



**PGDESIGN** | Programa de Pós-Graduação  
Mestrado | Doutorado



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

Vinicius Fernandes Beltramin

**PROPOSTA DE MÉTODOS DE ANÁLISE**  
**DE PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA**

Dissertação de Mestrado

Porto Alegre

2023

**VINICIUS FERNANDES BELTRAMIN**

**Proposta de métodos de análise de princípios de solução da natureza.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Gonçalves Teixeira

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Beltramin, Vinicius  
PROPOSTA DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE PRINCÍPIOS DE  
SOLUÇÃO DA NATUREZA / Vinicius Beltramin. -- 2023.  
121 f.  
Orientador: Fabio Gonçalves Teixeira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa  
de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Biomimética. 2. Processo Criativo. 3. Métodos de  
Análise. 4. Design. 5. Princípios de Solução da  
Natureza. I. Gonçalves Teixeira, Fabio, orient. II.  
Título.

**Vinicius Fernandes Beltramin**

**PROPOSTA DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 12/04/2023.

---

**Fabio Pinto da Silva**

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

**Banca Examinadora:**

---

Orientador: **Prof. Dr. Fabio Gonçalves Teixeira**

Programa de Pós-Graduação em Design - PGDesign/UFRGS

---

**Prof. Dr. Fernando Batista Bruno**

Programa de Pós-Graduação em Design - PGDesign/UFRGS – Examinador Externo

---

**Prof. Dr. Flora Bittencourt Detanico**

Programa de Pós-Graduação em Design - PGDesign/UFRGS – Examinador Externo

---

**Prof. Dr. Tânia Luisa Koltermann da Silva**

Programa de Pós-Graduação em Design - PGDesign/UFRGS – Examinador Interno

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao programa de Pós-Graduação em Design, por todo suporte ao estudo, como também pela oportunidade de aprendizado e desenvolvimento de novos conhecimentos. Esse trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES).

Ao professor e orientador Fábio Gonçalves Teixeira, pela paciência, tranquilidade, suporte e instrução ao longo de todo o processo, que enriqueceu muito essa pesquisa com sua experiência e sabedoria.

Aos membros da banca examinadora, professores Fernando, Tânia, pelas contribuições que levaram à qualificação desta pesquisa. Um agradecimento especial para a Doutora Flora Detanico por todo suporte a pesquisa.

Aos colegas e amigos, que me acompanharam ao longo da pesquisa e contribuíram para o seu desenvolvimento. Ao professor Marcos Brod Jr, ao Mestre Fernando Horlle, a doutoranda Kamyla Lemes, a mestranda Ana Franzen e a Mestre Marina Storgatto por todas contribuições e suporte.

## EPÍGRAFE

*"[...]a maior invenção presente na natureza[...]"*

*Mancuso, 2019.*

## RESUMO

BELTRAMIN, V. F. **Proposta de métodos de análise de princípios de solução da natureza.** 2023. 121 f. Dissertação Mestrado em Design – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

A biomimética é uma área que estuda os princípios de solução da natureza — PSN — e sua aplicação no desenvolvimento de sistemas, políticas e produtos. Foi realizada uma investigação quanto ao processo criativo de design com inspiração na natureza e foi encontrada uma lacuna correspondente à análise desses princípios sob a ótica do design. Assim serão desenvolvidas técnicas de análise de PSN que darão suporte a fase de investigação de princípios de solução do método BIOsign. Sendo assim, o estudo tem como foco a decodificação de PSN para utilização no processo criativo de design e utilizou a *Design Science Research* como metodologia de desenvolvimento. A pesquisa respondeu ao problema de como decodificar princípios de solução da natureza para utilização na etapa de geração de alternativas do processo de design. A hipótese aborda que se o designer utilizar técnicas de análise de princípios de solução da natureza, então as escolhas de PSN serão mais assertivas e haverá maior fluência criativa na decodificação desses princípios para a obtenção de soluções de problemas de projeto, potencializando o processo criativo e projetual de design. O objetivo geral é desenvolver técnicas de análise de princípios de solução da natureza que auxiliem na decodificação destes princípios. Também, foram investigadas técnicas de análise de produto que serviram de base para elencar requisitos para desenvolvimento das técnicas dentro da linguagem de projeto de design que conjuntamente do conceito de redes, foram desenvolvidas técnicas de análise de princípio de solução da natureza. Sendo que os resultados de cada técnica podem se conectar para haver uma visão macro e sistêmica da estratégia biológica.

