos e os modelos físicos. Alguns destes comentários são: “Os modelos físicos permitem um melhor entendimento do funcionamento e suas limitações”; “Na forma de modelo físico ficou muito mais intuitivo e prático. Dessa forma, foi mais fácil aplicar no exemplo”; “O modelo físico é muito interativo e possibilita um melhor entendimento do funcionamento. Poder visualizar algo e não somente ouvir alguém explicando”. A partir deste maior entendimento, diminuem-se as chances de uma interpretação errada do funcionamento da fonte de analogia, que poderia ser transferida para as soluções. Dessa forma, as ideias tendem a ser mais exequíveis, pois uma solução conceitualmente correta é mais fácil de ser descrita, apresenta tecnologias mais robustas e com maiores chances de sucesso.

Essa justificativa corrobora com os conceitos evidenciados na revisão da literatura, que tratam os modelos físicos como uma ferramenta capaz de demonstrar equívocos em conceitos e interpretações dos projetistas, e capaz de facilitar o aprendizado.

Por fim, o terceiro aspecto está relacionado aos modelos físicos como uma ferramenta que facilita a comunicação entre a equipe de projeto, tornando a geração de soluções mais interativa. Esta justificava é evidenciada por comentários feitos pelos participantes do experimento, também à primeira questão do questionário, como por exemplo: “Os modelos físicos facilitam a inspiração e a visão de como os estimuladores funcionam na natureza. Foi mais fácil demonstrar as ideias que surgiram dos estimuladores para outros membros da equipe”; “O modelo físico é muito interativo e possibilita um melhor entendimento do funcionamento. Poder visualizar algo e não somente ouvir alguém explicando”; “Estimuladores físicos geram maior interação e por isso sua influência foi mais notada nas soluções”. Este aspecto potencializa o trabalho em equipe, e, portanto, aumenta a qualidade geral das ideias, gerando soluções mais completas, detalhadas e criativas.

O contexto no qual o experimento foi desenvolvido era complexo para a realização de raciocínio analógico, pois os projetistas eram inexperientes e as fontes de analogia apresentadas pertenciam a domínios distantes do conhecimento deles. Então, considerando o aumento nas métricas propostas neste trabalho, evidencia-se que os projetistas conseguiram utilizar com qualidade as informações dos estimuladores. Por isso, pode-se considerar que os modelos físicos, como estimuladores à criatividade, são uma ferramenta capaz de facilitar o raciocínio

analógico, sendo úteis para homogeneizar equipes de projeto, quando se procuram soluções baseadas em analogias.

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 4

As atividades da sistemática de construção dos modelos físicos propostas guiaram o desenvolvimento de modelos que representam o funcionamento de sistemas biológicos, utilizando materiais simples e uma construção fácil.

Como resultado da aplicação dos modelos físicos em sessões de ideação, como estimuladores à criatividade, tem-se um aumento comprovado na utilidade e exequibilidade das soluções. A novidade das ideias, apesar de avaliação contrária de um especialista, também se mostra influenciada positivamente pelos modelos físicos, de maneira que eles podem ser considerados um efetivo estimulador à criatividade, sob as condições de avaliação utilizadas nesta pesquisa

A percepção dos participantes do experimento evidencia que os estimuladores na forma de modelos físicos apresentam vantagens de utilização. As opiniões apresentadas por eles sustentam que os modelos físicos facilitam a compreensão das informações da fonte de analogia e a comunicação na equipe de projeto.

Portanto, existem evidências de que utilizar modelos físicos como estimuladores à criatividade, representando fontes de analogia, potencializa a geração de soluções mais úteis, novas e exequíveis, em problemas de projeto conceitual.

## 5 SISTEMATIZAÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL DE PRODUTOS ORIENTADO POR MODELOS FÍSICOS

Neste capítulo é apresentada a sistemática com as atividades do projeto conceitual orientado por modelos físicos, como estimuladores à criatividade. Primeiramente, são apresentadas as atividades e ferramentas desenvolvidas para a fase, com o objetivo de facilitar e potencializar o uso de modelos físicos e a busca por melhores soluções conceituais. Por fim, é realizada a avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos, com relação a aplicabilidade das atividades propostas dentro do escopo do projeto conceitual.

### 5.1 PROJETO CONCEITUAL ORIENTADO POR MODELOS FÍSICOS

A fase de projeto conceitual proposta pelo modelo PRODIP (BACK et al., 2008) possui como entrada os requisitos dos usuários, resultado da fase de projeto informacional. Esta fase tem início com a síntese funcional do produto em desenvolvimento, seguido por uma sessão de *brainstorming*, para desenvolver princípios de soluções para as funções do problema. Com isso, um princípio de cada função é combinado dentro de um arranjo, gerando as concepções alternativas, para que sejam selecionadas as mais viáveis ao restante do projeto.

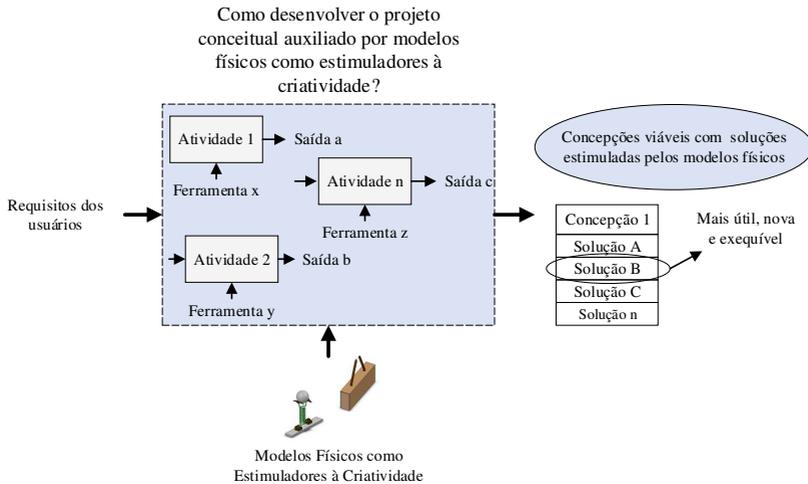
Para a construção dos modelos físicos como estimuladores à criatividade é necessário definir uma função de interesse, sendo aquela que demanda soluções mais inovadoras. Além disso, a partir do estímulo físico proporcionado, potencializa-se a geração de soluções com maior utilidade, novidade e exequibilidade, durante o projeto conceitual. Então, ao utilizar modelos físicos como estimuladores à criatividade no projeto conceitual, diminuem-se os riscos de desperdício de uma oportunidade.

Esta utilização deve partir da definição das especificações de projeto, realizadas na fase de Projeto Informacional. Então, com o desenvolvimento da estrutura funcional do produto e definição da função de interesse, é possível construir modelos físicos como estimuladores à criatividade e capacitar a equipe para utilizá-los durante as sessões criativas, melhorando as soluções conceituais e contribuindo com os resultados do projeto conceitual.

Assim, a problemática da sistemática de projeto conceitual, auxiliado por modelos físicos como estimuladores à criatividade, é apresentada na Figura 5.1. A entrada desta sistemática são os requisitos dos usuários e a saída são concepções viáveis do produto em

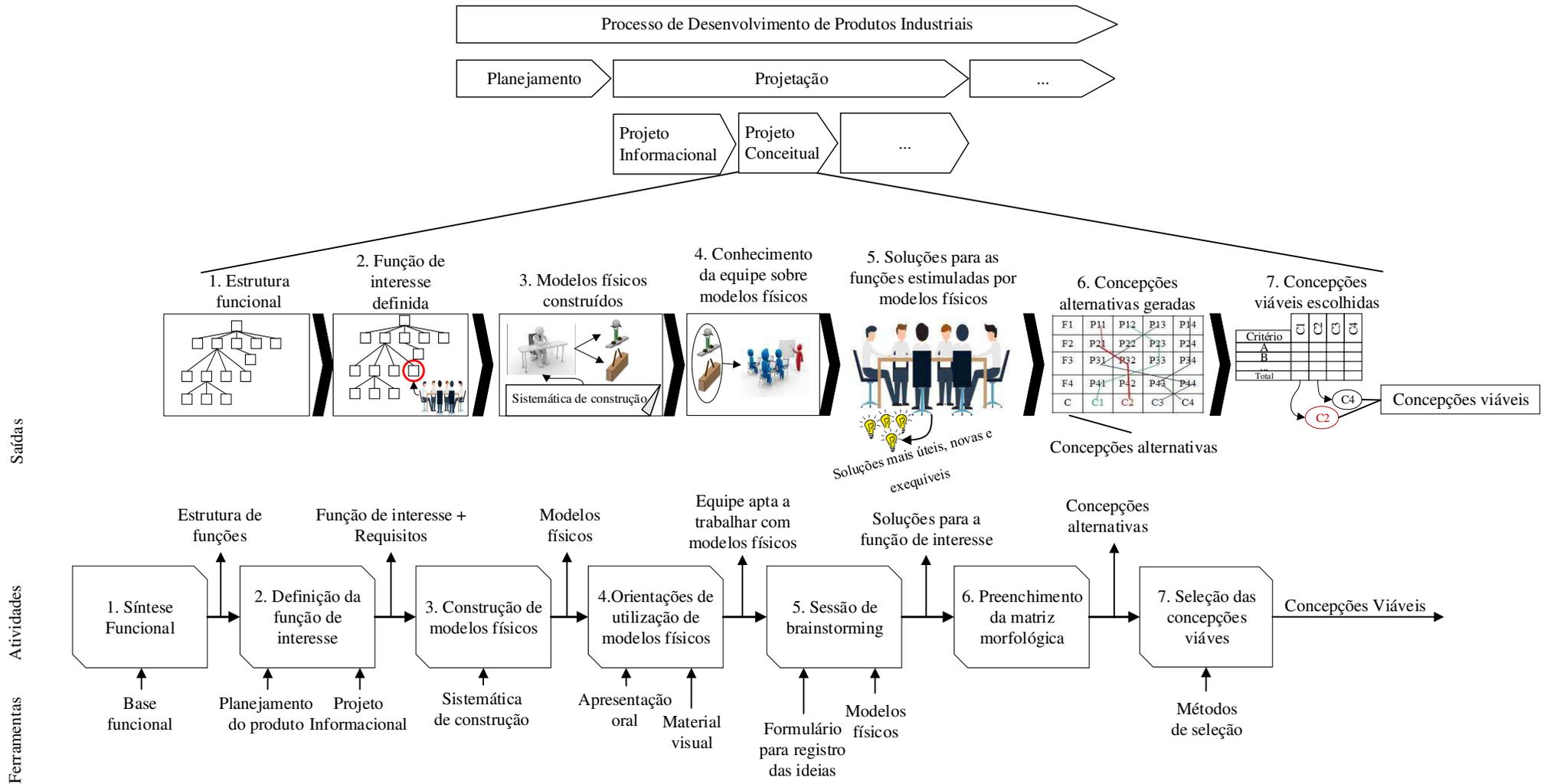
desenvolvimento, as quais possuem pelo menos uma função que foi solucionada com o estímulo de modelos físicos.

Figura 5.1 - Contextualização da problemática para o projeto conceitual.



Para responder à questão existente na Figura 5.1, são propostas as seguintes atividades, que constituem a sistemática do projeto conceitual orientado por modelos físicos como estimuladores à criatividade: 1 – Síntese funcional; 2 – Definição da função de interesse; 3 – Construção de modelos físicos; 4 – Orientações de utilização de modelos físicos; 5 – Sessão de *brainstorming*; 6 – Preenchimento da matriz morfológica; 7 – Seleção das concepções viáveis. Esta sistemática é ilustrada na Figura 5.2, apresentado as etapas e ferramentas de auxílio.

Figura 5.2 - Sequência de atividades do projeto conceitual estimulado por modelos físicos.



### 5.1.1 Atividade 1: Síntese funcional

Na primeira atividade é realizada a síntese funcional do produto em desenvolvimento. Em função desta atividade não estar no escopo do trabalho, ela segue orientações conforme a literatura, já detalhadas no capítulo 2, que são:

- 1 – Formulação da função global do problema
- 2 – Desenvolvimento da estrutura funcional do sistema
- 3 - Padronização e Representação da estrutura de funções
- 4 – Análise e seleção de estruturas funcionais alternativas

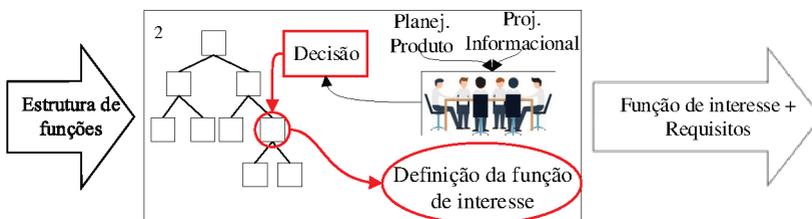
### 5.1.2 Atividade 2: Definição da função de interesse

Após a síntese funcional, deve-se definir quais funções necessitam de soluções inovadoras e, portanto, do estímulo criativo de modelos físicos. Para definir a função de interesse, utilizam-se as informações do planejamento do produto e do projeto informacional, avaliando os motivos que sustentam a oportunidade de desenvolvimento do produto, qual será o seu diferencial ao mercado, o que garante um produto atrativo aos clientes, ou por meio de um *benchmarking* competitivo com produtos concorrentes. Para a correta definição, é preciso saber quais as características necessárias para o produto obter sucesso, quais funções garantem um diferencial competitivo frente aos concorrentes, ou em qual função do produto está a oportunidade de inovação. O detalhamento da sistemática de construção de modelos físicos apresentado no capítulo 4 e os exemplos 1 e 2 do Apêndice B exemplificam, de maneira geral, como é feita esta definição.

O resultado desta atividade é a função de interesse do processo de ideação e os requisitos do produto, que são obtidos diretamente do projeto informacional, expressando que tipo de sistema deve ser desenvolvido para a função definida.

A Figura 5.3 ilustra esta atividade.

Figura 5.3 - Atividade 1: Definição da função interesse.

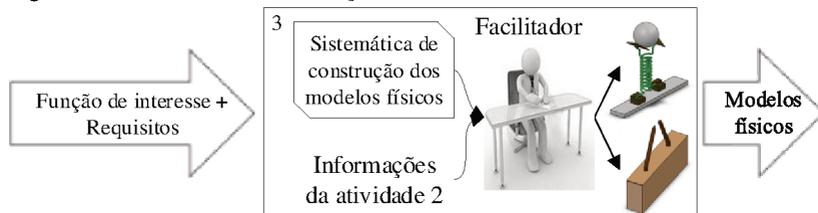


### 5.1.3 Atividade 3: Construção de modelos físicos

Os modelos físicos são construídos nesta atividade, conforme sistemática de construção dos modelos físicos, que possui as seguintes atividades: 1. Encontrar fontes de analogia; 2. Caracterizar a fonte de analogia; 3. Projetar o modelo físico; 4. Construir o modelo físico. Por meio destas atividades, o facilitador do processo de ideação deve encontrar sistemas capazes de estimular melhores soluções para a função de interesse, identificar nos sistemas análogos o que deve estar representado no modelo físico, planejar como serão as peças, relações, posicionamentos e materiais do modelo físicos para, por fim, construir e validar o modelo. A sistemática de construção dos modelos é detalhada no capítulo 4.

A Figura 5.4 ilustra a atividade

Figura 5.4 - Atividade 2: Construção de modelos físicos.



### 5.1.4 Atividade 4: Orientações de utilização de modelos físicos

Após construídos, os modelos físicos devem ser apresentados aos projetistas, antes de iniciar o processo de ideação, com o objetivo de que eles compreendam qual a função dos modelos e como eles podem contribuir na geração de ideias. Para isso, deve-se explicar quais sistemas estão sendo representados pelos modelos, qual a relação destes sistemas com problema de projeto e como é o funcionamento do modelo físico.

Então, são propostas quatro tarefas para orientar a equipe de projeto, são elas: (1) Explicar qual sistema está sendo representado no modelo físico; (2) Explicar a relação do sistema representado com o problema de projeto; (3) Demonstrar o funcionamento do modelo; (4) Familiarizar os projetistas com os modelos físicos.

A tarefa (1) deve apresentar de maneira geral qual sistema está sendo representado pelo modelo físico, com o nome do sistema e a sua função, por meio de uma apresentação com imagens.

Na tarefa (2), deve-se apresentar as características do sistema análogo que podem contribuir nas soluções do problema. Por exemplo, mostrar que o sistema exerce uma função análoga à função de interesse

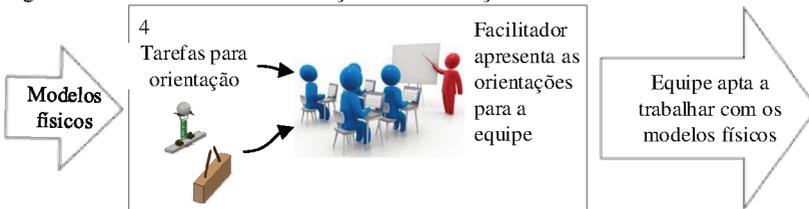
do processo de ideação, ou explicar como o sistema análogo implementa as características buscadas nas soluções. Essa tarefa estimula que os projetistas iniciem um processo de raciocínio analógico que será potencializado nas próximas tarefas e durante o período de ideação. Esta tarefa deve ser desenvolvida com auxílio de material visual, pois mantém as informações visíveis e facilita a explicação e o esclarecimento de dúvidas.

Na tarefa (3), o facilitador do processo de ideação demonstra o funcionamento dos modelos físicos, explicando as ações e comportamentos que possibilitam a execução da função análoga do sistema que está sendo representado.

Por fim, a tarefa (4) busca familiarizar os projetistas com os modelos físicos, permitindo que eles interajam com as peças, montem e desmontem os modelos e testem a sua funcionalidade. Caso algum tipo de material incomum tenha sido utilizado na construção, eles devem ser explicados nesta tarefa, pois pode haver uma distração dos projetistas da funcionalidade do modelo e um foco no material desconhecido. Nesta tarefa devem ser esclarecidas todas as dúvidas relacionadas aos modelos ou sua utilização, pois durante a sessão de ideação toda a atenção deve ser dada à geração de soluções.

Esta atividade é ilustrada na Figura 5.5.

Figura 5.5 - Atividade 4: Orientações de utilização de modelos físicos



### 5.1.5 Atividade 5: Sessão de *brainstorming*

A sessão de *brainstorming* tem o objetivo de gerar soluções para a função de interesse, baseando o processo nas diretrizes apresentadas por Back et al. (2008), que são: Utilizar uma equipe multidisciplinar; Realizar sessões de no máximo 50 minutos; A equipe de projeto deve ter de 5 a 10 participantes; Gerar a máxima quantidade de ideias, por meio de associações entre elas; Não criticar as ideias propostas. Deve-se possibilitar aos projetistas um formulário para registrar as ideias, que deve ficar visível para todos da equipe, pois isso facilita a associação das soluções e auxilia na dinâmica do método.

A geração de soluções é apoiada por modelos físicos como estimuladores a criatividade, com a expectativa de que eles estimulem ideias mais úteis, novas e exequíveis, pelas evidências apresentadas no capítulo 4.

A atividade é ilustrada na Figura 5.6.

Figura 5.6 - Atividade 5: Sessão de *brainstorming*.



### 5.1.6 Atividade 6: Preenchimento da matriz morfológica

Essa atividade é desenvolvida pelo facilitador do método, que transcreve as ideias geradas para a matriz morfológica, colocando a função de interesse na primeira coluna da matriz e as soluções nas próximas colunas à direita, na mesma linha. É possível desenvolver esta atividade em paralelo com à ideação, porém é preciso garantir que o foco durante o *brainstorming* seja em gerar ideias e não em preencher a matriz morfológica.

Como o estímulo de modelos físicos é desenvolvido para melhorar as soluções da função de interesse, a saída da Atividade 5 proposta neste capítulo não apresenta soluções para as demais funções do produto. Portanto, para o preenchimento completo da matriz morfológica, é preciso agregar as soluções geradas no *brainstorming* estimulado com as soluções das outras funções do produto.

Então, a equipe de projeto deve combinar as soluções de cada uma das funções do produto, gerando concepções alternativas. A atividade é ilustrada na Figura 5.7.

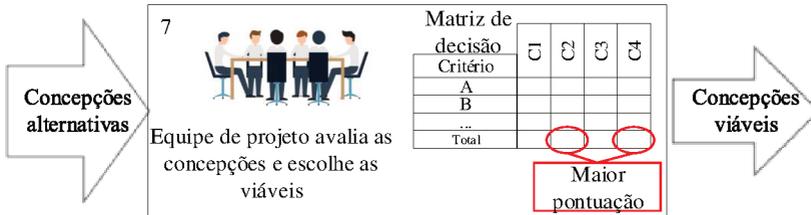
Figura 5.7 - Atividade 5: Preenchimento da matriz morfológica.



### 5.1.7 Atividade 7: Seleção das concepções viáveis

Na atividade 7 as concepções alternativas são avaliadas, utilizando alguma metodologia de apoio à seleção. Em função desta atividade não estar no escopo do trabalho, ela segue orientações conforme Back et al. (2008). Ao final, encerrado a fase de projeto conceitual, são escolhidas as concepções viáveis para a sequência do projeto. A Figura 5.8 ilustra esta atividade.

Figura 5.8 - Atividade 6: Seleção das concepções viáveis.



## 5.2 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA SISTEMÁTICA DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS FÍSICOS

Os resultados apresentados no capítulo 4 mostram evidências da efetividade dos modelos físicos como estimuladores à criatividade. Há uma melhora das soluções sob as métricas avaliadas quando os projetistas utilizam as fontes de analogia de forma física. Porém, é preciso avaliar a sistemática de construção de modelos físicos, com relação às suas atividades, entradas, saídas e ferramentas, com o objetivo de identificar sua aplicabilidade por parte de outras pessoas e o alinhamento com a fase de Projeto Conceitual. Para isso, optou-se por uma avaliação qualitativa, sob critérios apresentados por Vernadat (1996), para avaliação de modelos de referência. Os critérios, com definição adaptada ao contexto desta dissertação, são os seguintes:

- Escopo: Avalia se a proposta se insere no escopo do projeto conceitual;
- Profundidade: Avalia o nível de detalhamento da sistemática;
- Generalidade: Avalia se a sistemática é capaz de criar modelos físicos que estimulem melhores soluções para diversos objetivos de projeto, como inovação radical, incremental, DFx, reprojeto, etc.;
- Capacidade: Avalia se a sistemática é capaz de ser aplicada para a representação de fontes de analogia pertencentes à diversos domínios de conhecimento.

- Clareza: Avalia se a sistemática é facilmente entendida por quem a aplica;
- Consistência: Avalia se as entradas, saídas e ferramentas de cada atividade são coerentes com as ações desenvolvidas;
- Completeza: Avalia se a sistemática contém todas as informações necessárias para construção dos modelos físicos.

### **5.2.1 Materiais e Métodos da avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos**

A avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos aconteceu em 4 etapas, sendo elas: (1) contextualização sobre a sistemática e os benefícios de utilizar modelos físicos como estimuladores à criatividade; (2) Apresentação do problema de projeto e os resultados das Tarefas 1.1 e 1.2; (3) Desenvolvimento das atividades da sistemática; (4) Avaliação da sistemática.

A primeira etapa apresenta uma contextualização sobre a sistemática de construção dos modelos físicos e os benefícios em utilizá-los como estimuladores à criatividade, com uma visão geral das atividades, objetivos da sua aplicação e os motivos que fazem dos modelos efetivos estimuladores. Na etapa (2) é apresentado aos avaliadores o contexto do problema de projeto, a função de interesse e o resultado das Tarefas 1.1 (Definir o objetivo do processo de ideação) e 1.2 (Definir as características da fonte de analogia) da sistemática, que foram previamente desenvolvidas com o objetivo de avaliar a construção de modelos físicos a partir de fontes pertencentes a dois domínios de conhecimento diferentes. Na etapa (3) as atividades para construção de modelos físicos, como estimuladores à criatividade, foram desenvolvidas. A cada nova tarefa, os avaliadores recebiam explicações sobre como deveria ser o seu desenvolvimento. Na etapa (4) os participantes responderam a um questionário, apresentado no Apêndice I, em que eram registradas as impressões e opiniões quanto aos objetivos da avaliação.

A organização das etapas de avaliação, com os tempos correspondentes de cada uma, é apresentada no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 - Programação da avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.

<b>Etapas de avaliação</b>	<b>Tempo de duração</b>
1. Contextualização sobre a sistemática e os benefícios de utilizar modelos físicos como estimuladores à criatividade	10 min
2. Apresentação do problema de projeto e o resultado das Tarefas 1.1 e 1.2.	5 min
3. Desenvolvimento das 4 atividades da sistemática: 1. Encontrar fontes de analogia; 2. Caracterizar a fonte de analogia; 3. Projetar o modelo físicos; 4. Construir o modelo físico.	60 min
4. Avaliação da sistemática	15 min

Os problemas de projeto propostos aos avaliadores e o resultado das Tarefas 1.1 e 1.2 da sistemática de construção dos modelos são apresentados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 - Problemas para avaliação qualitativa da sistemática de construção dos modelos físicos.

<b>Problema 1</b>	A função de interesse é “Remover a casca”, para um descascador de laranjas. O planejamento é desenvolvê-lo rapidamente, utilizando tecnologias aplicadas em outros produtos, como forma de facilitar as atividades. Os requisitos são os seguintes: Deve suportar qualquer tamanho de fruta, deve atuar em toda superfície da fruta e deve ser fácil de utilizar.
	<b>Tarefa 1.1</b>
	Objetivo: Desenvolver uma Inovação incremental
	<b>Tarefa 1.2</b>
	Características da fonte de analogia: Sistemas Técnicos que executem função análoga à de interesse.
<b>Problema 2</b>	A função de interesse é “Movimentar usuário”, para uma cadeira de rodas que auxilia na movimentação do usuário, da cadeira para cama e vice-versa. É um produto novo e a função escolhida é a que garante a sua utilidade.
	<b>Tarefa 1.1</b>
	Objetivo: Desenvolver uma inovação radical
Continua	

<b>Problema 2</b>	<b>Tarefa 1.2</b>
	Características da fonte de analogia: Sistemas da natureza que executem função análoga à de interesse.

O estudo foi realizado com seis especialistas em desenvolvimento de produtos, com conhecimento sobre o modelo PRODIP, em dois dias, com uma hora e meia de trabalho em cada dia. O perfil dos especialistas é apresentado no Quadro 5.3. O arranjo dos participantes por dia, e o problema resolvido, é apresentado no Quadro 5.4. Cada um dos problemas foi resolvido pelos respectivos especialistas atuando em conjunto.

Quadro 5.3 - Perfil dos especialistas que avaliaram a sistemática de construção dos modelos físicos

<b>Especialista 1</b>	Engenheiro mecânico, com experiência de 5 anos em projetos, 1 ano em manutenção, 3 anos em fabricação, 5 anos em design e 2 anos em refrigeração.
<b>Especialista 2</b>	Engenheiro mecânico, com 6 anos de experiência em projetos de sistemas técnicos e 3 anos em sala de aula.
<b>Especialista 3</b>	Engenheiro mecânico, com 2 anos de experiência em projetos industriais.
<b>Especialista 4</b>	Mestre em engenharia mecânica, com 5 anos de experiência em projeto de sistemas mecânicos
<b>Especialista 5</b>	Mestre em projeto de sistemas mecânicos, com 3 anos de experiência como projetista e 5 anos como pesquisador na área de projetos de sistemas.
<b>Especialista 6</b>	Engenheiro mecânico, com experiência em projeto de sistemas mecânicos.

Quadro 5.4 - Estrutura da avaliação qualitativa.

<b>Fase I</b>	
Especialista 1	<b>Problema 1</b>
Especialista 2	
Especialista 3	
<b>Fase II</b>	
Especialista 4	<b>Problema 2</b>
Especialista 5	
Especialista 6	

O registro do resultado de cada uma das atividades foi realizado em formulários, que são apresentados no Apêndice J. Foram disponibilizados materiais como placas e bolinhas de isopor, papelão, arame, cabos de energia, tesoura, estilete, alicate, fita adesiva e cola quente para a construção das peças do modelo físico. Em função da incerteza sobre as peças que seriam fabricadas, foi permitido aos participantes indicarem o material de construção, caso fosse impossível representar a ideia com os recursos disponíveis.

A avaliação da sistemática foi guiada por uma apresentação de slides, contendo as tarefas que deveriam ser realizadas e suas ferramentas. Cada tarefa foi explicada, com relação ao seu objetivo e a sua função dentro da sistemática. Também, foram apresentados exemplos de aplicação das atividades, a partir de objetivos de projeto diferentes aos que estavam sendo utilizados durante a avaliação. No primeiro dia, os exemplos de aplicação apresentados foram o desenvolvimento do capítulo 4 (desenvolver uma inovação radical para a função) e o exemplo 2 do Apêndice B (implementar o princípio de Projeto Universal na solução). No segundo dia, os exemplos de aplicação apresentados foram os exemplos 1 (desenvolver uma inovação incremental para a função) e 2 do Apêndice B.

As questões para avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos, com relação aos critérios apresentados, são mostradas no Quadro 5.5.

Quadro 5.5 - Questões de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.

<b>Avaliação</b>				
Não	Pouco	Parcialmente	Em vários aspectos	Completamente
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<b>Critério</b>	<b>Questão</b>			
<b>Escopo</b>	Q1. A sistemática de construção dos modelos físicos está alinhada com a fase de projeto conceitual?			
	Q2. O desenvolvimento das atividades é viável durante o projeto conceitual, considerando a quantidade de recursos necessários para a construção dos modelos?			
	Q3. Vale a pena investir recursos na construção de modelos físicos, conhecendo seu potencial para estimular melhores soluções?			

Continua

<b>Avaliação</b>				
Não	Pouco	Parcialmente	Em vários aspectos	Completamente
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<b>Profundidade</b>	Q4. O nível de detalhamento das atividades é adequado para a construção dos modelos físicos?			
<b>Generalidade</b>	Q5. A sistemática de construção pode ser empregada para qualquer objetivo de projeto?			
<b>Capacidade</b>	Q6. A sistemática permite a construção de modelos baseados em sistemas de diversos domínios?			
<b>Clareza</b>	Q7. A sistemática é facilmente entendida, com relação as atividades para construção dos modelos físicos?			
	Q8. As ferramentas de auxílio propostas, para construção dos modelos físicos, são facilmente entendidas?			
<b>Consistência</b>	Q9. As entradas e saídas da sistemática estão coerentes com as atividades propostas?			
	Q10. As ferramentas de auxílio às atividades são coerentes e facilitam o desenvolvimento?			
<b>Completeza</b>	Q11. A sistemática contém todas as informações necessárias para construção dos modelos físicos no projeto conceitual?			

### **5.2.2 Resultados da primeira fase de avaliação qualitativa da sistemática de construção dos modelos físicos**

A Figura 5.9 apresenta os avaliadores envolvidos na fabricação das peças do modelo na segunda fase de avaliação.

Figura 5.9 - Especialistas envolvidos nas atividades da sistemática



O Quadro 5.6 apresenta quais foram as saídas das três primeiras atividades na primeira fase de avaliação da sistemática. A Figura 5.10 mostra as peças e o modelo construído pela equipe, que é a saída da atividade 4, sendo o resultado da aplicação da sistemática na primeira fase. Os resultados completos de cada uma das Tarefas são apresentados no Apêndice K, Figura K.1, Figura K.2, Figura K.3 e Figura K.4. O critério de priorização utilizado na Tarefa 1.4, que é a saída da Atividade 1, foi o quanto o sistema era incomum para executar a função de interesse, de maneira que a classificação é apresentada do sistema mais incomum para o mais comum.

Quadro 5.6 - Resultados da primeira fase de avaliação qualitativa da sistemática

<b>Atividade 1 – Encontrar fontes de analogia</b>
1° - Serra Fita 2° - Fresa 3° - Cortador de isopor 4° - Lixa 5° - Ralador 6° - Torno
<b>Atividade 2 – Caracterizar a fonte de analogia</b>
<u>Função:</u> Cortar <u>Elementos e atributos:</u> - Ferramenta cortante; - Suporte; - Propulsão (energia); - Serra, Lâmina.
Continua

**Atividade 2 – Caracterizar a fonte de analogia**

Relações: - A ferramenta cortante é movimentada pelo sistema de propulsão;

- O objeto que será cortado é colocado no suporte.

Comportamentos: - A ferramenta de corte não se desloca (não avança em direção ao objeto);

- Ferramenta oscila/gira para gerar o corte;

- Objeto avança em direção à serra, apoiada.

O que deve ser representado no modelo físico: - Suporte/bancada;

- Objeto

- Ferramenta de corte (não se move);

- Objeto se move.

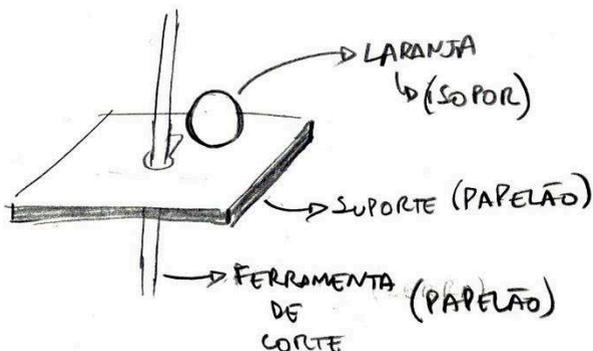
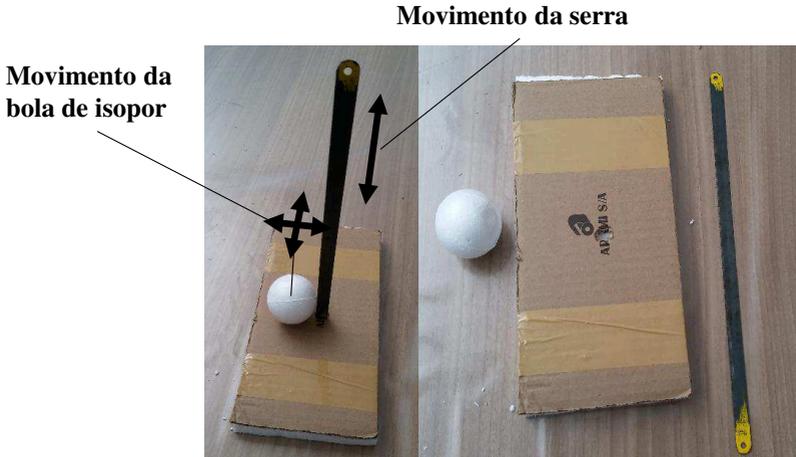
**Atividade 3 – Projetar o modelo físico**

Figura 5.10 - Modelo construído na primeira fase da avaliação qualitativa da sistemática



No modelo da serra fita apresentado na Figura 5.10, a bola de isopor representa o objeto a ser cortado, que possui movimento livre, e a serra pode se deslocar na vertical. O modelo é capaz de representar a função de corte do sistema de referência pelo avanço da bola de isopor sobre a lâmina da serra, que deve estar se deslocando para cima ou para baixo. Com este modelo, espera-se estimular inovações incrementais para a função remover a casca, de um descascador de laranjas.

### 5.2.3 Resultados da segunda fase de avaliação qualitativa da sistemática de construção dos modelos físicos

O Quadro 5.7 apresenta quais foram as saídas das três primeiras atividades na segunda fase de avaliação da sistemática. A Figura 5.11 mostra as peças e o modelo construído pela equipe, que é a saída da atividade 4, sendo o resultado da aplicação da sistemática na segunda fase. Os resultados completos de cada uma das Tarefas são apresentados no Apêndice K, Figura K.5, Figura K.6, Figura K.7 e Figura K.8. O critério de priorização utilizado na Tarefa 1.4, que é a saída da Atividade 1, foi qual dos sistemas seria mais incomum para projetistas mecânicos, com relação à execução da função análoga, de maneira que a classificação é apresentada do sistema mais incomum para o mais comum.

Quadro 5.7 - Resultados da segunda fase de avaliação qualitativa da sistemática

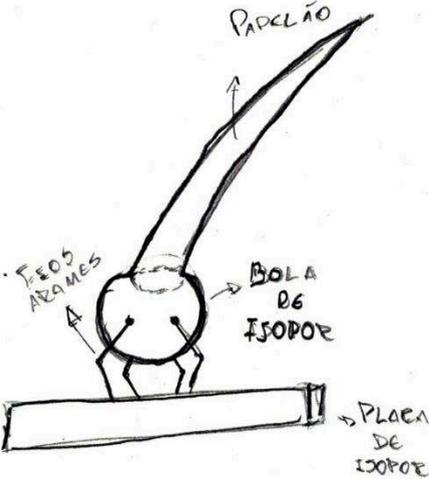
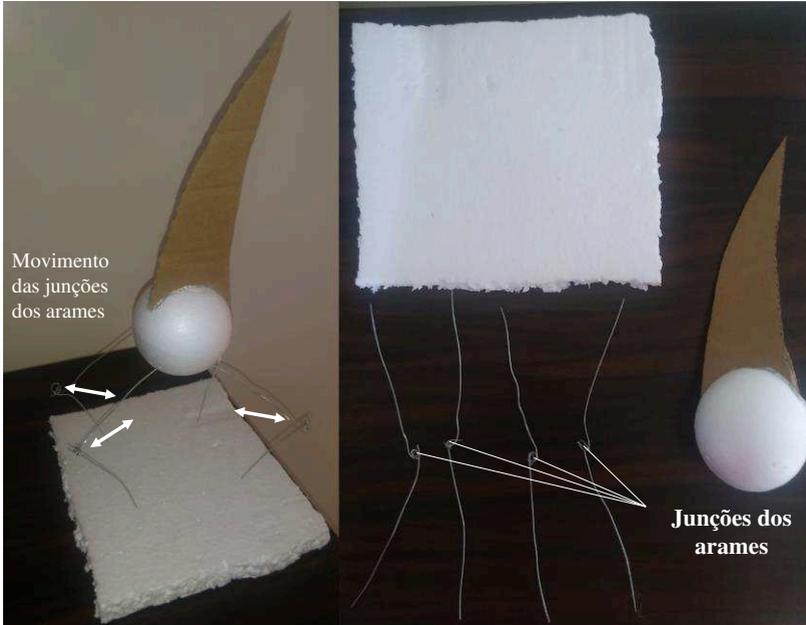
<b>Atividade 1 – Encontrar fontes de analogia</b>
<p>1º - Pelo do ouriço europeu            2º - Serpente            3º - Minhoca            4º - Tromba do elefante            5º - Canguru</p>
<b>Atividade 2 – Caracterizar a fonte de analogia</b>
<p><u>Função:</u> Movimentar em várias direções.  <u>Elementos e atributos:</u> - Bulbo esférico;            - Espinho curto;            - Tecido subcutâneo;            - Músculo.  <u>Relações:</u> - Bulbo fixado na base do espinho;            - Músculo realiza o movimento do espinho;            - O bulbo é ancorado no tecido subcutâneo.  <u>Comportamentos:</u>  <u>O que deve ser representado no modelo físico:</u> - Bulbo esférico (rótula);            - Músculos            - Espinho;            - Pele.</p>
<b>Atividade 3 – Projetar o modelo físico</b>


Figura 5.11 - Modelo construído na segunda fase da avaliação qualitativa da sistemática.



O modelo do espinho do ouriço Europeu apresentado na Figura 5.11 é composto por papelão, representando o espinho do animal, que é fixado em uma bola de isopor, representando o bulbo esférico presente na estrutura morfológica do ouriço europeu. Os arames desempenham o papel dos músculos (dois arames unidos por articulações nas extremidades) que movem o espinho, conectando o bulbo esférico a uma placa de isopor, que representa a pele do animal. O movimento é obtido pelo deslocamento das junções nos arames. Dependendo de qual arame é deslocado, o sistema se move em determinada direção. Pelas várias combinações possíveis de deslocamento dos quatro apoios formados pelos arames, o movimento em várias direções é obtido. Com este modelo, espera-se estimular inovações radicais na solução da função movimentar usuário, de uma cadeira de rodas.