**Palavras-chave:** Design. Biomimética. Princípios de Solução da Natureza. Métodos de Análise.

## ABSTRACT

BELTRAMIN, V. F. **Proposal of analysis methods of nature's solution principles**. 2023. 121 f. Thesis Master in Design – Engineering School / Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

Biomimicry is an area that studies nature's solution principles and their application in the development of systems, policies and products. An investigation was carried out regarding the creative process of design inspired by nature and a corresponding gap was found in the analysis of these principles from the perspective of design. Thus, PSN analysis techniques will be developed that will support the investigation phase of the BIOsign method's solution principles. Therefore, the study focuses on PSN decoding for use in the creative design process and used Design Science Research as a development methodology. The research answered the problem of how to decode nature's solution principles for use in the alternative generation step of the design process. The hypothesis addresses that if the designer uses analysis techniques of nature's solution principles, then the PSN choices will be more assertive and there will be greater creative fluency in the decoding of these principles to obtain solutions to design problems, enhancing the creative process and design project. The overall objective is to develop techniques for analyzing nature's solution principles that help decode these principles. Also, product analysis techniques were investigated that served as a basis for listing requirements for the development of techniques within the design project language that, together with the concept of networks, were developed analysis techniques based on the principle of nature's solution. Since the results of each technique can be connected to have a macro and systemic view of the biological strategy.

**Keywords:** Design. Biomimicry. Nature's solution principles. Analysis Methods.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Primeiro voo de sucesso dos irmãos Wright/ Abutre.	17
Figura 2 – Shinkansen / Kingfisher.	18
Figura 3 – Equação de uma solução elegante obtida através do uso de analogias.	29
Figura 4 - Tipos de analogia.	30
Figura 5 - Diferenciação de termos de processo de projeto de design.	33
Figura 6 – Exemplo de Análise Diacrônica.	37
Figura 7 – Exemplo de Análise Sincrônica.	39
Figura 8 – Exemplo de Análise de Paradigma e Sintagma.	40
Figura 9 – Exemplo de Árvore das Funções.	42
Figura 10 – Exemplo de Análise da Tarefa.	43
Figura 11 – Exemplo de Análise Estrutural.	45
Figura 12 – Exemplo de proporção, malha estrutural e malha filosofal.	47
Figura 13 – Análise da simetria do produto.	47
Figura 14 – Exemplo de combinações de uma Análise Combinatória.	54
Figura 15 – Exemplo de alternativas geradas por Brainstorming.	56
Figura 16 – Exemplo de Matriz Morfológica.	57
Figura 17 – Exemplo de alternativas geradas por Sinestesia.	59
Figura 18 – Questões que potencializam a geração de alternativas.	59
Figura 19 – Etapas da metodologia Design Science Research + Objetivos + Procedimentos.	65
Figura 20 – Roteiro da RBS Roadmap realizada nessa pesquisa.	70
Figura 21 – Página de busca do AskNature.	74
Figura 22 – Espiral de Design de Biomimética.	75
Figura 23 – Busca no Ideia Inspire 3.0.	76
Figura 24 – Ideia Inspire 3.0.	77
Figura 25 – Proposta de matriz morfológica bioinspirada.	78
Figura 26 – Matriz morfológica tridimensional.	79
Figura 27– Funções do Tesouro Engenharia-para-Biologia.	80
Figura 28 – Template da Taxonomia.	84
Figura 29 – Repositório BLOsign.	84