#### **5.2.4 Avaliação qualitativa da sistemática de construção dos modelos físicos**

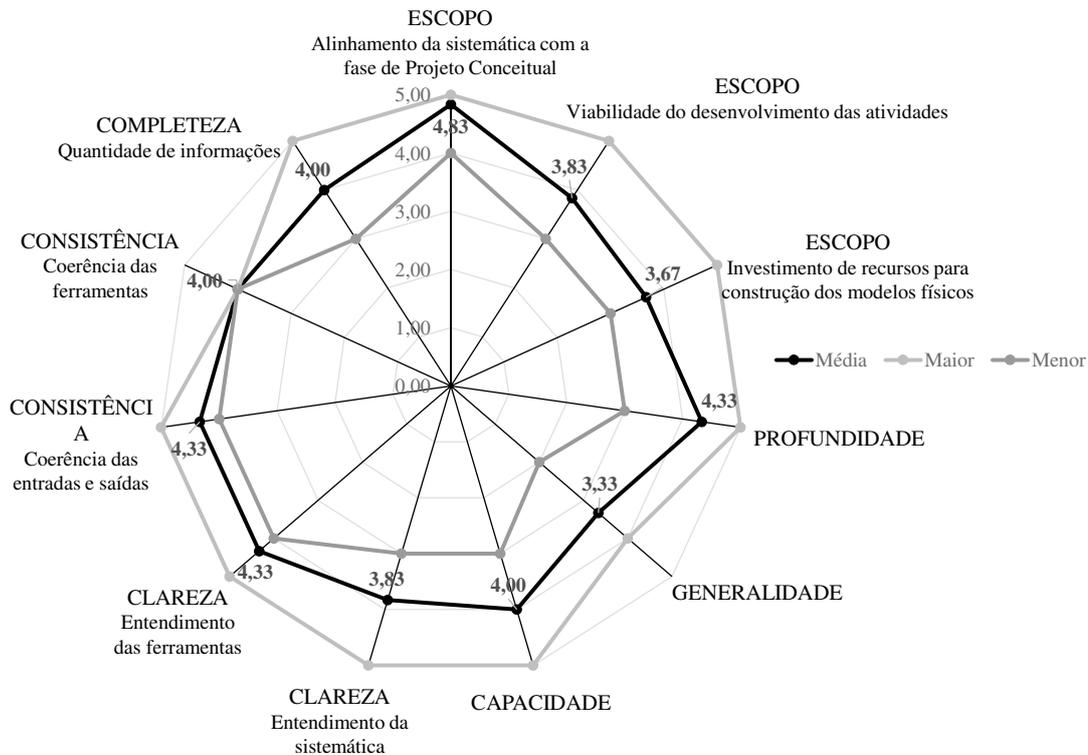
Os resultados do questionário (com as notas médias, máximas e mínimas), para avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos, são apresentados na Figura 5.12, na forma de um gráfico radar, em que é registrada apenas a avaliação média dos especialistas. O detalhamento das avaliações dos especialistas é apresentado no Apêndice K, Tabela K.1. As possíveis respostas às questões eram: 1 – Não; 2 – Pouco; 3 – Parcialmente; 4 – Em muitos aspectos; 5 – Completamente. Considera-se que avaliações igual a 4 correspondem a um resultado satisfatório com relação ao atendimento do critério.

A primeira questão, que avalia o escopo da sistemática proposta, teve uma avaliação média igual a 4,83. Isso evidencia que as atividades propostas na sistemática estão alinhadas com as atividades do projeto conceitual, ou seja, as informações necessárias para a tomada de decisão em cada tarefa já existem, ou podem ser adaptadas nesta fase do projeto.

Na segunda questão, também referente ao critério escopo, a média das avaliações foi igual a 3,83. Justifica-se que esta avaliação foi um pouco abaixo do valor considerado como satisfatório pela quantidade de novas atividades que devem ser realizadas no projeto conceitual. Como os avaliadores não possuíam conhecimento sobre a sistemática de construção de modelos físicos, e nem existem abordagens parecidas que permitam a eles fazer comparações, gera-se uma dúvida se a quantidade de recursos que precisam ser investidos para construção dos modelos não inviabiliza a aplicação da sistemática, principalmente em contextos que demandem economia de tempo e dinheiro no desenvolvimento de projetos.

A terceira questão obteve uma média de avaliações igual a 3,67, mostrando que existem incertezas com relação ao quanto vale a pena investir na construção de modelos físicos. A justificativa para esta avaliação possui os mesmos argumentos discutidos na questão 2, considerando também o desconhecimento dos avaliadores em utilizar modelos físicos como estimuladores à criatividade e, com isso, conhecer a melhora nas soluções. Este resultado evidencia a necessidade de realizar uma demonstração maior sobre os benefícios de modelos físicos quando se deseja inseri-los em atividades de projeto, pois a breve explicação apresentada previamente às avaliações não foi suficiente para demonstrar a sua efetividade como estimulador, justificando o investimento na sua construção.

Figura 5.12 - Gráfico radar com as avaliações dos especialistas sobre a sistemática.



O detalhamento das atividades, relacionado ao critério profundidade, apresenta uma avaliação satisfatória, com média igual a 4,33, evidenciando que as tarefas propostas em cada atividade da sistemática são suficientes para guiar a construção de modelos físicos. Isto demonstra que não existe a necessidade de desenvolver qualquer tarefa adicional às propostas no capítulo 4, para construir modelos a partir de uma dada função de interesse mais os seus requisitos.

A questão 5, relacionada ao critério generalidade, obteve a menor avaliação média entre todas as questões, igual a 3,33. Esta dúvida dos avaliadores, com relação a aplicabilidade da sistemática para qualquer objetivo de projeto, justifica-se pela dificuldade deles em analisar o emprego das tarefas em contextos diferentes do que foi proposto para a construção dos modelos, devido à atenção dada ao trabalho sendo realizado. Mesmo a apresentação de exemplos de aplicação da sistemática em outros tipos de projeto não foi capaz de demonstrar a sua generalidade. Apesar disso, foram construídos dois modelos a partir de objetivos de projeto diferentes, uma inovação incremental e outra radical, demonstrando que as atividades são genéricas o suficiente para abranger estes dois casos distintos.

Na sexta questão, relacionada ao critério capacidade, a média das avaliações foi igual a 4, considerando-se satisfatória. Este resultado corrobora com a análise realizada no critério generalidade, pois os avaliadores percebem a capacidade da sistemática de guiar a construção de modelos a partir de sistemas pertencentes a diversos domínios de conhecimento, o que também é evidenciado pelos modelos desenvolvidos em cada um dos dias de avaliação. Sistemas análogos de diferentes domínios de conhecimento são capazes de estimular diferentes tipos de soluções, sendo possível inferir que a sistemática se adequa a diversos objetivos de projeto, ratificando a sua generalidade.

O entendimento das atividades da sistemática, avaliado na questão 7 sob o critério clareza, obteve uma avaliação média igual a 3,83. Esta avaliação abaixo da satisfatória está relacionada a algumas dificuldades encontradas no desenvolvimento das atividades, como por exemplo, definir um critério de comparação para priorizar as fontes de analogia, com relação ao quanto elas seriam comuns aos projetistas. Esta dificuldade foi percebida nas duas fases de avaliações, sendo maior quando os sistemas eram biológicos.

Nos comentários realizados pelos avaliadores ao final do questionário, foi sugerido que a matriz de comparação, para priorizar os sistemas biológicos, seja melhor detalhada, ou que algumas características gerais de sistemas sejam apresentadas, buscando facilitar a

sua construção inicial. Também, foi sugerido apresentar uma introdução maior da sistemática, antes de iniciar o desenvolvimento das atividades, para facilitar o entendimento do como os modelos serão construídos.

A oitava questão, também relacionada ao critério clareza, obteve uma avaliação média satisfatória, igual a 4,33. Este resultado demonstra que, apesar da dificuldade com a matriz de comparação para priorização das fontes de analogia, as demais ferramentas de auxílio propostas foram facilmente entendidas, o que potencializa a sua efetividade em apoiar a construção dos modelos. Houve bons comentários sobre o modelo FEARC, que auxiliou tanto na organização das informações como na identificação de lacunas na descrição do sistema análogo.

As questões 9 e 10 obtiveram avaliações médias iguais a 4,33 e 4, respectivamente, considerando-se uma avaliação satisfatória do critério consistência. Este resultado demonstra a adequada elaboração das atividades e tarefas, que mantém a coerência das entradas e saídas com a ação realizada, e das ferramentas de auxílio, que são sugeridas coerentemente com o tipo de tarefa sendo desenvolvida.

Por fim, a questão 11, relacionada ao critério completeza, obteve uma avaliação média satisfatória, sendo igual a 4. Este resultado demonstra que a sistemática proposta no capítulo 4 possui todas as informações necessárias para a construção de modelos físicos, com relação às explicações sobre o desenvolvimento de atividades e tarefas, às orientações para utilização das ferramentas e às diretrizes que guiam a tomada de decisões.

### 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seção 5.1 apresentou uma sistemática para o projeto conceitual, que orienta o desenvolvimento das atividades para a construção de modelos físicos e sua utilização em sessões de ideação. Foram propostas sete atividades, que guiam a fase desde a síntese funcional do produto até a escolha das concepções viáveis, utilizando modelos físicos como estímulo criativo à sessão de ideação. Entende-se que esta proposta potencializa a geração de soluções conceituais mais úteis, novas e exequíveis, pelas evidências apresentadas no capítulo 4.

A sistemática de construção dos modelos físicos foi avaliada, com relação ao alinhamento ao projeto conceitual e à qualidade das atividades, tarefas e ferramentas propostas para guiar o desenvolvimento dos modelos.

O resultado da aplicação da sistemática foi satisfatório, pois os dois modelos construídos foram capazes de representar a função do sistema

análogo e utilizaram materiais simples na fabricação das peças. Além disso, eles foram desenvolvidos a partir de objetivos de projeto distintos, com fontes de analogias pertencentes a domínios de conhecimento distantes uma da outra, o que demonstra a abrangência da sistemática para guiar a construção de modelos baseados em diversos tipos de sistemas análogos.

Pode-se afirmar que o escopo da sistemática de construção de modelos físicos está alinhado às atividades do projeto conceitual. Porém, existem dúvidas com relação a validade em investir recursos para o desenvolvimento das atividades.

Os critérios profundidade, capacidade, clareza, consistência e completeza obtiveram uma avaliação satisfatória, confirmando a adequação das tarefas, ferramentas, entradas e saídas das atividades da sistemática de construção de modelos. A avaliação do critério generalidade demonstra existir uma dúvida nos especialistas, com relação a aplicação da sistemática para diversos objetivos de projeto.

O critério clareza evidencia que as ferramentas de auxílio sugeridas na sistemática de construção de modelos são fáceis de entender e aplicar nas atividades. Entretanto, as avaliações também mostraram que algumas tarefas geram dúvidas na sua execução, necessitando serem apresentadas mais detalhadamente e com mais exemplos de aplicação.

Sugere-se que a capacitação para aplicar a sistemática de construção dos modelos físicos seja feita de maneira mais detalhada. Foi identificado que para facilitar o entendimento das atividades é necessário apresentar diversos exemplos de aplicação e utilização, em diferentes problemas de projeto.



## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O presente capítulo apresenta as conclusões, com base nos objetivos da pesquisa, e recomendações de trabalhos futuros.

### 6.1 CONCLUSÕES

O capítulo 2 apresenta que soluções criativas são frequentemente buscadas por meio de um raciocínio analógico, que tende a apresentar ideias mais novas quando as fontes são distantes ao domínio de conhecimento do projetista. Entretanto, essa situação é cognitivamente complexa, principalmente para projetistas inexperientes, que mesmo com fontes de analogias disponíveis, não conseguem fazer um bom uso para solucionar os problemas.

Essa dificuldade pode ser diminuída a partir da utilização de modelos físicos como estimuladores, representando fontes de analogia. Pela revisão apresentada no capítulo 3, eles têm a capacidade de mitigar a fixação funcional, facilitar a comunicação e o aprendizado de conceitos, sendo estas características fundamentais para o raciocínio analógico.

Diante disso, foi proposto no capítulo 4 uma sistemática de construção dos modelos físicos, com quatro atividades, que vão desde a busca por fontes de analogia até o desenvolvimento das peças, resultando em modelos abstratos, obtidos por meio de materiais simples. Esta proposta atende ao primeiro objetivo específico, que é “Propor uma sistemática para construção de modelos físicos que representem fontes de analogia”.

Os modelos físicos, como estimuladores à criatividade, foram avaliados em um experimento. Os resultados apresentam evidências sobre a efetividade dos modelos como estimuladores, pois as soluções geradas a partir do estímulo físico foram mais novas, úteis e exequíveis, sob as definições apresentadas no trabalho, quando comparadas às geradas utilizando como estímulo os cartões informativos. Estes resultados atendem ao segundo objetivo específico do trabalho, testar os modelos físicos como ferramenta que melhora as soluções de projeto.

As melhores soluções, sob as métricas avaliadas, justificam-se pela capacidade dos modelos físicos de facilitar a comunicação, o que aumenta o compartilhamento de ideias, facilitar o entendimento das informações, que permite aproveitar melhor a fonte de analogia nas sessões de ideação e proporcionar estímulos sensoriais diversos, o que potencializa a criatividade dos projetistas. Estas justificativas foram evidenciadas pelas

ideias geradas durante o experimento e pelos comentários realizados pelos participantes, sendo corroboradas pela literatura.

No capítulo 5 foi proposta uma sistemática que orienta a construção e utilização dos modelos físicos no projeto conceitual. Esta parte visa atender ao terceiro objetivo específico do trabalho, “estruturar uma sistemática para uso dos modelos físicos como estimuladores à criatividade no projeto conceitual”. Considera-se que as atividades propostas facilitam o uso dos modelos físicos no projeto conceitual. Em relação ao modelo PRODIP, são desenvolvidas três novas atividades, que tem o objetivo de definir a função de interesse, construir os modelos físicos e apresenta-los à equipe de projeto, que devem ser desenvolvidas pelo facilitador do processo de ideação.

Ao final do capítulo 5, a sistemática de construção dos modelos físicos foi avaliada por especialistas em desenvolvimento de produtos. Esta avaliação qualitativa foi positiva. Destacam-se como pontos positivos a correta elaboração da sistemática com relação aos critérios profundidade, capacidade, consistência e completeza, além de estar alinhada à fase de projeto conceitual. Os pontos negativos estão relacionados à novidade da proposta e ao pouco tempo existente para entendimento e desenvolvimento das atividades por parte dos avaliadores, o que gerou dúvidas com relação à viabilidade das atividades em projetos que visam rapidez no desenvolvimento, ao benefício de investir recursos para construir os modelos físicos e à aplicabilidade da sistemática para diversos objetivos de projeto.

Na aplicação da sistemática foram construídos dois modelos físicos. O primeiro visa estimular melhores soluções para uma inovação incremental, e por isso é baseado em um sistema técnico, uma serra fita. O segundo deve ser empregado para estimular melhores soluções para uma inovação radical, sendo baseado em um sistema biológico, o espinho do Ouriço Europeu. Os dois modelos foram representações funcionais de cada sistema, construídos a partir de materiais simples. Isto demonstra a capacidade da sistemática em guiar a construção de modelos capazes de estimular melhores soluções para diferentes objetivos de projeto.

As avaliações realizadas no capítulo 5 atenderam ao terceiro objetivo específico “Avaliar a sistemática de construção sob critérios relacionados sua aplicação na fase do projeto conceitual”, concluindo-se que a sistemática proposta é capaz de orientar o desenvolvimento de modelos físicos para estimular diferentes objetivos de projetos, baseados em fontes de analogia pertencentes à domínios de conhecimento distintos.

Com base no apresentado, conclui-se que a construção dos modelos físicos como estimuladores à criatividade, e a sua utilização nas sessões de ideação, são potencializadas. Isto possibilita que sejam geradas soluções conceituais com mais utilidade, novidade e exequibilidade. Esta conclusão atende ao objetivo geral da pesquisa “propor uma sistemática para desenvolver e utilizar os modelos físicos, que representam fontes de analogias, para estimular à criatividade, na fase de projeto conceitual de produtos”.

Diante do apresentado, as questões de pesquisa são respondidas da seguinte maneira:

1 – Como construir modelos físicos que facilitem a abstração e utilização das informações de uma fonte de analogia, e assim potencializar o raciocínio analógico?

Esta construção deve ser feita seguindo as atividades da sistemática proposta no capítulo 4 (Figura 4.1), que são: 1. Encontrar fontes de analogia; 2. Caracterizar a fonte de analogia; 3. Projetar o modelo físico; 4. Construir o modelo físico. O resultado da aplicação desta sistemática no presente trabalho foram quatro modelos físicos distintos, funcionais e que representam um sistema técnico e dois biológicos, todos com potencial de potencializar o raciocínio analógico de projetistas.

2 – Como inserir os modelos físicos, como estimuladores à criatividade, nas atividades do projeto conceitual de produtos?

Os modelos físicos são inseridos no projeto conceitual por meio da sistemática apresentada na Figura 5.2, que possui as seguintes atividades: 1. Síntese funcional; 2. Definição da função de interesse; 3. Construção de modelos físicos; 4. Orientações de utilização de modelos físicos; 5. Sessão de *brainstorming*; 6. Preenchimento da matriz morfológica; 7. Seleção das concepções viáveis. A partir disso, espera-se potencializar a geração de soluções conceituais com mais utilidade, novidade e exequibilidade, segundo as definições apresentadas neste trabalho.

Em resumo, a presente dissertação obteve os seguintes resultados:

- Foi elaborada uma sistemática que tem a capacidade de orientar a construção de modelos físicos, que representam o funcionamento de fontes de analogia.

- Os modelos físicos são efetivos estimuladores à criatividade, pois potencializam a geração de soluções conceituais com mais utilidade, novidade e exequibilidade, conforme as definições destas métricas apresentadas nessa dissertação.

- A sistemática que orienta a construção e utilização dos modelos físicos no projeto conceitual facilita a aplicação deste estimulador nas

sessões criativas da fase, potencializado o estímulo dado aos projetistas, o que facilita a geração de conceitos mais úteis, novos e exequíveis

- A sistemática de construção dos modelos físicos é capaz de guiar o desenvolvimento de modelos funcionais, capazes de estimular melhores soluções para diferentes tipos de objetivos de projeto, construídos a partir de fontes pertencentes à diferentes domínios de conhecimento. Destaca-se a correta elaboração das tarefas e ferramentas com relação à profundidade, capacidade, consistência e completeza, segundo as definições apresentadas no trabalho, estando alinhada à fase de projeto conceitual.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Considerando os bons resultados obtidos com os modelos físicos como estimuladores à criatividade, a seguir são propostas algumas recomendações de trabalhos futuros nesta área, para ampliar o conhecimento e explorar mais profundamente o conceito de modelos físicos como estímulo criativo.

Primeiramente, identifica-se a possibilidade de desenvolver um sistema computacional que guie o usuário nas atividades da sistemática de construção dos modelos físicos, auxiliando o desenvolvimento com sugestões e exemplos de aplicação, além de registrar as informações geradas durante o processo.

A segunda recomendação é utilizar os modelos físicos como estimuladores à criatividade na fase de planejamento de produtos, adaptando a primeira atividade da sistemática de construção, que foi proposta para a fase de projeto conceitual, a este contexto, para avaliar a contribuição dos modelos à geração de ideias de novos produtos.

Também, sugere-se testar os efeitos cognitivos dos modelos físicos nos projetistas, para avaliar de que maneira eles influenciam na busca por soluções. Para fazer isso, pode-se desenvolver um experimento que oriente os projetistas a dizerem o que estão pensando durante as atividades, registrando estas informações por meio de vídeos, para identificar como o pensamento é influenciado ao trabalhar com modelos físicos na representação de fontes de analogia. Outra opção é registrar a atividade cerebral dos projetistas durante as atividades com modelos físicos, identificando qual área do cérebro é estimulada durante o trabalho e como os modelos influenciam no processo. Com estas avaliações é possível entender a melhor forma de apresentação dos modelos físicos, visando potencializar a busca por soluções e diminuir a fixação funcional.

A partir disso, as atividades de construção podem ser otimizadas, melhorando os modelos com relação ao estímulo proporcionado.

Por fim, espera-se que o conteúdo apresentado nessa dissertação possa contribuir com a fase de projeto conceitual, agregando um estimulador capaz de aumentar a criatividade das soluções, e com a geração de ideias nas empresas, auxiliando no desenvolvimento de soluções conceituais mais úteis, novas e exequíveis. Isto torna as próximas fases de projeto mais previsíveis e facilita a aceitação dos produtos pelo mercado, em função da inovação apresentada.



## REFERÊNCIAS

- ABDALA, L. N. **Sistematização Do Processo De Desenvolvimento De Cenários Futuros Pelo Uso Das Tendências De Evolução Da Triz Com Aplicações Ao Planejamento De Produto**, 2013. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2013.
- ABDALA, L. N.; FERNANDES, R. B.; OGLIARI, A.; LÖWER, M.; FELDHUSEN, J. Creative Contributions of the Methods of Inventive Principles of TRIZ and BioTRIZ to Problem Solving. **Journal of Mechanical Design**. v. 139, n.8, 2017.
- ACUNA, A.; SOSA, R. The complementary role of representations in Design creativity: sketches and models. In: T. Taura; Y. Nagai (Orgs.); **Design Creativity 2010**. Springer, p.265–270, 2011.
- AGOGUÉ, M.; KAZAKÇI, A.; HATCHUEL, A.; LE MASSON, P; WEIL, B.; POIREL, N.; CASSOTTI, M. The Impact of Type of Examples on Originality: Explaining Fixation and Stimulation Effects. **The Journal of Creative Behavior**, v. 48, n. 1, p. 1–12, 2013.
- ASKNATURE. AskNature. Disponível em: <<https://asknature.org/>>. Acesso em: 6/6/2019.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. Barueri: Manole, 2008.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos**. 2º ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2000.
- BOETLER, N. M. **Planejamento de produtos orientado pela Biônica: Uso de Bioinspiradores**, 2017. 223f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- BRERETON, M.; MCGARRY, B. An observational study of how objects support engineering design thinking and communication. In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '00, n. 1, 2000. **Anais...** p. 217–224.

BROEK, J. J.; SLEIJFFERS, W.; HORVÁTH, I.; LENNINGS, A. F. Using physical models in design. In: Proceedings of CAID/CD'2000 Conference, 2000. **Anais...** p. 155–163.

BUCHENAU, M.; SURI, J. F. Experience prototyping. Proceedings of the conference on Designing interactive systems processes, practices, methods, and techniques - DIS '00, 2000, New York. **Anais...** New York: ACM Press, 2000. p.424–43.

CALMANOVICI, C. E. A inovação, a competitividade e a projeção mundial das empresas. **Revista USP**, n. 89, p. 190–203, 2011.

CAMBURN, B. A.; SNG, K. H.; PEREZ, K. B.; OTTO, K.; WOOD, K. L.; JENSEN, D.; CRAWFORD, R. The Way Makers Prototype: Principles of DIY Design. In: Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE), 2015, Boston. **Anais...** Boston: ASME, 2015.

CAMBURN, B.; VISWANATHAN, V.; LINSEY, J.; ANDERSON, D.; JENSE, D.; CRAWFORD, R.; OTTO, K.; WOOD, K. Design prototyping methods: state of the art in strategies, techniques, and guidelines. **Design Science**, v. 3, n. e13, 2017.

CASAKIN, H. Visual analogy, visual displays, and the nature of design problems: The effect of expertise. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 37, n. 1, p. 170–188, 2010.

CHAI, C.; CEN, F.; RUAN, W.; YANG, C.; LI, H. Behavioral analysis of analogical reasoning in design: Differences among designers with different expertise levels. **Design Studies**, v. 36, p. 3–30, 2015.

CHAN, J.; FU, K.; SCHUNN, C.; CAGAN, J.; WOOD, K.; KOTOVSKY, K. On the Benefits and Pitfalls of Analogies for Innovative Design: Ideation Performance Based on Analogical Distance, Commonness, and Modality of Examples. **Journal of Mechanical Design**, v. 133, n. 8, p. 081004, 2011.

CHOU, A.; SHU, L. H. Using analogies to explain versus inspire concepts. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM**, v. 29, n. 2, p. 135–146, 2015.

CHRISTENSEN, B. T.; SCHUNN, C. D. The relationship of analogical distance to analogical function and preinventive structure: The case of

engineering design. **Memory and Cognition**, v. 35, n. 1, p. 29–38, 2007.

CORAL, E.; OGLIARI, A.; ABREU, A. F. **Gestão Integrada da Inovação: Estratégia, Organização e Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Atlas, 2008.

CRESWELL, J. W. **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches**. 3<sup>o</sup> ed. Sage, 2009.

CRILLY, N. Fixation and creativity in concept development: The attitudes and practices of expert designers. **Design Studies**, v. 38, p. 54–91, 2015.

CROPLEY, D. H. Creativity in Engineering. In: G. E. Corazza; S. Agnoli (Orgs.); **Creativity in the Twenty First Century: Multidisciplinary Contributions to the Science of Creative Thinking**. Springer, p.155–174, 2016.

FERNANDES, R. B. **Metodologia de apoio ao planejamento de novos produtos por meio de estimuladores biológicos**, 2016. 250f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

Fernandes, RB., Ogliari, A.: Enhancing creativity through Biological Stimuli during new products ideation. **International Journal for Innovation ducation and Research**. v. 6, n. 10, p. 332–350, 2018.

FIRMINO, S. C. **Sistematização do processo de avaliação do impacto da inovação tecnológica de produtos: um estudo de caso na indústria de linha branca**, 2007. 258f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**, 2000. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FU, K.; CHAN, J.; CAGAN, J.; et al. The Meaning of “Near” and “Far”: The Impact of Structuring Design Databases and the Effect of Distance of Analogy on Design Output. **Journal of Mechanical Design**, v. 135, n. 2, p.

021007, 2013.

GENTNER, D. Structure Mapping: A Theoretical Framework for Analogy. **Cognitive Science**, v. 7, p. 155–170, 1983.

GENTNER, D.; MARKMAN, A. B. Structure mapping in analogy and similarity. **American Psychologist**, v. 52, n. 1, p. 45–56, 1997.

GERBER, E.; CARROLL, M. The psychological experience of prototyping. **Design Studies**, v. 33, n. 1, p. 64–84, 2012.

GIL, A. . **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4th ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDSCHMIDT, G.; SMOLKOV, M. Variances in the impact of visual stimuli on design problem solving performance. **Design Studies**, v. 27, n. 5, p. 549–569, 2006.

GONZÁLEZ, C. J. I. **Metodologia para mapeamento tecnológico de produtos auxiliado pelas tendências de evolução da TRIZ**, 2015. 237f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

GRUBISIC, V. V. F. **Metodologia de gerenciamento integrado de riscos técnicos e gerenciais para o projeto de produtos**, 2009. 190f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

GRUBISIC, V. V. F.; OGLIARI, A. Methodology for the technical and managerial risk identification and analysis in the product design process. **Product Management and Development**. v. 14, n. 1, p. 3-11, 2016.

HATCHUEL, A.; LE MASSON, P.; WEIL, B. Teaching innovative design reasoning: How concept-knowledge theory can help overcome fixation effects. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM**, v. 25, p. 77–92, 2011.

HESS, T.; SUMMERS, J. D. Case study: Evidence of prototyping roles in conceptual design. In: Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED13, 2013, Seoul. **Anais...**

HESS, T.; SUMMERS, J. D. Protocol Analysis: Studying Physical Manipulatives During Conceptual Design. In: Proceedings of the ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE), 2014, Buffalo. **Anais...** Buffalo: ASME, 2014.

HIRTZ, J.; STONE, R. B.; MCADAMS, D. A.; SZYKMAN, S.; WOOD, K. L. A functional basis for engineering design: Reconciling and evolving previous efforts. **Research in Engineering Design - Theory, Applications, and Concurrent Engineering**, v. 13, n. 2, p. 65–82, 2002.

HITCHCOCK, D. **On Reasoning and Argument: Essays in Informal Logic and on Critical Thinking**. Springer, 2017.

HOLYOAK, K. J.; THAGARD, P. Analogical Revival by Constraint Satisfaction. **Cognitive Science**, v. 13, n. 3, p. 295–355, 1989.

ISA, S. S.; LIEM, A. Classifying physical models and prototypes in the design process: A study on the economical and usability impact of adopting models and prototypes in the design process. In: 13th International Design Conference - Design, 2014, Dubronikov. **Anais...** p.2071–2082.

JANG, J.; SCHUNN, C. D. Physical Design Tools Support and Hinder Innovative Engineering Design. **Journal of Mechanical Design**, v. 134, n. 4, p. 041001, 2012.

JANSSON, D. G.; SMITH, S. M. Design fixation. **Design Studies**, v. 12, n. 1, p. 3–11, 1991.

JIA, L.; BECATTINI, N.; CASCINI, G.; TAN, R. Testing design stimuli for Design-by-Analogy on a large set of designers. In: Fifth International Conference on Design Creativity (ICDC2018), 2018, Bath. **Anais...**

KERSHAW, T. C.; HÖLTTÄ-OTTO, K.; LEE, Y. S. The Effect of Prototyping and Critical Feedback on Fixation in Engineering Design. In: 33rd Annual Conference of the Cognitive Science Society (CogSci'11), 2011, Boston. **Anais...** p.807–812.

KESHWANI, S.; CHAKRABARTI, A. Influence of Analogical Domains and Abstraction Levels on Novelty of Designs. The Third International Conference on Design Creativity (3rd ICDC), 2015, Bangalore. **Anais...** p.62–69.

KESHWANI, S.; CHAKRABARTI, A. Influence of analogical domains and comprehensiveness in explanation of analogy on the novelty of designs. **Research in Engineering Design**, v. 28, n. 3, p. 381–410, 2017. Springer London.

KIRIYAMA, T.; YAMAMOTO, T. Strategic knowledge acquisition: A case study of learning through prototyping. **Knowledge-Based Systems**, v. 11, n. 7–8, p. 399–404, 1998.

KOLB, D. A. **Individuality in learning and the concept of learning styles**. 2<sup>o</sup> ed. Pearson FT Press, 2014.

KOLB, D. A.; FRY, R. Toward an Applied Theory of Experiential Learning. In: C. Cooper (Org.); **Theories of Group Process**, 1975.

LANDE, M.; LEIFER, L. Prototyping to Learn: Characterizing Engineering Students' Prototyping Activities and Prototypes. In: Proceedings of ICED 09, the 17th International Conference on Engineering Design, 2009, Stanford. **Anais...** p.507–516.

LEMONS, G.; CARBERRY, A.; SWAN, C.; JARVIN, L.; ROGERS, C. The benefits of model building in teaching engineering design. **Design Studies**, v. 31, n. 3, p. 288–309, 2010.

LINSEY, J.; LAUX, J.; CLAUSS, E. Effects of analogous product representation on design-by-analogy. In: Proc. Int. Conf. on Engineering Design, 2007, Paris. **Anais...** . p.1–13.

LINSEY, J. S.; TSENG, I.; FU, K.; et al. A Study of Design Fixation, Its Mitigation and Perception in Engineering Design Faculty. **Journal of Mechanical Design**, v. 132, n. 4, p. 041003, 2010.

LINSEY, J. S.; WOOD, K. L.; MARKMAN, A. B. Modality and representation in analogy. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM**. v. 22, p.85–100, 2008.

LODISH, H.; BERK, A.; CHRIS, A. K.; et al. **Biologia celular e molecular**. 7<sup>o</sup> ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

LOPEZ, R.; LINSEY, J. S.; SMITH, S. M. Characterizing the Effect of Domain Distance in Design-by-Analogy. In: Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2011), 2011,

Washington. **Anais...** Washington: ASME, 2011. p.141–151.

MEINEL, M.; VOIGT, K.-I. What do we really know about creativity techniques? A review of the empirical literature. In: A. Brem; R. Puentediaz; M. Agogué (Orgs.); **The role of creativity in the management of innovation: state of the Art and Future research outlook**. World Scientific p.181, 2017.

MELO, L. M. **Sistematização da configuração da forma de produtos por meio de analogias com a natureza**, 2015. 245f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

MESSERSCHMIDT, P. H. Z. **Sistemática para planejamento de produtos orientado por princípios de projeto universal**, 2018. 253f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

MORENO, D. P.; BLESSING, L. T.; YANG, M. C.; HERNÁNDEZ, A. A.; WOOD, K. L. Overcoming design fixation: Design by analogy studies and nonintuitive findings. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM**, v. 30, p. 185–199, 2016.

MORENO, D. P.; YANG, M. C.; HERNÁNDEZ, A. A.; LINSEY, J. S.; WOOD, K. L. A Step Beyond to Overcome Design Fixation: A Design-by-Analogy Approach Diana. In: J. S. Gero; S. Hanna (Orgs.); **Design Computing and Cognition '14**. p.607–624, 2015.

OGLIARI, A.; MELO, L. M. A biométrica no desenvolvimento de produtos: a relação entre forma e função para obtenção de leiautes iniciais. **DAPesquisa**. v. 10, n. 14, p. 87-104, 2015.

OMAN, S. K.; TUMER, I. Y.; WOOD, K.; SEEPERSAD, C. A comparison of creativity and innovation metrics and sample validation through in-class design projects. **Research in Engineering Design**, v. 24, n. 1, p. 65–92, 2013.

OTTO, K. N.; WOOD, K. L. Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology. **Research in Engineering Design**, v. 10, n. 4, p. 226–243, 1998.

OZKAN, O.; DOGAN, F. Cognitive strategies of analogical reasoning in

design: Differences between expert and novice designers. **Design Studies**, v. 34, n. 2, p. 161–192, 2013.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6<sup>o</sup> ed. São Paulo: Blucher, 2005.

QIAN, L. Engineering Design Synthesis. In: A. Chakrabarti (Org.); **Engineering Design Synthesis: Understanding, Approaches and Tools**. Springer, p.356, 2002.

RAMDUNY-ELLIS, D.; HARE, J.; DIX, A.; GILL, S. Exploring Physicality in the Design Process. In: Proceedings of the Design Research Society Conference, 2008, Sheffield. **Anais...**

ROMANO, L. N. **Modelo de referencia para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**, 2003. 321f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROSS, B. H. This Is Like That: The Use of Earlier Problems and the Separation of Similarity Effects. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, v. 13, n. 4, p. 629–639, 1987.

RULE, A. C.; BALDWIN, S.; SCHELL, R. Second graders learn animal adaptations through form and function analogy object boxes. **International Journal of Science Education**, v. 30, n. 9, p. 1159–1182, 2008.

RULE, A. C.; OLSEN, B. D. Use of Analogy and Comparative Thinking in Scientific Creativity and Gifted Education. In: M. K. Demetrikopolus; J. L. Pecore (Orgs.); **Interplay of Creativity and Giftedness in Science**. SensePublishers. p.301–320, 2016.

RULE, A.; FURLETTI, C. Using form and function analogy object boxes to teach human body systems. **School Science and Mathematics**, v. 104, n. 4, p. 155–169, 2004.

SARKAR, P.; CHAKRABARTI, A. Assessing design creativity. **Design Studies**, v. 32, n. 4, p. 348–383, 2011.

SERRAT, O. **Knowledge Solutions: Tools, Methods, and Approaches to Drive Organizational Performance**. Springer, 2017.

SIO, U. N.; KOTOVSKY, K.; CAGAN, J. Fixation or inspiration? A meta-analytic review of the role of examples on design processes. **Design Studies**, v. 39, p. 70–99, 2015.

SONG, H. I.; LOPEZ, R.; FU, K.; LINSEY, J. Characterizing the Effects of Multiple Analogs and Extraneous Information for Novice Designers in Design-by-Analogy. **Journal of Mechanical Design**, v. 140, n. 3, p. 031101, 2018.

SRINIVASAN, V.; SONG, B.; LUO, J.; et al. Does Analogical Distance Affect Performance of Ideation? **Journal of Mechanical Design**, v. 140, n. 7, p. 071101, 2018.

STARKEY, E. M.; MCKAY, A. S.; HUNTER, S. T.; MILLER, S. R. Dissecting Creativity: How Dissection Virtuality, Analogical Distance, and Product Complexity Impact Creativity and Self-Efficacy. In: J. S. Gero (Org.); **Design Computing and Cognition '16**. Springer. p.59–80, 2017.

TOH, C. A.; MILLER, S. R. The Impact of Example Modality and Physical Interactions on Design Creativity. **Journal of Mechanical Design**, v. 136, n. 9, p. 091004, 2014.

TOH, C. A.; MILLER, S. R.; OKUDAN, G. E. K. The Impact of Product Dissection Activities on the Novelty of Design Outcomes. In: Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE, 2012, Chicago. **Anais...** Chicago: ASME, 2012.

TOH, C. A.; MILLER, S. R. Exploring the Utility of Product Dissection for Early-Phase Idea Generation. In: Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. 2013, Portland. **Anais...** Portland: ASME, 2013. .

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development: Fifth Edition**. 5<sup>o</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 2012.

VASCONCELOS, L. A.; CRILLY, N. Inspiration and fixation: Questions, methods, findings, and challenges. **Design Studies**, v. 42, p. 1–32, 2016.

VERNADAT, F. B. **Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications**. Chapman & Hall, 1996.

VISWANATHAN, V.; ATILOLA, O.; ESPOSITO, N.; LINSEY, J. A study on the role of physical models in the mitigation of design fixation. **Journal of Engineering Design**, v. 25, n. 1–3, p. 25–43, 2014.

VISWANATHAN, V.; LINSEY, J. Understanding physical models in design cognition: A triangulation of qualitative and laboratory studies. In: 41 ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 2011, Rapid City. **Anais...**

VISWANATHAN, V. K.; LINSEY, J. S. Physical Models and Design Thinking: A Study of Functionality, Novelty and Variety of Ideas. **Journal of Mechanical Design**, v. 134, n. 9, p. 091004, 2012a.

VISWANATHAN, V. K.; LINSEY, J. S. A study on the role of expertise in design fixation and its mitigation. In: Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE, 2012b, Chicago. **Anais...** Chicago:ASME, 2012b.

VISWANATHAN, V.; LINSEY, J. Physical examples in engineering idea generation: An experimental investigation. In: ICDC 2012 - 2nd International Conference on Design Creativity, 2012c, Glasgow. **Anais...** p.23–32.

VISWANATHAN, V.; TOMKO, M.; LINSEY, J. A study on the effects of example familiarity and modality on design fixation. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM**, v. 30, p. 171–184, 2016.

WILDLIFE ONLINE. European Hedgehog Size & Appearance. Disponível em: <<https://www.wildlifeonline.me.uk/animals/article/european-hedgehog-size-appearance>>. Acesso em: 1/3/2019.

YOUMANS, R. J. The effects of physical prototyping and group work on the reduction of design fixation. **Design Studies**, v. 32, n. 2, p. 115–138, 2011.

## APÊNDICE A – Métodos de criatividade mais comuns na literatura

<b>Intuitivos</b>	<b>Descrição</b>
<i>Brainstorming</i>	O objetivo é estimular um grupo a apresentar ideias, sem avaliação nem críticas, focando na quantidade.
<i>Brainwrting</i>	Cada participante do método registra suas ideias em um papel. Após um período, o papel é passado para outro participante, que deve gerar suas ideias relacionando-as com as do participante anterior. Também chamado de método 635, 6 participantes devem contribuir com 3 ideias em períodos de 5 minutos.
<i>Syntetics</i>	É um método que unifica o pensamento independente e contraditório, em que os participantes lidam com o problema a partir de diferentes perspectivas.
MESCRAI	Advém da sigla “Modifique, Elimine, Substitua, Combine, Rearranje, Adapte, Inverta”. Os termos funcionam como uma lista de verificação, que estimula modificações no produto quando alguma melhoria é necessária.
Analogias	Parte de novas perspectivas para encontrar soluções para o problema, a partir de associações com exemplos de diferentes domínios.
Método de Delphi	Consistem em coletar opiniões de um grupo de especialistas, através de um questionário estruturado, em três rodadas sucessivas
<b>Sistemáticos</b>	<b>Descrição</b>
Matriz Morfológica	Descrita em detalhes na seção 2.2.
TRIZ	Teoria criada para resolver problemas de engenharia, com diferentes métodos. Um deles é o dos princípios inventivos, que soluciona contradições (ex. maior capacidade de carga e menor peso) com base em 40 princípios.
Análise de Valor	O objetivo é melhorar o valor, ou reduzir custos do objeto em estudo. O método consiste em aplicar um questionário com 15 questões, de forma que a análise das respostas apresente os pontos de melhoria (ex. Este componente pode ser eliminado?).

Fonte: Meinel; Voigt (2017), Back et al. (2008), Baxter (2000), e Pahl et al. (2005).



## APÊNDICE B – Exemplos de aplicação da sistemática de construção dos modelos físicos

O problema de projeto utilizado para exemplificar a aplicação da sistemática é o Problema 2, apresentado no Quadro 4.8. A função de interesse é “Remover a casca”, para o desenvolvimento de um descascador de frutas, tendo como requisitos que: ele será usado somente para laranjas (fruta esférica); deve suportar qualquer tamanho da fruta; deve atuar em toda a superfície da fruta; deve ser fácil de utilizar.

### **Exemplo 1:**

O planejamento para o produto é desenvolvê-lo rapidamente, por isso, devem ser empregadas tecnologias existentes em outros sistemas técnicos, adaptadas às necessidades do descascador.

**Tarefa 1.1:** O objetivo do processo de ideação é propor soluções com capacidade de serem rapidamente desenvolvidas, pelo aproveitamento de tecnologias existentes no mercado, considerando-se uma **inovação incremental** aos descascadores existentes.

**Tarefa 1.2:** O escopo dos sistemas que serão as fontes de analogia é **ser um sistema técnico com função análoga à de interesse para o projeto.**

### **Tarefa 1.3:**

A utilização da base funcional, como ferramenta de auxílio na busca por sistemas análogos, é proposta apenas quando a fonte de analogia pertencer a sistemas técnicos, que exerçam função análoga a de interesse. Sugere-se a utilização da base funcional proposta por Hirtz et al. (2002), apresentada no Anexo A.

Em função de sistemas técnicos serem comuns em um ambiente de projeto de sistemas mecânicos, é possível que exista certa fixação funcional no facilitador do processo de ideação, que deve construir os modelos físicos, fazendo com que ele opte por sistemas conhecidos e inseridos na rotina de trabalho. Portanto, nesse caso específico, a tarefa inicia buscando identificar, na base funcional, à qual função primária pertence a função de interesse, para então considerar as demais funções pertencentes a este grupo. A partir disso, procuram-se sistemas que realizem as funções das classes secundária, terciária e correspondentes, que são funções análogas à de interesse. O objetivo desta abordagem é que, com maior quantidade de palavras e representações de uma mesma classe de funções, exista uma diminuição da fixação funcional e mais opções de sistemas técnicos possam ser exploradas.

A função “Remover a casca” pertence a categoria “Ramificar”, em que as funções correspondentes são apresentadas no Quadro B.1.

Quadro B.1 - Classe "Ramificar" da base funcional.

Primária (classe)	Secundária	Terciária	Correspondentes
Ramificar	Separar	Dividir	Isolar, cortar, desunir
			Desintegrar, isolar, libertar, ordenar, repartir, desconectar, subtrair
		Extrair	Refinar, filtrar, purificar, coar, esforçar, descobrir.
		Remover	Cortar, furar, tornear, polir.
	Distribuir		Difundir, afastar, dispersar, dissipar, divergir, espalhar.

Fonte: Adaptado de Hirtz (2002)

Portanto, são sugeridos os seguintes sistemas análogos: Torno mecânico, que remove material das peças durante o processo de usinagem; Lixadeira, que remove material de superfícies pela ação de uma lixa; Barbeador, que remove pelos do corpo; Ralador; que separa pequenas partes de um alimento e a Guilhotina, que separa partes de uma chapa metálica.

**Tarefa 1.4:** Por se tratarem de sistemas técnicos, existe a possibilidade de os projetistas se fixarem naqueles que eles considerarem mais úteis para a execução da função de interesse. Por isso, sugere-se que a priorização seja feita por meio de uma matriz de comparação, com base no critério "Utilidade para descascar uma laranja", assinalando + quando for considerado que o sistema comparado é mais útil, ou -, quando o sistema for menos útil. O sinal de + equivale a 1 ponto, enquanto o sinal de - equivale a -1 ponto. Os sistemas com menor pontuação são aqueles considerados mais improváveis para a execução da função de interesse e, portanto, tendem a gerar menos fixação funcional nos projetistas. A exemplificação desta abordagem é apresentada no Quadro B.2.

Quadro B.2 - Comparação dos sistemas técnicos para a função "Remover a casca".

	1	2	3	4	5	Total	Legenda
1	0	+	+	-	+	2	1 – Torno Mecânico;
2	-	0	-	-	+	-2	2 – Lixadeira;
3	-	+	0	-	+	0	3 – Barbeador;
4	+	+	+	0	+	4	4 – Ralador;
5	-	-	-	-	0	-4	5 – Guilhotina.

A classificação dos sistemas é a seguinte:

- 1° - Guilhotina;
- 2° - Lixadeira;
- 3° - Barbeador;
- 4° - Torno Mecânico;
- 5° - Ralador.

As demais atividades e tarefas seguem as mesmas considerações do exemplo de aplicação apresentado no Capítulo 4, não demandando maior detalhamento.

### **Exemplo 2:**

Esse exemplo mostra como é feita a busca pelas fontes de analogia quando o objetivo do projeto é implementar características específicas na solução. No caso, a necessidade é de um princípio específico do projeto universal.

**Produto:** Descascador de laranja;

O planejamento para o produto é desenvolver um sistema que diminua os esforços dos usuários durante a utilização. Portanto, como a tarefa que emprega maior esforço durante a utilização de um descascador é a remoção da casca da fruta, a função de interesse é “remover a casca”.

**Requisitos:** Descascador será usado somente para laranjas (fruta esférica); deve suportar qualquer tamanho da fruta; deve atuar em toda a superfície da fruta; deve ser fácil de utilizar.

### **Tarefa 1.1:**

Um produto desenvolvido com base no projeto universal tem como características: a capacidade de ser utilizado por qualquer pessoa, sem a necessidade de adaptações ou especializações, na medida do possível. Os sete princípios de projeto universal são:

- 1 – Uso equitativos;
- 2 – Flexibilidade de uso;
- 3 – Uso intuitivo;
- 4 – Informação perceptível;
- 5 – Tolerância ao erro;
- 6 – Baixo esforço físico;
- 7 – Tamanho e espaço para acesso e uso.

Pelo requisito de diminuir o esforço do usuário, define-se que o objetivo do processo de ideação é **implementar o princípio 6 do projeto universal**, “Baixo esforço físico”, na solução da função.

**Tarefa 1.2:** A característica dos sistemas que serão as fontes de analogia é **ser um sistema técnico que implemente o princípio 6 de Projeto Universal**.

A preferência por sistemas técnicos se deu pela maior dificuldade em encontrar princípios de projeto universal em outros domínios de conhecimento, como a biologia por exemplo.

**Tarefa 1.3:** Os sistemas são os seguintes: a Maçaneta tipo alavanca, que diminui o esforço para girar a maçaneta e abrir a porta; Torneiras de alavanca, que diminui o esforço para abrir a torneira; Ferramentas com cabo emborrachado com ranhuras, que facilita a pegada e assim diminui o esforço de utilização; Cabo do machado com estrutura oca, que diminui o peso do produto e assim possibilita menor esforço físicos na sua utilização.

**Tarefa 1.4:**

A priorização das fontes de analogia, nesse caso, precisa considerar a quantidade de princípios que devem ser representadas pelos modelos físicos. Por exemplo, se três princípios do projeto universal são importantes na geração das concepções, e foram encontradas apenas uma fonte de analogia que utiliza o princípio, as três possuem igual prioridade. Caso seja necessário priorizar as fontes de analogia dentro de um mesmo princípio, sugere-se empregar uma matriz de comparação, com o critério que avalia qual fonte representa melhor o princípio a ser empregado nas soluções.

No exemplo, o conceito é o princípio 6 do projeto universal (baixo esforço físico), de maneira que o critério de comparação deve ser “qual sistema proporciona menor esforço físico na utilização”. A matriz é construída assinalando um sinal de + (igual a 1 ponto) quando o sistema sendo comparado apresenta vantagem no critério; um sinal de – (igual a -1 ponto) quando o sistema comparado é menos eficiente no critério; e 0 (igual a 0 ponto) quando os dois sistemas estão em igualdade com relação ao critério. Ao final, faz-se a priorização das fontes por uma ordem decrescente dos pontos somados de cada uma.

O Quadro B.3 apresenta a matriz utilizada para a priorização.

Quadro B.3 - Comparação dos sistemas técnicos com relação à representação do princípio 6 de Projeto Universal.

	1	2	3	4	Total	Legenda
1		+	0	+	2	1 – Maçaneta tipo alavanca;
2	-		0	+	0	2 – Torneira de alavanca;
3	-	-		+	-1	3 – Machado com cabo em estrutura oca;
4	-	-	-		-2	4 – Ferramenta com cabo emborrachado com ranhuras

A priorização dos sistemas é a seguinte:

- 1° Maçaneta tipo alavanca;
- 2° Torneira de alavanca;
- 3° Machado com cabo oco;
- 4° Ferramentas de cabo emborrachado com ranhuras.

Ressalta-se que, quando o objetivo for garantir que os projetistas entendam determinado conceito, para empregá-lo nas soluções, a apresentação de diversas fontes de analogia contendo a mesma informação facilita este processo (SONG et al., 2018).

## Atividade 2

### Tarefa 2.1

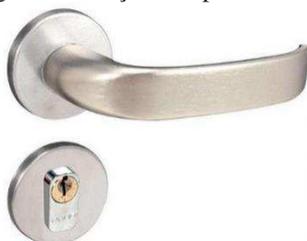
O resultado da Tarefa 2.1 é apresentado no Quadro B.4, para o sistema da maçaneta tipo alavanca.

Quadro B.4 - Texto descritivo para a maçaneta tipo alavanca.

#### Descrição da Maçaneta tipo Alavanca

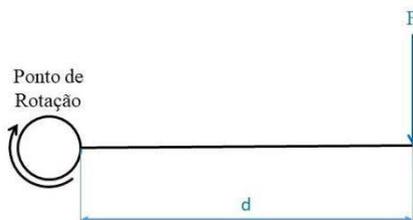
A maçaneta tipo alavanca emprega um pegador para a mão que possibilita aplicar a força na direção vertical (sentido da aceleração da gravidade), à uma certa distância do eixo de rotação, que permite abrir a porta utilizando menos força. Um exemplo do sistema é apresentado na Figura 1. Essa dinâmica aumenta o torque empregado no ponto de rotação, facilitando a abertura da porta. O conceito é explicado pela Figura 2.

Figura 1 – Maçaneta tipo Alavanca.



Fonte: <https://www.mundodasfechaduras.com.br/>

Figura 2 – Conceito de torque.



Continua

<b>Descrição da Maçaneta tipo Alavanca</b>
--

O torque é calculado pelo seguinte:  $T=F.d$ .

Então, ao aumentar a distância de aplicação da força ao ponto de rotação, aumenta-se o torque. Isso garante que menos força precise ser empregada para gerar o torque necessário para girar a maçaneta e abrir a porta, facilitando a utilização do sistema por qualquer tipo de pessoa.

### **Tarefa 2.2**

O resultado da Tarefa 2.2 é apresentado no Quadro B.5, para o sistema da maçaneta tipo alavanca. As atividades 3 e 4 seguem as mesmas orientações apresentadas no capítulo 4.

Quadro B.5 - Identificação dos objetos, com base no modelo FEARC, para a maçaneta tipo alavanca.

<b>Função</b>
Diminuir esforço físicos para abrir a porta
<b>Elementos e Atributos (Importância na execução da função)</b>
- Pegador para mão (5); - Eixo de rotação (5).
<b>Relações (Importância na execução da função)</b>
- Aplicar força no pegador de mão, na direção vertical, no sentido da aceleração da gravidade (5); - Ponto de aplicação da força é distante do eixo de rotação (5);
<b>Comportamentos (Importância na execução da função)</b>
- Aumentar o torque e facilitar a abertura da porta (5).
<b>O que deve ser representado no modelo</b>
- Representar os elementos; - Representar as relações; - Exemplificar o comportamento de facilitar a abertura pelo aumento do torque.

## APÊNDICE C – Cartões Informativos utilizados nas duas Fases do experimento de avaliação dos modelos físicos

Figura C.1 - Cartão informativo sobre a pálpebra dos olhos, utilizado na Fase I do experimento.

### Pálpebra dos Olhos

#### Função

Remover objetos estranhos do globo ocular.

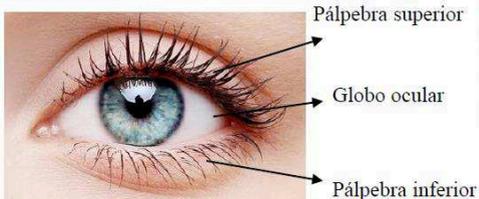


Figura 1

#### Outras aplicações

Proteger; Umidificar;  
Limpar; Cobrir;  
Envolver; Movimentar;  
Guiar; Abrir; Fechar.

As pálpebras tem a função de proteger o olho contra objetos estranhos, impedindo que cheguem até a superfície através do fechamento rápido, ou removendo-os durante o piscar dos olhos. Os humanos possuem duas pálpebras, a superior e a inferior, sendo as duas parecidas estruturalmente. Porém, a pálpebra superior é mais móvel, por ter a musculatura mais desenvolvida.

A Figura 2 demonstra a atuação das pálpebras, com o olho fechado e aberto.



Figura 2

#### Contribuição do conteúdo

Remoção por ação sobre a superfície; Atuação de dois sistemas simultaneamente; Resposta rápida à um estímulo; Diferença na capacidade de movimento.

Figura C.2 - Cartão informativo sobre o giro dos animais para secagem, utilizado na Fase I do experimento.

## Giro dos animais para secagem

### Função

Remover grandes gotas de água do pelo.



Pelos

Gotas de água

### Outras aplicações

Secar; Limpar; Agitar  
Girar; Acelerar; Mudar  
posição; Mudar direção;  
Desacumular

Figura 1

Os animais giram o seu corpo para remover grandes gotas de água depositadas no pelo, livrando-se de mais de 70% da água.

A agitação é feita ao redor do eixo central do corpo, semelhante à uma centrífuga. Como a pele se desloca em um arco, animais maiores geram mais força no movimento, enquanto animais menores agitam em uma frequência maior.

Como os mamíferos peludos tendem a ter a pele solta, ela continua se movendo no final de uma rotação, enquanto o animal já está girando na direção oposta. Dessa forma, quando a pele atinge sua extensão total, ela é empurrada pelo corpo, que já está se movendo rapidamente na direção oposta, gerando forças elevadas nas gotas de água, aumentando a eficiência do movimento. A Figura 2 demonstra o movimento.



Figura 2

### Contribuição do conteúdo

Remoção por ação de força centrífuga; Movimento alternado para aumentar a eficiência; Diferentes tamanhos para aproveitar a relação entre força e frequência do movimento; Giro ao redor do eixo central.

Figura C.3 - Cartão informativo sobre a Cinesina-1, frente, utilizado na Fase II do experimento.

## Cinesina-1

### Função

Movimentar organelas no interior das células.

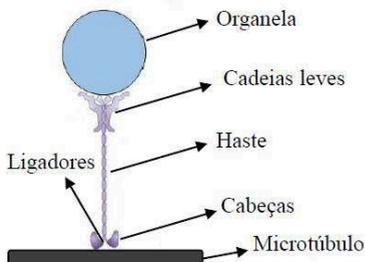


Figura 1

### Outras aplicações

Transportar; Mudar posição;  
Direcionar; Guiar;  
Carregar; Caminhar;

A Cinesina-1 movimentada as organelas no interior das células. Esse transporte é feito através de rotas bem definidas, por meio dos microtúbulos, que funcionam como trilhos no transporte intracelular. O movimento da Cinesina-1 é espontâneo, e acontece conforme apresentado na Figura 2.

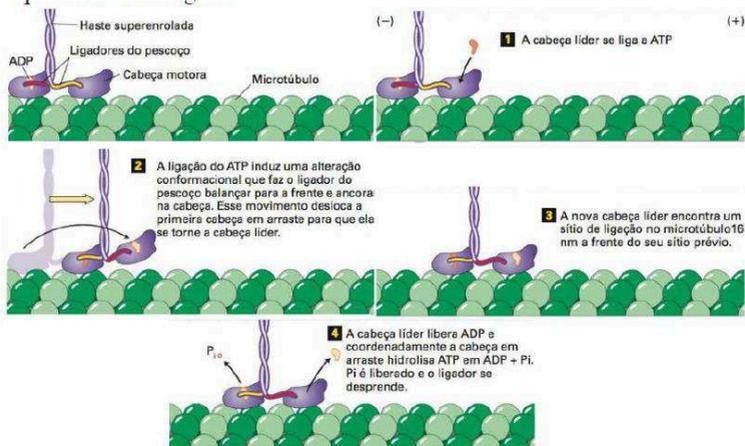


Figura 2

### Contribuição do conteúdo

Movimento coordenado; Movimento com sentido único;  
Movimento com direção bem definida; Cada movimento influencia no seguinte; Característica de “Passo a passo”; Girar para promover um avanço linear.

Figura C.4 - Cartão informativo sobre a Cinesia-1, verso, utilizado na Fase II do experimento.

### **Glossário**

Organela – Pequenos grãos que realizam as atividades celulares essenciais para as células.

ATP – Sigla para Adenosina Trifosfato, essa molécula constitui a principal forma de energia química para as células.

ADP – Sigla para Adenosina Difosfato, sempre que é requerida energia para a célula, ocorre a conversão do ATP em ADP + P<sub>i</sub>.

P<sub>i</sub> – Radical de fosfato inorgânico, liberado pela molécula de ATP.  
Hidrólise – Reação de decomposição ou alteração de uma substância pela água.

Figura C.5 - Cartão informativo sobre o Espinho do Ouriço Europeu, utilizado na Fase II do experimento.

## Espinho do Ouriço Europeu

### Função

Movimentar em diferentes direções.

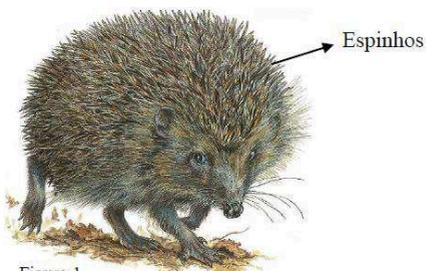


Figura 1

### Outras aplicações

Proteger; Mudar posição; Mudar direção; Impermeabilizar; Fixar; Amortecer; Deslocar; Oscilar; Isolar.

Os espinhos do Ouriço europeu têm a capacidade de se movimentar em diferentes direções, devido à forma como ele é ligado na pele do animal. Eles são pelos modificados e móveis, com um pequeno músculo, que o puxa para cima e garante que cada um tenha o movimento independente.

Na base de cada espinho existe um bulbo esférico, que proporciona excelente ancoragem na pele e impede que o espinho seja empurrado para o corpo do ouriço durante algum impacto. Os espinhos estão distribuídos dorsalmente e descansam em uma capa mais profunda de gordura do tecido subcutâneo.

A Figura 2 ilustra o espinho do ouriço e sua disposição na pele do animal.

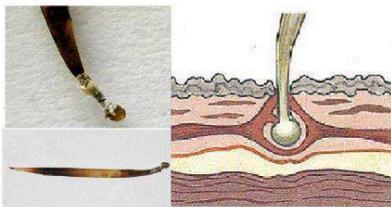


Figura 2

### Contribuição do conteúdo

Ancoragem que permite o movimento em várias direções; Movimento independente de vários sistemas; Acionamento independente; Deslocamento de um sistema fixo em um ponto.



## APÊNDICE D – Instrumentos de trabalho utilizados na Fase I do experimento

Figura D.1 - Descrição do problema e atividade da Fase I do experimento.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
EMC 5302 – METODOLOGIA DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

### Geração de Ideias para um Descascador de Frutas

Mestrando: Matheus Silveira Galvão Gomes

Orientador: Prof. André Ogliari

#### Problema 1:

- A laranja foi a fruta mais comercializada no Brasil no primeiro trimestre de 2018<sup>1</sup>. Costumeiramente, a fruta é consumida sem casca, tendo a sua total remoção em certos casos. Além disso, a grande gama de aplicações da fruta, como em bolos, doces, sucos, etc., impõe que exista uma maneira fácil de remover a casca, principalmente para o consumo em grandes quantidades.

**Síntese Funcional do Descascador de frutas:** Apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Síntese funcional.



Fonte: Autoria própria

**Atividade 1** - Propor soluções para a função “Remover a casca”.

Os alunos devem propor sistemas capazes de remover a casca da fruta, com qualquer acionamento, atendendo aos requisitos dos usuários.

**Requisitos:** - O descascador será usado somente para laranjas (fruta esférica);

- Deve suportar qualquer tamanho da fruta;
- Deve atuar em toda a superfície da fruta;
- Deve ser fácil de utilizar.

- Gerar as ideias que atendam a atividade proposta, utilizando as informações contidas nesta folha de instruções e nos cartões informativos, em uma sessão de *brainstorming*.

- Registrar nos devidos campos do formulário: o desenho da ideia, a descrição das características e as funções presentes.

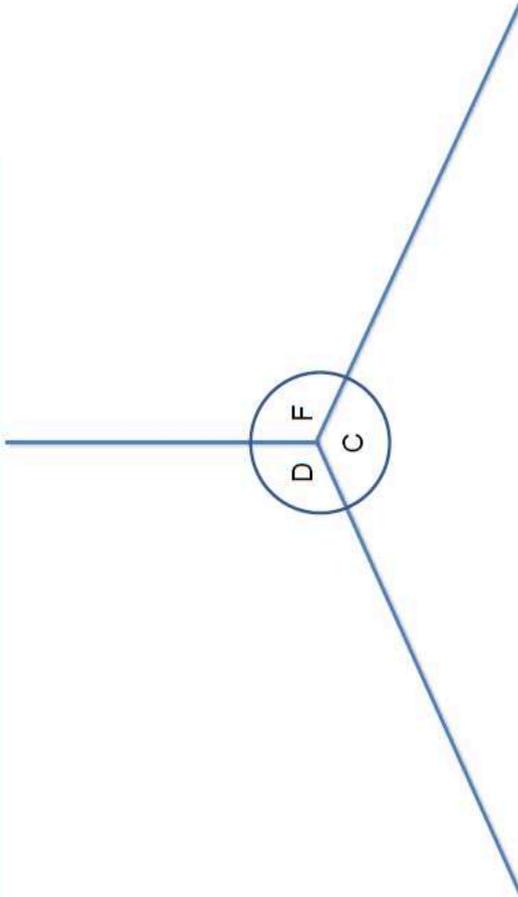
<sup>1</sup> Fonte: Disponível em: <<https://sfagro.uol.com.br/20-frutas-mais-comercializadas-2018/>> Acesso em: 14 Setembro 2018

Figura D.2 - Formulário para registro das ideias geradas.



Formulário para registro das ideias  
Equipe: \_\_\_\_\_

Problema: \_\_\_\_\_



D = desenho da ideia  
F = funções presentes  
C = características

Figura D.3 - Cartão informativo sobre a pálpebra dos olhos, utilizado na Fase I do experimento.

## Pálpebra dos Olhos

### Função

Remover objetos estranhos do globo ocular.

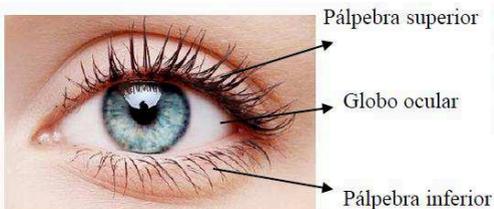


Figura 1

### Outras aplicações

Proteger; Umidificar;  
Limpar; Cobrir;  
Envolver; Movimentar;  
Guiar; Abrir; Fechar.

As pálpebras tem a função de proteger o olho contra objetos estranhos, impedindo que cheguem até a superfície através do fechamento rápido, ou removendo-os durante o piscar dos olhos.

Os humanos possuem duas pálpebras, a superior e a inferior, sendo as duas parecidas estruturalmente. Porém, a pálpebra superior é mais móvel, por ter a musculatura mais desenvolvida.

A Figura 2 demonstra a atuação das pálpebras, com o olho fechado e aberto.



Figura 2

### Contribuição do conteúdo

Remoção por ação sobre a superfície; Atuação de dois sistemas simultaneamente; Resposta rápida à um estímulo; Diferença na capacidade de movimento.

Figura D.4 - Cartão informativo sobre o pelo de animais, utilizado na Fase I do experimento.

## Giro dos animais para secagem

### Função

Remover grandes gotas de água do pelo.



Pelos

Gotas de água

### Outras aplicações

Secar; Limpar; Agitar  
Girar; Acelerar; Mudar  
posição; Mudar direção;  
Desacumular

Figura 1

Os animais giram o seu corpo para remover grandes gotas de água depositadas no pelo, livrando-se de mais de 70% da água.

A agitação é feita ao redor do eixo central do corpo, semelhante à uma centrífuga. Como a pele se desloca em um arco, animais maiores geram mais força no movimento, enquanto animais menores agitam em uma frequência maior.

Como os mamíferos peludos tendem a ter a pele solta, ela continua se movendo no final de uma rotação, enquanto o animal já está girando na direção oposta. Dessa forma, quando a pele atinge sua extensão total, ela é empurrada pelo corpo, que já está se movendo rapidamente na direção oposta, gerando forças elevadas nas gotas de água, aumentando a eficiência do movimento. A Figura 2 demonstra o movimento.



Figura 2

### Contribuição do conteúdo

Remoção por ação de força centrífuga; Movimento alternado para aumentar a eficiência; Diferentes tamanhos para aproveitar a relação entre força e frequência do movimento; Giro ao redor do eixo central.

## APÊNDICE E – Avaliações das ideias geradas na Fase I do experimento.

As ideias geradas durante os dois dias de experimento foram transcritas para uma planilha, conforme a Figura E.1.

Figura E.1 - Processo de armazenamento das ideias em uma planilha.

Formulários com o registro das ideias geradas

**Funções**

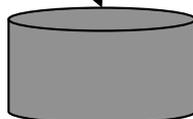
- 4 - Ondular a superfície da cadeira e colchão
- Movimentar paciente para a direita e esquerda com base na inclinação da manta pela subida ou descida das esferas

**Características**

- 1 - Pequenas esferas controladas eletronicamente
- 2 - Cadeira reclinável, fica na horizontal
- 3 - Colchão da cama com a manta por cima
- 4 - Manta eletrônica

**Desenho**

- 1) pequenas esferas controladas eletronicamente
- 2) cadeira reclinável / fica na horizontal
- 3) deitad da cama com a manta por cima
- 4) manta eletrônica



Armazenamento das ideias geradas em uma planilha eletrônica

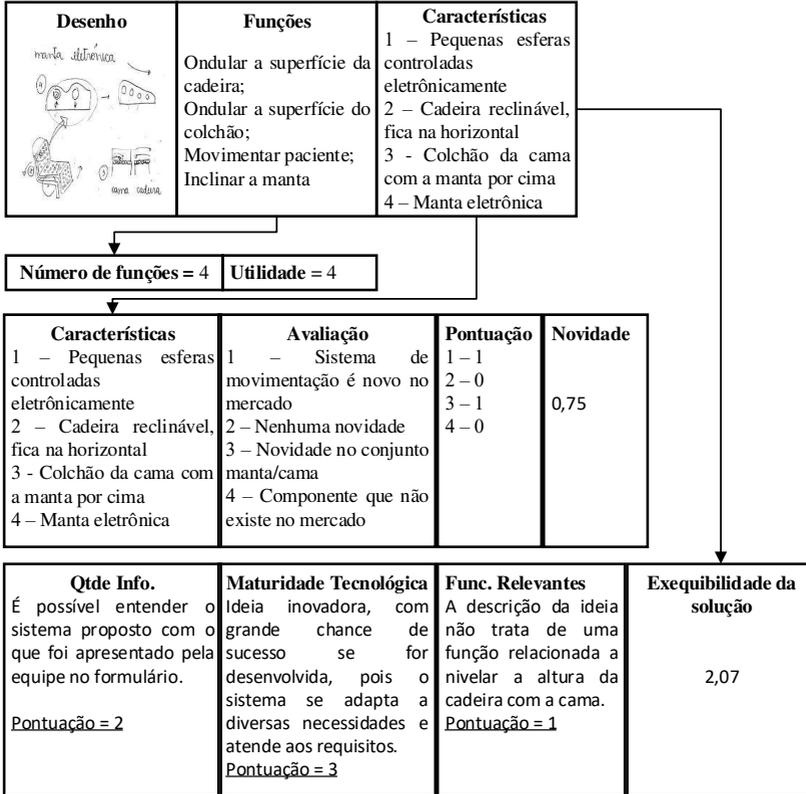
Visão parcial da planilha

Desenho	Funções	Características
<p>manta eletrônica</p> <p>cama caduna</p>	4 - Ondular a superfície da cadeira; Ondular a superfície do colchão; Movimentar paciente; Inclin a manta	1 - Pequenas esferas controladas eletronicamente 2 - Cadeira reclinável, fica na horizontal 3 - Colchão da cama com a manta por cima 4 - Manta eletrônica

Após o armazenamento das ideias no formato da planilha eletrônica, os especialistas fizeram a avaliação das ideias, pelas definições das métricas sugeridas, com base na descrição textual e no desenho apresentado. A Figura E.2 exemplifica o processo de avaliação das ideias,

utilizando as definições das métricas apresentadas no Capítulo 4, na seção 4.2.1, com as mesmas considerações apresentadas na seção 4.3.1, em que a avaliação da ideia da Figura E.2 foi explicada em detalhes.

Figura E.2 - Processo de avaliação das ideias.



As instruções de leitura das tabelas dos resultados das avaliações das ideias são apresentadas na Figura E.3.

Figura E.3 - Instruções de leitura da tabela dos dados das avaliações.

Grupo		Equipe	9 ideias geradas pela equipe A1	Novidade Ideia 1	Novidade Ideia 2	Novidade Ideia 3	Novidade Ideia 4	Novidade Ideia 5	Novidade Ideia 6	Novidade Ideia 7	Novidade Ideia 8	Novidade Ideia 9
A	1	9		0,2;	1;	0,67;	0,25;	0,25;	0,5;	0;	0,5;	1

Grupo		Equipe	9 ideias geradas pela equipe A1	Nº funções Ideia 1	Nº funções Ideia 2	Nº funções Ideia 3	Nº funções Ideia 4	Nº funções Ideia 5	Nº funções Ideia 6	Nº funções Ideia 7	Nº funções Ideia 8	Nº funções Ideia 9
A	1	9		5;	4;	3;	5;	4;	4;	3;	4;	2

Grupo		Equipe	9 ideias geradas pela equipe A1	Exequibilidade Ideia 1	Exequibilidade Ideia 2	Exequibilidade Ideia 3	Exequibilidade Ideia 4	Exequibilidade Ideia 5	Exequibilidade Ideia 6	Exequibilidade Ideia 7	Exequibilidade Ideia 8	Exequibilidade Ideia 9
A	1	9		1,67;	1,33;	1,33;	0;	1,66;	2,66;	1,99;	1,74;	1,33

As avaliações das ideias geradas, segundo as métricas novidade, utilidade e exequibilidade da solução, são apresentadas na Tabela E.1, Tabela E.2 e

Tabela E.3, pela avaliação dos especialistas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela E.1 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase I do experimento, para o especialista 1.

Grupo	Equipe	Ideias	Novidade por Ideia	Nº de funções	Exequibilidade da solução
<b>A</b>	1	9	0,2; 1; 0,67; 0,25; 0,25; 0,5; 0; 0,5; 1	5; 4; 3; 5; 4; 4; 3; 4; 2	1,67; 1,33; 1,33; 0; 1,66; 2,66; 1,99; 1,74; 1,33
	2	3	0; 0,75; 0	8; 5; 5	2,66; 0,93; 2,25
	3	3	0,33; 0,4; 0,33	4; 2; 3	2,25; 1,66; 1,66
	4	8	0,67; 0,78; 0; 0,5; 0,67; 0,5; 0,75; 1	4; 6; 4; 5; 3; 4; 4; 4	2; 1,59; 2,25; 1,59; 1,66; 2; 1,33; 1,66
	5	7	0,25; 1; 0; 0,75; 0,6; 1; 0,67	5; 4; 1; 4; 4; 4; 3	1,67; 1,92; 1,99; 2,07; 1,59; 1,74; 1,66
	6	8	0,6; 0,5; 0,75; 0,5; 0,25; 0,4; 0,6; 0,5	5; 7; 3; 5; 2; 2; 7; 2	2; 1,67; 2,4; 1,92; 1,66; 2,4; 1,33; 1,99
	7	4	0,5; 0,2; 0,5; 0,17	3; 8; 5; 3	0,67; 2,25; 2,33; 1,26
<b>B</b>	8	6	0; 0; 1; 0,6; 0; 0,75	5; 4; 3; 5; 3; 5	2,66; 2,66; 0,67; 2; 1,99; 1,74
	9	3	0,33; 0,4; 0,5	6; 4; 6	0,67; 2,25; 1,26
	10	7	0,33; 0,5; 0,6; 0,29; 0,25; 1; 0,5	3; 5; 6; 6; 4; 5; 3	1,59; 1,59; 2; 2,25; 1,92; 1,26; 1,66
	11	4	0,6; 0,2; 0,25; 0,33	6; 4; 3; 3	1,66; 2,66; 1,66; 1,99
	12	6	0,75; 0,25; 0,75; 0,5; 0; 0,5	2; 3; 2; 3; 4; 2	1,66; 2,07; 1,66; 1,59; 2,33; 1,66
	13	6	0,71; 0,5; 0,5; 0,8; 0,25; 1	5; 3; 4; 5; 2; 5	1,59; 1,66; 1,92; 2; 1,41; 1,66
	14	5	0; 0,71; 0,2; 0,75; 0,5	5; 6; 6; 6; 5	2,25; 1,92; 2,4; 1,59; 1,66

Tabela E.2 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase I do experimento, para o especialista 2.

Grupo	Equipe	Ideias	Novidade por ideia	Nº de funções	Exequibilidade da solução
<b>A</b>	1	9	0,20; 1,00; 0,00; 0,25; 0,00; 0,25; 0,00; 0,25; 1,00	5; 4; 3; 5; 4; 4; 3; 4; 2	2,66; 1,33; 0,74; 0,41; 1; 1,33; 0,59; 1,33; 1,33
	2	3	0,00; 0,50; 0,00	8; 5; 5	2,66; 0,93; 2,25
	3	3	0,33; 0,20; 0,00	4; 2; 3	2,25; 0,67; 1,66
	4	8	0,00; 0,44; 0,00; 0,50; 0,67; 0,50; 1,00; 1,00	4; 6; 4; 5; 3; 4; 4; 4	2; 1,59; 1,99; 1,59; 1,33; 1,59; 1,33; 1,33
	5	7	0,00; 0,75; 0,00; 0,80; 0,60; 1,00; 0,67	5; 4; 1; 4; 4; 4; 3	1,59; 1,59; 1,25; 1,74; 1,48; 0,41; 1,66
	6	8	0,40; 0,25; 0,75; 0,67; 0,00; 0,20; 0,60; 0,00	5; 7; 3; 5; 2; 2; 7; 2	2; 2; 2,07; 1,74; 0,67; 1,99; 2; 0,41
	7	4	0,00; 0,20; 0,67; 0,17	3; 8; 5; 3	0,26; 2,66; 2,33; 1
<b>B</b>	8	6	0,00; 0,50; 0,00; 0,60; 0,33; 0,25	5; 4; 3; 5; 3; 5	2,66; 2,66; 0,67; 2; 1,33; 1,74
	9	3	0,33; 0,20; 0,50	6; 4; 6	0,67; 2,25; 1,59
	10	7	0,33; 0,50; 0,50; 0,14; 0,00; 1,00; 0,50	3; 5; 6; 6; 4; 5; 3	1,59; 1,33; 2; 2,66; 0; 1,33; 1,74
	11	4	0,40; 0,20; 0,25; 0,33	6; 4; 3; 3	1,66; 1,92; 1,92; 1,99
	12	6	0,50; 0,25; 0,50; 0,50; 0,17; 0,00	2; 3; 2; 3; 4; 2	1,33; 2,66; 0,67; 1,33; 1,66; 1,99
	13	6	0,57; 0,00; 0,25; 0,40; 0,25; 0,67	5; 3; 4; 5; 2; 5	1,74; 1,66; 1,34; 2; 1,41; 1,66
	14	5	0,00; 0,57; 0,20; 0,50; 0,50	5; 6; 6; 6; 5	2,66; 1,92; 1,99; 1,59; 1,66

Tabela E.3 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase I do experimento, para o especialista 3.

Grupo	Equipe	Ideias	Novidade	Nº de funções	Exequibilidade da solução
<b>A</b>	1	9	0,20; 0,75; 0,67; 0,25; 0,50; 0,50; 0,00; 0,50; 1,00	5; 4; 3; 5; 4; 4; 3; 4; 2	1,67; 1,33; 1,33; 0; 1,66; 2,33; 1,99; 2; 1,33
	2	3	0,00; 0,75; 0,00	8; 5; 5	1,67; 0,41; 2,66
	3	3	0,33; 0,40; 0,33	4; 2; 3	2,25; 1,33; 1,66
	4	8	1,00; 0,78; 0,00; 0,75; 0,67; 0,50; 0,75; 1,00	4; 6; 4; 5; 3; 4; 4; 4	2,33; 2; 2,25; 1,59; 1,66; 2; 1,33; 1,66
	5	7	0,25; 1,00; 0,00; 0,80; 0,60; 1,00; 1,00	5; 4; 1; 4; 4; 4; 3	1,67; 1,92; 1,99; 2,07; 1,59; 1,74; 1,66
	6	8	0,40; 0,50; 0,50; 0,50; 0,25; 0,40; 0,40; 0,50	5; 7; 3; 5; 2; 2; 7; 2	2; 1,67; 2,4; 1,92; 1,66; 2,4; 1,33; 1,99
	7	4	0,50; 0,20; 0,50; 0,00	3; 8; 5; 3	0,67; 2,25; 2,33; 2,25
<b>B</b>	8	6	0; 0,5; 1; 0,6; 0,33; 0,5	5; 4; 3; 5; 3; 5	2,66; 2,66; 0,67; 2; 1,99; 1,74
	9	3	0,33; 0,40; 0,38	6; 4; 6	0,67; 2,25; 1,26
	10	7	0,33; 0,50; 0,40; 0,29; 0,25; 1,00; 0,50	3; 5; 6; 6; 4; 5; 3	1,59; 1,59; 2; 2,25; 1,92; 1,26; 1,99
	11	4	0,60; 0,20; 0,25; 0,33	6; 4; 3; 3	1,66; 2,66; 1,66; 1,99
	12	6	0,75; 0,00; 0,50; 0,50; 0,00; 0,50	2; 3; 2; 3; 4; 2	1,66; 2,07; 1,66; 2,25; 2,33; 1,66
	13	6	0,86; 0,50; 0,25; 0,80; 0,25; 1,00	5; 3; 4; 5; 2; 5	1,59; 1,66; 0,67; 1,59; 0,59; 1,66
	14	5	0,00; 0,71; 0,20; 0,75; 0,50	5; 6; 6; 6; 5	2,25; 1,92; 2,4; 1,59; 1,66

## APÊNDICE F – Instrumentos de trabalho utilizados na Fase II do experimento.

Figura F.1 - Descrição do problema e atividade da Fase II do experimento, para o grupo que trabalhou com os cartões informativos.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
EMC 5302 – METODOLOGIA DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Geração de Ideias para uma Cadeira de Rodas**

Mestrando: Matheus Silveira Galvão Gomes  
Orientador: Prof. André Ogliari

**Problema 2:**

- Usuários de cadeiras de rodas sugerem que as cadeiras apresentem um sistema que facilite a transferência entre cama e cadeira, facilitando o dia a dia ou o de pessoas que auxiliem no cuidado. Essa inovação garante mais autonomia a quem utiliza e também previne possíveis problemas ocasionados pela transferência manual, tanto do usuário quanto do cuidador (DICCIANO, 2018)<sup>1</sup>.

**Síntese Funcional da Cadeira de Rodas:** Apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Síntese funcional.

```

graph TD
    A[Transportar usuário] --> B[...]
    A --> C[Transportar para cama/cadeira]
    C --> D[Movimentar usuário]
    C --> E[...]
    D --> F[...]
    D --> G[...]
  
```

Fonte: Autoria própria

**Atividade 2** - Propor soluções para a função “Movimentar usuário”.  
A equipe deve propor sistemas capazes de movimentar o usuário da cadeira de rodas, da cama para cadeira, e da cadeira para cama, com qualquer acionamento, atendendo aos requisitos dos usuários.

**Requisitos:** - Diminuir esforços do paciente e do cuidador;  
- Movimento confortável e seguro.

- Gerar as ideias que atendam a atividade proposta utilizando as informações contidas nesta folha de instruções e nos cartões informativos, em uma sessão de *brainstorming*.
- Registrar nos devidos campos do formulário: o desenho da ideia, a descrição das características e as funções presentes.

<sup>1</sup> DICCIANO, B. E. *et al.* The future of the provision process for mobility assistive technology: a survey of providers. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, p. 1-8. 2018

Figura F.2 - Descrição do problema e atividade da Fase II do experimento, para o grupo que trabalhou com os modelos físicos.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
EMC 5302 – METODOLOGIA DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

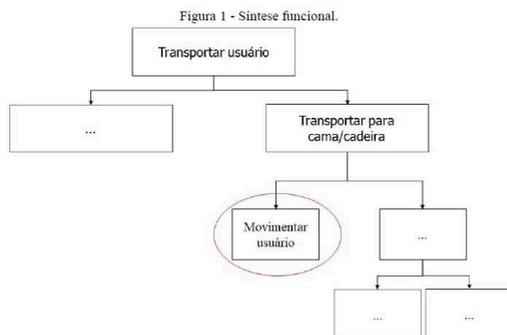
### Geração de Ideias para uma Cadeira de Rodas

Mestrando: Matheus Silveira Galvão Gomes  
Orientador: Prof. André Ogliari

#### Problema 2:

- Usuários de cadeiras de rodas sugerem que as cadeiras apresentem um sistema que facilite a transferência entre cama e cadeira, facilitando o dia a dia ou o de pessoas que auxiliem no cuidado. Essa inovação garante mais autonomia a quem utiliza e também previne possíveis problemas ocasionados pela transferência manual, tanto do usuário quanto do cuidador (DICIANNO, 2018)<sup>1</sup>.

**Síntese Funcional da Cadeira de Rodas:** Apresentada na Figura 1.



Fonte: Autoria própria

**Atividade 2** - Propor soluções para a função “Movimentar usuário”.

A equipe deve propor sistemas capazes de movimentar o usuário da cadeira de rodas, da cama para cadeira, e da cadeira para cama, com qualquer acionamento, atendendo aos requisitos dos usuários.

**Requisitos:** - Diminuir esforços do paciente e do cuidador;  
- Movimento confortável e seguro.

- Gerar as ideias que atendam a atividade proposta utilizando as informações contidas nesta folha de instruções e nos modelos físicos, em uma sessão de *brainstorming*.
- Registrar nos devidos campos do formulário: o desenho da ideia, a descrição das características e as funções presentes.

<sup>1</sup> DICCIANO, B. E. *et al.* The future of the provision process for mobility assistive technology: a survey of providers. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, p. 1-8. 2018

Figura F.3 - Cartão informativo sobre a Cinesina-1, frente, utilizado na Fase II do experimento.

## Cinesina-1

### Função

Movimentar organelas no interior das células.

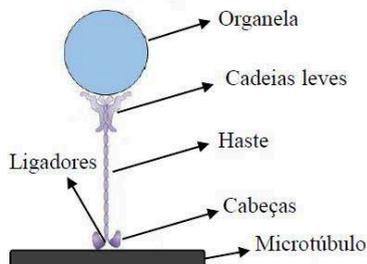


Figura 1

### Outras aplicações

Transportar; Mudar posição;  
Direcionar; Guiar;  
Carregar; Caminhar;

A Cinesina-1 movimentada as organelas no interior das células. Esse transporte é feito através de rotas bem definidas, por meio dos microtúbulos, que funcionam como trilhos no transporte intracelular. O movimento da Cinesina-1 é espontâneo, e acontece conforme apresentado na Figura 2.

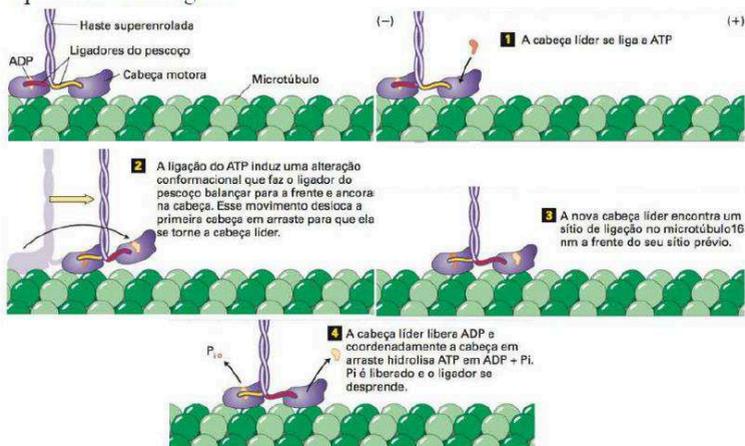


Figura 2

### Contribuição do conteúdo

Movimento coordenado; Movimento com sentido único;  
Movimento com direção bem definida; Cada movimento influencia no seguinte; Característica de “Passo a passo”; Girar para promover um avanço linear.

Figura F.4 - Cartão informativo sobre a Cinesina-1, verso, utilizado na Fase II do experimento.

### **Glossário**

Organela – Pequenos grãos que realizam as atividades celulares essenciais para as células.

ATP – Sigla para Adenosina Trifosfato, essa molécula constitui a principal forma de energia química para as células.

ADP – Sigla para Adenosina Difosfato, sempre que é requerida energia para a célula, ocorre a conversão do ATP em ADP +  $P_i$ .

$P_i$  – Radical de fosfato inorgânico, liberado pela molécula de ATP.  
Hidrólise – Reação de decomposição ou alteração de uma substância pela água.

Figura F.5 - Cartão informativo sobre o Espinho do Ouriço Europeu, utilizado na Fase II do experimento.

## Espinho do Ouriço Europeu

### Função

Movimentar em diferentes direções.

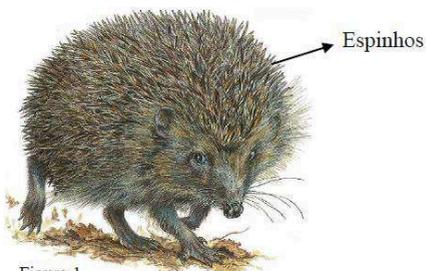


Figura 1

### Outras aplicações

Proteger; Mudar posição; Mudar direção; Impermeabilizar; Fixar; Amortecer; Deslocar; Oscilar; Isolar.

Os espinhos do Ouriço europeu têm a capacidade de se movimentar em diferentes direções, devido à forma como ele é ligado na pele do animal. Eles são pelos modificados e móveis, com um pequeno músculo, que o puxa para cima e garante que cada um tenha o movimento independente.

Na base de cada espinho existe um bulbo esférico, que proporciona excelente ancoragem na pele e impede que o espinho seja empurrado para o corpo do ouriço durante algum impacto. Os espinhos estão distribuídos dorsalmente e descansam em uma capa mais profunda de gordura do tecido subcutâneo.

A Figura 2 ilustra o espinho do ouriço e sua disposição na pele do animal.

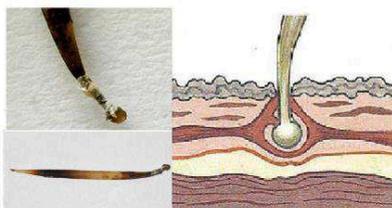


Figura 2

### Contribuição do conteúdo

Ancoragem que permite o movimento em várias direções; Movimento independente de vários sistemas; Acionamento independente; Deslocamento de um sistema fixo em um ponto.

Figura F.6 - Modelos físicos utilizados na Fase II do experimento. Em a) da Cinesina-1 e em b) dos Espinhos do Ouriço Europeu.

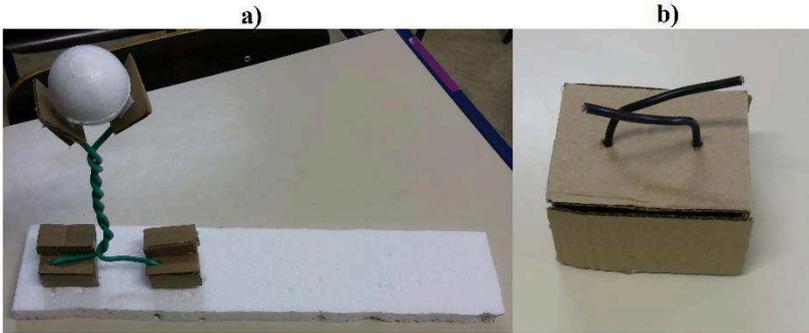


Figura F.7 - Questionário aplicado no grupo A, que trabalhou com os modelos físicos na Fase II do experimento.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
Mestrando: Matheus Silveira Galvão Gomes  
matheusg74@hotmail.com  
Orientador: Prof. André Ogliari

**Questionário de avaliação das atividades – Grupo B**

Prezado (a) participante, é importante para os resultados desta pesquisa conhecermos a sua opinião sobre as atividades que foram realizadas. Solicitamos que assinale as respostas para as questões propostas, com base na sua percepção do trabalho realizado.

**Questão 1** – Em sua opinião, existe diferença, em termos de estímulo, entre os estimuladores na forma de cartão e modelos físicos? Por quê? Quais?

Sim  Não

**Questão 2** – Usando uma escala de 1 a 5, responda o quão fácil foi para você utilizar os modelos físicos para gerar as ideias. Comente as dificuldades encontradas.

1  2  3  4  5   
Muito difícil Muito fácil

**Questão 3** – Qual modelo físico foi mais influente na geração de ideias? Comente.

Cinesina-1  Espinhos do Ouriço Europeu

**Questão 4** – Você está satisfeito com os resultados do processo de geração de ideias?

1  2  3  4  5   
Muito insatisfeito Muito satisfeito

Se você tiver observações, comentários ou sugestões sobre as atividades, ou suas experiências durante o trabalho, por favor, descreva-as.

Muito obrigado pela participação!



## **APÊNDICE G – Avaliações das ideias geradas na Fase II do experimento.**

O método de avaliação das ideias na Fase II do experimento é o mesmo que o apresentado no Apêndice E.

Os resultados das ideias geradas, segundo as métricas novidade, utilidade e exequibilidade da solução, são apresentados na Tabela G.1, Tabela G.2 e Tabela G.3, pela avaliação dos especialistas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela G.1 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase II do experimento, para o especialista 1.

Grupo	Equipe	Número de ideias	Novidade por ideia	Nº de funções por ideia	Exequibilidade da solução por ideia
<b>A</b>	1	6	0,25; 0,33; 0,20; 0,75; 0,40; 0,33	4; 6; 7; 4; 4; 6	1,92; 2; 2,33; 1,66; 1,66; 1,33
	2	5	0,50; 0,50; 0,40; 0,50; 0,40	4; 5; 5; 5; 5	1,92; 2; 2,66; 2,33; 2
	3	5	0,75; 0,33; 0,00; 0,67; 0,40	4; 9; 5; 4; 4	2,07; 1,59; 2; 2,33; 2,07
	4	7	0,20; 1,00; 0,50; 0,67; 0,40; 0,33; 0,50	9; 4; 5; 5; 6; 4; 5	1,67; 1,26; 1,66; 2,33; 1,92; 2,07; 2,33
	5	6	0,13; 0,40; 0,73; 0,40; 0,50; 0,00	6; 5; 9; 9; 4; 4	1,66; 2; 1,59; 2,33; 1,33; 2
	6	6	0,50; 0,67; 0,50; 0,50; 0,67; 1,00	5; 6; 2; 5; 5; 7	1,92; 2,33; 2,07; 2,33; 2,33; 2,07
	7	5	0,00; 0,25; 0,25; 0,50; 0,00	7; 8; 6; 7; 6	2,33; 2,33; 2,33; 2,33; 2,33
<b>B</b>	8	6	0,40; 0,25; 0,20; 0,00; 0,50; 0,33	7; 5; 6; 6; 2; 4	1,92; 1,33; 1,66; 1,74; 1,26; 1,74
	9	4	0,10; 0,00; 0,33; 0,50	11; 11; 5; 5	0,93; 2,33; 1,66; 1,92
	10	7	0,50; 0,33; 0,00; 0,43; 0,00; 0,75; 0,33	3; 4; 3; 2; 3; 7; 2	1,92; 2,66; 1,92; 1; 2; 1,92; 1,92
	11	4	0,00; 0,00; 0,60; 0,25	4; 4; 3; 4	2; 2,33; 1,59; 2,33
	12	5	0,00; 0,50; 0,33; 1,00; 0,00	2; 1; 2; 3; 6	1,66; 1,66; 1,33; 1,66; 2,66
	13	7	0,67; 0,00; 0,33; 0,50; 0,25; 0,00; 0,33	8; 4; 2; 1; 4; 4; 4	2,33; 0; 1,33; 1,33; 2; 1,67; 1
	14	3	0,00; 0,00; 0,00	2; 5; 5	2,07; 2; 2,07

Tabela G.2 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase II do experimento, para o especialista 2.

Grupo	Equipe	Número de ideias	Novidade por ideia	Nº de funções por ideia	Exequibilidade da solução por ideia
<b>A</b>	1	6	0,25; 0,33; 0,20; 0,50; 0,40; 0,33	4; 6; 7; 4; 4; 6	1,92; 2,33; 2,33; 1,66; 1,66; 2
	2	5	0,50; 0,50; 0,60; 0,33; 0,20	4; 5; 5; 5; 5	2,33; 1,92; 2,33; 1,66; 2,66
	3	5	0,50; 0,00; 0,00; 0,67; 0,20	4; 9; 5; 4; 4	2,33; 2,66; 1,59; 1,92; 2,07
	4	7	0,80; 1,00; 1,00; 1,00; 0,80; 0,33; 0,67	9; 4; 5; 5; 6; 4; 5	2,33; 1; 1; 1,74; 2,33; 1,59; 2,33
	5	6	0,25; 0,00; 0,00; 0,40; 0,00; 0,00	6; 5; 9; 9; 4; 4	2,07; 1,41; 2,33; 2,33; 1,33; 2
	6	6	0,50; 0,67; 0,50; 0,50; 1,00; 0,75	5; 6; 2; 5; 5; 7	1,66; 1,66; 1,33; 2,07; 2,33; 2,33
	7	5	0,00; 0,25; 0,00; 0,33; 0,00;	7; 8; 6; 7; 6	2,33; 2,33; 2,33; 2,74; 1,92
<b>B</b>	8	6	0,20; 0,00; 0,20; 0,00; 0,50; 0,00	7; 5; 6; 6; 2; 4	1,67; 0,93; 1,33; 1,67; 1,07; 1
	9	4	0,10; 0,13; 0,67; 0,50	11; 11; 5; 5	1,34; 2,33; 1,66; 1,92
	10	7	0,00; 0,50; 0,33; 0,29; 0,25; 0,25; 0,33	3; 4; 3; 2; 3; 7; 2	0,67; 2,4; 1,66; 1,41; 1,99; 1,67; 1,33
	11	4	0,25; 0,00; 0,20; 0,00	4; 4; 3; 4	1,99; 1,66; 1,59; 1,66
	12	5	0,20; 0,00; 0,33; 0,00; 0,25	2; 1; 2; 3; 6	2,07; 1,66; 1,33; 2,07; 2,33
	13	7	0,67; 0,00; 0,00; 0,25; 0,25; 0,00; 0,17	8; 4; 2; 1; 4; 4; 4	2; 0,41; 1,33; 1,33; 1,59; 1; 1,99
	14	3	0,20; 0,00; 0,00	2; 5; 5	1,33; 2; 2,07

Tabela G.3 – Avaliações, por equipe, das ideias geradas na Fase II do experimento, para o especialista 3.

Grupo	Equipe	Número de ideias	Novidade por ideia	Nº de funções por ideia	Exequibilidade da solução por ideia
<b>A</b>	1	6	0,25; 0,33; 0,20; 0,75; 0,40; 0,33	4; 6; 7; 4; 4; 6	1,92; 2; 2; 1,66; 1,66; 1,33
	2	5	0,50; 0,50; 0,40; 0,50; 0,40	4; 5; 5; 5; 5	1,92; 1,59; 2,66; 2,33; 2
	3	5	0,75; 0,33; 0,00; 0,67; 0,40	4; 9; 5; 4; 4	2,07; 1,59; 2; 2,33; 2,07
	4	7	0,20; 1,00; 0,50; 0,67; 0,40; 0,33; 0,33	9; 4; 5; 5; 6; 4; 5	1,67; 1,26; 1,66; 2,33; 1,92; 2,07; 2,33
	5	6	0,00; 0,20; 0,27; 0,40; 0,50; 0,00	6; 5; 9; 9; 4; 4	1,66; 2; 0,52; 2; 1,33; 2
	6	6	0,50; 0,67; 0,50; 0,50; 0,67; 1,00	5; 6; 2; 5; 5; 7	1,92; 2,33; 2,07; 2,33; 2,33; 2,07
	7	5	0,00; 0,25; 0,25; 0,50; 0,00	7; 8; 6; 7; 6	2,33; 2,33; 2,33; 2,33; 2,33
<b>B</b>	8	6	0,40; 0,25; 0,20; 0,00; 0,50; 0,33	7; 5; 6; 6; 2; 4	2,33; 1,33; 1,66; 1,74; 1; 1,74
	9	4	0,10; 0,00; 0,33; 0,50	11; 11; 5; 5	0,93; 2,33; 1,66; 1,92
	10	7	0,50; 0,33; 0,00; 0,43; 0,25; 0,75; 0,33	3; 4; 3; 2; 3; 7; 2	1,92; 2,66; 1,92; 1; 2; 1,92; 1,92
	11	4	0,50; 0,50; 0,60; 0,50	4; 4; 3; 4	2; 2,33; 1,59; 2,33
	12	5	0,40; 0,25; 0,33; 1,00; 0,75	2; 1; 2; 3; 6	1,66; 1,66; 1,33; 1,66; 2,66
	13	7	0,67; 0,00; 0,33; 0,50; 0,25; 0,00; 0,33	8; 4; 2; 1; 4; 4; 4	2,33; 0; 1,33; 1,33; 2; 1,67; 1
	14	3	0,20; 0,00; 0,00	2; 5; 5	2,07; 2; 2,07

## APÊNDICE H – Respostas do questionário aplicado na Fase II do experimento

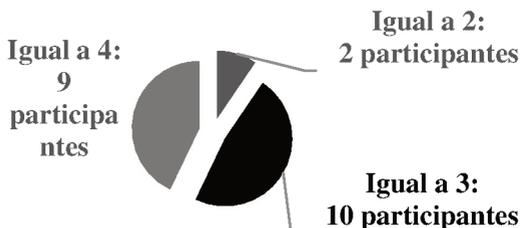
Quadro H.1 - Respostas às questões do questionário de avaliação dos modelos físicos.

<b>Respostas da Questão 1</b>
<p><b>EXISTE DIFERENÇA, EM TERMOS DE ESTÍMULO, ENTRE OS CARTÕES E OS MODELOS FÍSICOS?</b></p> <p>Não: 1 participante</p> <p>Sim: 20 participantes</p>
<b>Comentários</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os estimuladores permitem melhor entendimento das funções propostas.</li> <li>• Os modelos físicos permitem um melhor entendimento do funcionamento e suas limitações.</li> <li>• No cartão há a limitação das informações nele contidas, devido seu caráter informativo. O modelo físico instiga o indivíduo a pensar sobre possíveis formas de funcionamento e uso do elemento.</li> <li>• Na forma de modelo físico ficou muito mais intuitivo e prático. Dessa forma, foi mais fácil aplicar no exemplo</li> <li>• Porque esta vendo como é na prática, o real funcionamento.</li> <li>• Os modelos físicos, por serem mais visuais, permitem que sejam geradas ideias constantemente. Já os cartões eram lidos poucas vezes e acabaram sendo deixados de lado.</li> <li>• Os modelos físicos facilitam a inspiração e a visão de como os estimuladores funcionam na natureza. Foi mais fácil demonstrar as ideias que surgiram dos estimuladores para outros membros da equipe</li> <li>• Os estímulos em forma de cartão são muito menos visuais e interativos.</li> </ul>

- Sim, modelos físicos auxiliaram mais na geração de ideias, talvez por usar mais sentidos como tato tenha auxiliado em ver mais possibilidades.
- Sim, pois torna muito mais palpável a movimentação dos sistemas de estímulo, tanto a pálpebra quanto o pelo do cachorro da atividade 1.
- Os modelos físicos possuem maior possibilidade de visualização, por outro lado os cartões possuem alguma informação que algumas pessoas podem não perceber, em uma primeira observação.
- Os modelos físicos são mais fáceis de observar seu funcionamento e, portanto, mais prováveis a inspirar uma solução.
- O modelo físico é muito interativo e possibilita um melhor entendimento do funcionamento. Poder visualizar algo e não somente ouvir alguém explicando.
- Os cartões explicam melhor o funcionamento e são mais interessantes, assim estimulam melhor a imaginação. Os modelos por sua vez trabalham mais a parte mecânica do problema.
- Devido a possibilidade de interação com o princípio da ideia a compreensão é facilitada.
- Pois os modelos físicos facilitam a visualização das capacidades do material, em função da solução proposta.
- Estimuladores físicos geram maior interação e por isso sua influência foi mais notada nas soluções.
- Modelos físicos permitem uma melhor visualização do estímulo proposto.
- Pois nos faz pensar de formas diferentes, por trazer, em um, o conhecimento, já o segundo sendo visual gera uma avaliação mais prática da situação.
- Se o cartão ou modelo físicos estiverem bem estruturados, ambos podem contribuir para o estímulo de ideias.
- Na forma de cartão ele já te fala como o mecanismo funciona. Já no modelo físico você consegue explorar outros movimentos e possibilidades.

## Respostas da Questão 2

### QUÃO FÁCIL FOI USAR OS MODELOS FÍSICOS PARA GERAR IDEIAS?



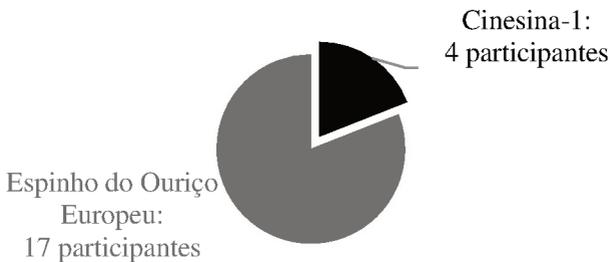
### Comentários

- A maior dificuldade foi transpor a ideia de um mecanismo biológico de movimentação para um mecanismo mecânico.
- Dificuldade de fazer igual.
- O modelo físico era bastante visual, porém era possível esquecer o conceito por trás.
- A dificuldade está presente na adaptação da função complexa a algo mais fácil e prático
- Apesar de os modelos auxiliarem, o problema para o qual eles deviam ser utilizados era difícil
- De início é difícil entender o funcionamento, mas logo se torna lógico e relacionável à situação
- Foi mais fácil do que imaginar como os modelos em cartões são fisicamente, porém houveram limitações quanto a imaginar como seriam vários modelos físicos em larga escala
- Por se tratarem de modelos não existe a autonomia do mecanismo propriamente dito, já que possuem limitações de reprodução.
- Não foi muito fácil devido ao fato de o problema ser complexo e exigir outros componentes.
- Dificuldade de relacionar alguns conceitos envolvidos no modelo com o projeto em questão. Fixação funcional em alguns casos.
- Apesar de gerar rapidamente as ideias, os modelos físicos promoveram várias ideias muito similares, com pouca variedade.
- A maior dificuldade foi ligar o modelo à um mecanismo real que usasse aquele princípio.

- Relacionar com o problema de forma a me ajudar, entender o funcionamento dos modelos físicos.
- Transportar o conhecimento de um modelo para o outro devido a diferença entre modelos.
- O problema era complexo e exigia correlacionar os dois.
- Foi difícil pois as soluções que surgiam pareciam estranhas e o modelo físico parecia induzir e limitar as alternativas encontradas.
- Apesar de bem representados, são dois modelos um tanto abstratos em sua concepção, o que dificulta enxergar soluções.
- A dificuldade foi não conseguir fugir de ideias similares.
- Não consegui relacionar o modelo com o problema proposto.
- Fazer a transição do modelo da Cinesina para o mundo macroscópico por causa de uma necessidade maior de abstração.

### Respostas da Questão 3

#### QUAL MODELO MAIS INFLUENTE NA GERAÇÃO DE IDEIAS?

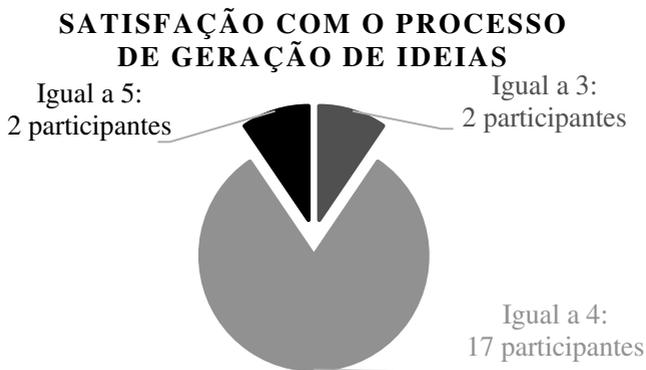


### Comentários

- Este fornece duas possibilidades de movimentação (Vertical e Giro).
- Algo mais fácil de entender e de colocar em prática.
- Os espinhos eram fáceis de aplicar o problema em questão.
- Devido à vasta utilidade da junta esférica.
- Permite mais possibilidades, visto que o sistema é mais complexo em possibilidades de movimento.
- Dada a questão da cadeira de rodas e a relação com possível diferença de alturas das superfícies (cama e cadeira).
- Conseguimos utilizar melhor o modelo dos espinhos pois era mais fácil de entender e transferir para algo real.

- Mais fácil de se mexer.
- Esse possibilitou uma gama muito maior de formas de movimentação.
- A Cinesina foi mais influente em alguns casos, embora ambos os modelos possuam princípios em comum.
- A Cinesina estava mais facilmente associada à ideia de movimentação.
- Principalmente a questão da rotação e elevação no mesmo eixo.
- Se adequou mais como parte de uma solução.
- O eixo de movimento é uma questão chave do problema.
- Era algo mais fácil de tirar inspiração, pois a Cinesina parecia um simples movimento linear com vários dificultadores.
- Mais versátil.
- A forma de movimentação gerou mais ideias alternativas.
- Ouriço: Era mais articulável e mais fácil abstração por se tratar de um animal.

#### Respostas da Questão 4



#### Comentários Finais

- Sugiro uma nova etapa de análise de probabilidade de fabricação.
- O primeiro processo de geração era mais amplo, o que permitiu gerar ideias mais diferentes, enquanto que o segundo pareceu mais fixo.
- As ideias ficaram muito semelhantes, talvez se tivéssemos feito algumas ideias diferentes antes de compartilhar com o grupo.

- Acredito que essas atividades foram extremamente importantes no aprendizado geral da disciplina, facilitando o entendimento da parte teórica.

## APÊNDICE I – Questionário para avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos

### FORMAÇÃO DO AVALIADOR

### ÁREA DE ATUAÇÃO/EXPERIÊNCIA DO AVALIADOR

Solicita-se aos participantes que estabeleçam notas de 1 a 5, conforme definido na tabela abaixo, para as questões propostas.

Não	Pouco	Parcialmente	Em vários aspectos	Completamente
1	2	3	4	5

<b>Questionário de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos</b>					
A sistemática de construção dos modelos físicos está alinhada com a fase de projeto conceitual?	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>				
O desenvolvimento das atividades é viável durante o projeto conceitual, considerando a quantidade de recursos necessários para a construção dos modelos?	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>				
Vale a pena investir recursos na construção de modelos físicos, conhecendo seu potencial para estimular melhores soluções?	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>				
O nível de detalhamento das atividades é adequado para a construção dos modelos físicos?	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>				
A sistemática de construção pode ser empregada para qualquer objetivo de projeto?	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>				







## APÊNDICE K - Resultados da avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos

Os resultados das atividades realizadas pelos especialistas, na avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos, na primeira fase, são apresentados na Figura K.1, Figura K.2, Figura K.3 e Figura K.4.

Figura K.1 - Resultado das Tarefas 1.3 e 1.4, na primeira fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.

Atividade 1  
Tarefa 1.3



1- TORNO  
2- FRESA  
3- ALADOR

4- CORTADOR DE ISOPORT  
5- LIXA  
6- SERRAFITA

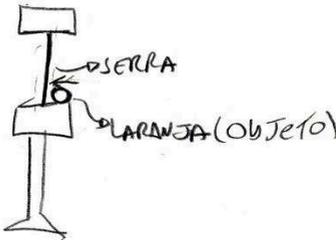
Tarefa 1.4

	1	2	3	4	5	6	PONTOS
1	0	+	+	+	+	+	(+5)
2	-	0	-	-	-	+	(-3)
3	-	+	0	+	0	+	(+2)
4	-	+	-	0	-	+	(-1)
5	-	+	0	+	0	+	(+2)
6	-	-	-	-	-	0	(-5)

Figura K.2 - Resultado da Tarefa 2.1, na primeira fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos

**Atividade 2**  
**Tarefa 2.1**

- CORTA MADEIRA, MDF, PLACAS, CARNE
- SERRA RETA (ferramenta)
- MOVIMENTO ALTERNADO OU ROTATIVO
- SUPORTE AJUSTÁVEL
- \* ↳ AJUSTE DE POSICIONAMENTO
- MOTOR



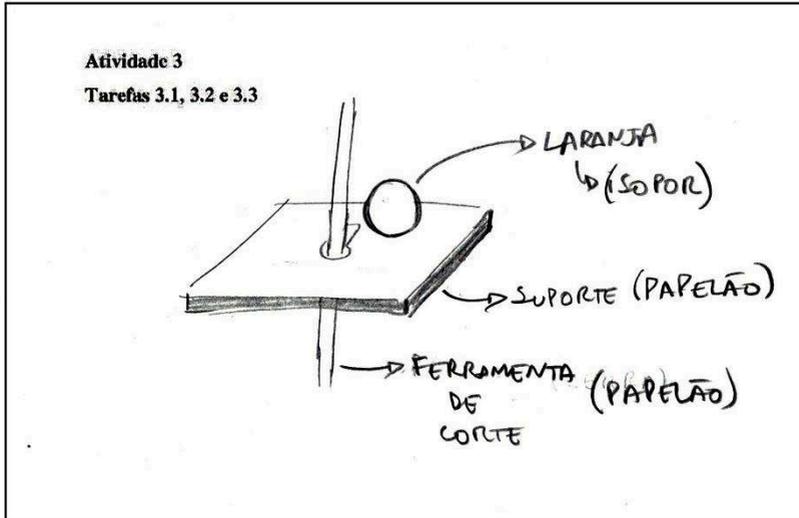
- CORTE UNIDIRECIONAL



Figura K.3 - Resultado da Tarefa 2.2, na primeira fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.

Tarefa 2.2	
<b>Função</b>	
CORTAR	
<b>Elementos e Atributos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- FERRAMENTA CORTANTE</li> <li>- SUPORTE</li> <li>- PROPULSÃO (ENERGIA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SERRA, LÂMINA</li> <li>-</li> </ul>
<b>Relações</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- A FERRAMENTA CORTANTE É MOVIMENTADA PELO SISTEMA DE PROPULSÃO</li> <li>- O OBJETO QUE SERÁ CORTADO É COLOCADO NO SUPORTE</li> </ul>	
<b>Comportamentos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- A FERRAMENTA DE CORTE NÃO SE DESLOCA (NÃO AVANÇA EM DIREÇÃO AO OBJETO)</li> <li>- FERRAMENTA OSCILA / GIRA P/ GERAR CORTE</li> <li>- OBJETO AVANÇA EM DIREÇÃO À SERRA, APOIADA</li> </ul>	
<b>O que deve ser representado no modelo físico</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• SUPORTE/BANCADA</li> <li>• OBJETO</li> <li>• FERRAMENTA DE CORTE (NÃO SE MOVE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OBJETO SE MOVE</li> </ul>

Figura K.4 - Resultado das Tarefas 3.1, 3.2 e 3.3, na primeira fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.



Os resultados das atividades realizadas pelos especialistas, na avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos, na segunda fase, são apresentados na Figura K.5, Figura K.6, Figura K.7 e Figura K.8.

Figura K.5 - Resultado das Tarefas 1.3 e 1.4, na segunda fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.

**Atividade 1**

**Tarefa 1.3** - Encontrar sistemas que pertençam ao escopo.

- Tromba do elefante
- Canguru
- minhoca
- serpente
- ouriço

**Tarefa 1.4**

- 1º Pelo do ouriço
- 2º Serpente
- 3º minhoca
- 4º Tromba do elefante
- 5º Canguru

Mais incomum entre os três

Canguru	Serpente	Minhoca	Pelo Ouriço	Tromba do elefante
Intermitente	Contínuo <sup>x</sup>	Contínuo <sup>x</sup>	Contínuo <sup>x</sup>	Contínuo <sup>x</sup>
Passivo	Ativo <sup>x</sup>	Ativo <sup>x</sup>	Ativo <sup>x</sup>	Passivo
Vertical	Horizontal <sup>x</sup>	Horizontal <sup>x</sup>	Circular <sup>x</sup>	Circular <sup>x</sup>
Alcance Médio	Curto <sup>x</sup>	Curto <sup>x</sup>	Curto <sup>x</sup>	Médio

Figura K.6 - Resultado da Tarefa 2.1, na segunda fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.

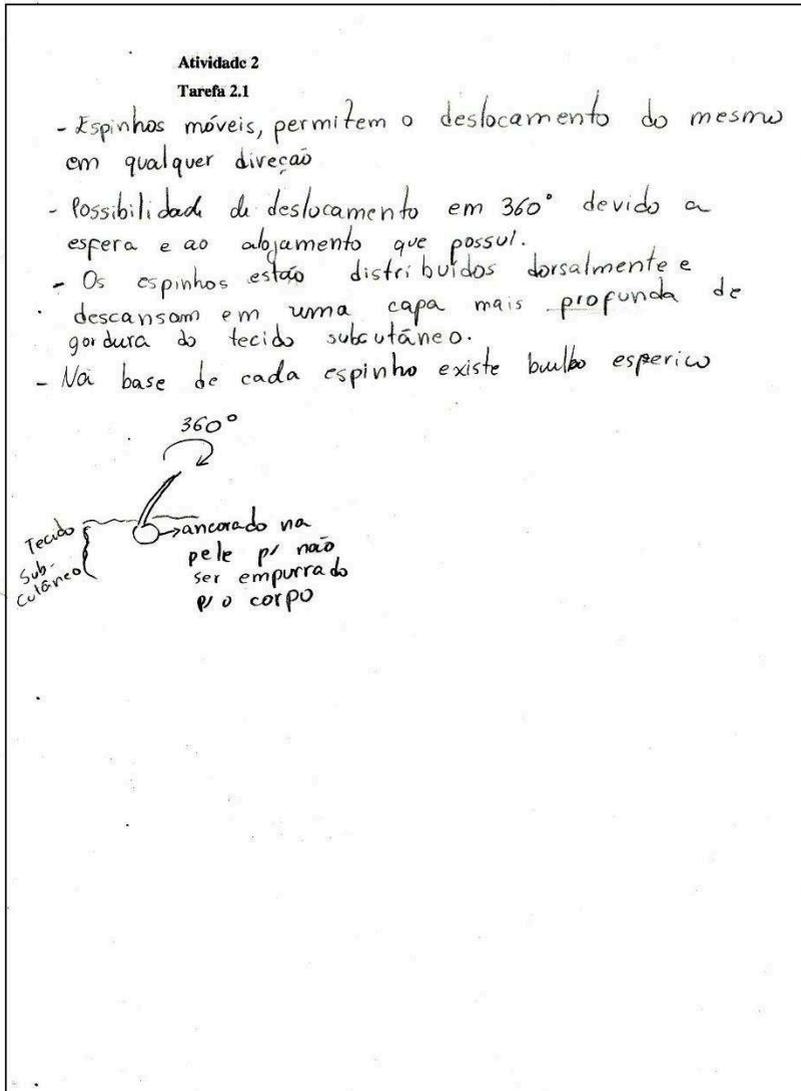
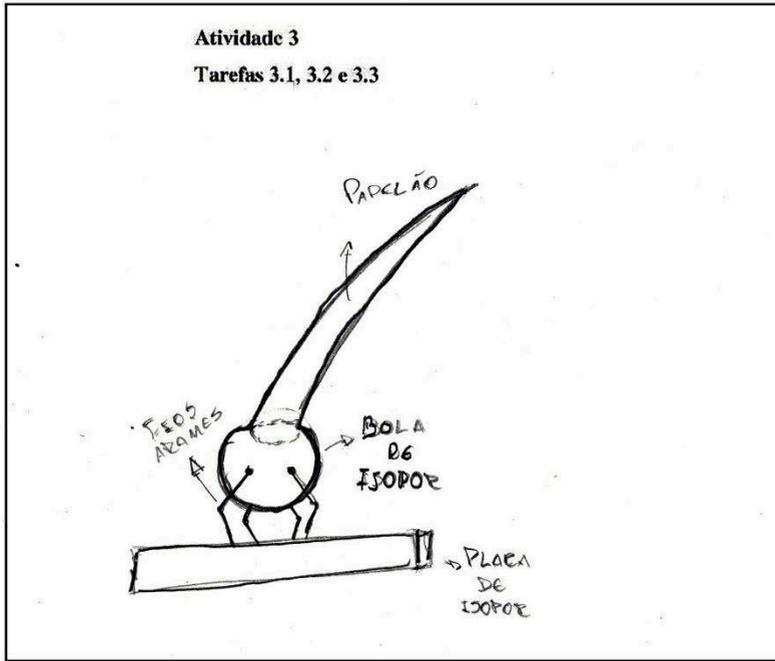


Figura K.7 - Resultado da Tarefa 2.2, na segunda fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.

**Tarefa 2.2**

Função
Movimentar em várias direções
Elementos e Atributos
bulbo esférico Espinho curtos Tecido sub-cutâneo musculo
Relações
<u>bulbo</u> fixado na base do <u>espinho</u> <u>músculo</u> realiza o movimento do <u>espinho</u> o <u>bulbo</u> é ancorado no tecido <u>sub-cutâneo</u>
Comportamentos
O que deve ser representado no modelo físico
→ Bulbo esférico (Rótula) → músculos → Espinho → Pele

Figura K.8 - Resultado das Tarefas 3.1, 3.2 e 3.3, na segunda fase de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.



A Tabela K.1 apresenta o número de respostas assinaladas em cada uma das alternativas do questionário proposto aos seis avaliadores, mostrado no Apêndice I.

Tabela K.1 - Respostas ao questionário de avaliação da sistemática de construção dos modelos físicos.

Questão	Não	Pouco	Parcial	Bem	Muito
A sistemática de construção se insere corretamente na fase de projeto conceitual?				1	5
As atividades são viáveis de serem desenvolvidas durante o projeto conceitual, considerando a quantidade de recursos necessários?			2	3	1
As melhores soluções geradas, utilizando os modelos físicos como estimuladores, compensam os recursos investidos para sua construção?			3	2	1
O nível de detalhamento das atividades é adequado para construção dos modelos físicos?			1	2	3
A sistemática de construção pode ser empregada para qualquer objetivo de projeto?		1	2	3	
A sistemática permite a construção de modelos baseados em sistemas de diversos domínios?			1	4	1
A sistemática é facilmente entendida, com relação as atividades para construção?			3	1	2
As ferramentas de auxílio propostas, para construção dos modelos físicos, são facilmente entendidas?				4	2
As entradas e saídas da sistemática estão coerentes com as atividades propostas?				4	2
As ferramentas de auxílio às atividades são coerentes e facilitam o desenvolvimento?				6	
A sistemática contém todas as informações necessárias para construção dos modelos físicos no projeto conceitual?			3		3

O Quadro K.1 apresenta os comentários feitos pelos avaliadores da sistemática de construção dos modelos físicos.

Quadro K.1 - Comentários feitos pelos avaliadores.

	<b>Comentário</b>
<b>Especialista 1</b>	Interessante, acredito que estimula a criatividade.
<b>Especialista 2</b>	É preciso explicar melhor a sistemática (mais tempo de introdução).
<b>Especialista 3</b>	
<b>Especialista 4</b>	Sistemática bastante simples e prática, muito útil para o que se propõe. Ferramenta FEARC muito boa para organizar informações. Senti dificuldade de caracterizar os sistemas de comparação, achei que faltou um pouco de recomendações mais objetivas. Criar talvez um quadro com características genéricas de sistemas
<b>Especialista 5</b>	A sistemática é bem estabelecida, e ajuda na criação de modelos. O modelo FEARC é bem estruturado. A matriz de comparação é um pouco confusa a princípio, talvez melhorar a definição dessa ferramenta.
<b>Especialista 6</b>	Interessante, mas para a utilização deve ser considerado o objetivo de projeto. Acho que para o objetivo de aprendizado de engenharia sobre o sistema será muito válido, mas não em desenvolvimento e processos que precisam ser mais rápidos na geração de ideias. Acho que deve rever a matriz de priorização, da forma com está gera um pouco de confusão. No geral, achei muito boa a ideia e a sistemática.

**ANEXO A - Base Funcional proposta por Hirtz (2002)**

Classe (Primária)	Secundária	Terciária	Correspondentes
<b>Ramificar</b>	Separar	Dividir	Isolar, cortar, desunir
		Extrair	Desintegrar, isolar, libertar, ordenar, repartir, desconectar, subtrair
		Remover	Refinar, filtrar, purificar, coar, esforçar, desobstruir
	Distribuir	Cortar, furar, torneiar, polir, lixar	Difundir, afastar, dispersar, dissipar, divergir, espalhar
<b>Canalizar</b>	Importar	Transportar	Admitir, permitir, introduzir, captar
	Exportar		Disponer, ejetar, emitir, esvaziar, remover, danificar, eliminar
	Transferir		Levar, entregar
			Avançar, elevar, mover
	Guiar	Transmitir	Conduzir, carregar
	Transladar	Permitir graus de liberdade	Direcionar, mudar, conduzir, endireitar, trocar, subir, descer
			Mover, realocar
Girar, rodar			
<b>Conectar</b>	Acoplar	Juntar	Associar, acoplar
		Unir	Montar, prender
	Misturar	Anexar	Adicionar, misturar, aglutinar, combinar, comprimir
<b>Controlar Magnitude</b>	Atuar		Permitir, iniciar, ligar, acionar

	Regular	Controlar, equalizar, limitar, manter
	Aumentar	Permitir, abrir
	Diminuir	Fechar, atrasar, interromper
	Mudar	Ajustar, modular, limpar, demodular, inverter, normalizar, retificar, reiniciar, escalar, variar, modificar
	Incrementar	Ampliar, aumentar, magnificar, multiplicar
	Diminuir	Atenuar, amortecer, reduzir, atritar
	Dar formar	Compactar, comprimir, quebrar, perfurar, deformar, formar
	Condicionar	Preparar, adaptar, tratar
	Parar	Finalizar, parar, pausar, interromper, conter
	Evitar	Desabilitar, desligar
	Inibir	Defender, isolar, proteger, resistir
<b>Converter</b>	Converter	Condensar, criar, decodificar, diferenciar, digitalizar, codificar, evaporar, gerar, integrar, liquidificador, processar, solidificar, transformar
<b>Prover</b>	Armazenar	Acumular
	Conter	Capturar, incluir
	Coletar	Absorver, consumir, encher, reservar
	Suprir	Prover, reabastecer, recuperar
<b>Sinalizar</b>	Sentir	Notar, determinar
	Detectar	Discernir, perceber, reconhecer
	Medir	Identificar, localizar
	Indicar	Anunciar, mostrar, denotar, gravar, registrar
	Localizar	Marcar, cronometrar
	Exibir	Emitir, expor, selecionar

	Processar		Comparar, calcular, checar
<b>Suportar</b>	Estabilizar		Estabilizar
	Segurar		Restringir, segurar, colocar, fixar
	Posicionar		Alinhar, localizar, orientar