Figura 30 – Proposta de estruturação das etapas do método BIOsign.	89
Figura 31 – Relação entre Função, Subfunção e Elemento.	95
Figura 32 – Diagrama da Técnica de Análise de Função de PSN.	96
Figura 33 – Diagrama da Técnica de Análise de Estrutura de PSN.	98
Figura 34 – Vistas da Técnica de Análise Morfológica de PSN.	99
Figura 35 – Diagrama da Técnica de Análise Morfológica de PSN.	99
Figura 36 – Diagrama Geral das Técnicas de Análise de PSN.	100
Figura 37 - Desenho esquemático do sistema ambulacrário de uma estrela-do-mar.	101
Figura 38 - Diagrama da função de locomoção dos pés-ambulacrais.	102
Figura 39 - Estrutura dos pés-ambulacrais.	103
Figura 40 - Diagrama da análise estrutural dos pés-ambulacrais.	104
Figura 41 - Vistas e geometrização dos pés-ambulacrais.	104
Figura 42 - Diagrama da análise morfológica dos pés-ambulacrais.	105
Figura 43 - Diagrama geral das análises dos pés-ambulacrais.	106
Figura 44 - Diagrama de um sistema de rede das três técnicas de análise de PSN.	111

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>DSR</b>	Design Science Research
<b>MAP</b>	Métodos de Análise de Produto
<b>MGA</b>	Métodos de Geração de Alternativas
<b>PCIN</b>	Processo Criativo Inspirado na Natureza
<b>PSN</b>	Princípio de Solução da Natureza
<b>RBS</b>	Revisão Bibliográfica Sistemática
<b>RSL</b>	Revisão Sistemática de Literatura
<b>UFRGS</b>	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	15
1.1	Contextualização do Tema	16
1.2	Delimitação do Tema	19
1.3	Problema de Pesquisa	21
1.4	Hipótese	21
1.5	Objetivos	21
1.6	Justificativa	22
1.7	Estrutura da Dissertação	23
<b>2</b>	<b>PROCESSO CRIATIVO INSPIRADO NA NATUREZA</b>	25
2.1	Pensamento por Analogia	27
<b>3</b>	<b>MÉTODOS DE ANÁLISE E GERAÇÃO</b>	32
<b>3.1</b>	<b>Técnicas de Análise</b>	34
3.1.1	Análise Diacrônica	35
3.1.2	Análise Sincrônica	37
3.1.3	Análise de Paradigma e Sintagma	39
3.1.4	Análise Funcional	41
3.1.5	Análise da Tarefa	42
3.1.6	Análise Estrutural	44
3.1.7	Análise Morfológica	46
3.1.8	Parecer das técnicas de análise quanto ao uso de PSN	48
<b>3.2</b>	<b>Técnicas de Geração</b>	52
3.2.1	Combinatória	53
3.2.2	Brainstorming	55
3.2.3	Matriz Morfológica	56
3.2.4	Sinestesia	57
3.2.5	Parecer das técnicas de geração quando ao uso de PSN	60
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	63

4.1	Identificação do Problema	64
4.2	Contextualização do Problema	64
4.3	Revisão Sistemática de Literatura	66
4.4	Identificação dos artefatos existentes	66
4.5	Proposição dos artefatos para resolução do problema	67
4.6	Projeto do artefato	67
4.7	Desenvolvimento do artefato	68
4.8	Avaliação do artefato	68
4.9	Explicitação das aprendizagens	68
4.10	Conclusão	69
4.11	Generalização de uma classe de problemas	69
4.12	Comunicação dos resultados	69
<b>5</b>	<b>REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA</b>	<b>70</b>
5.1	Primeira Fase	71
5.2	Segunda Fase	72
5.3	Artefatos de auxílio ao pensamento por analogia com o uso de PSN	73
5.3.1	AskNature	73
5.3.2	Biologue	75
5.3.3	Dane	76
5.3.4	Ideia-Inspire	76
5.3.5	Matriz Morfológica Bioinspirada	78
5.3.6	Modelos Funcionais	79
5.3.7	Nature Language	82
5.3.8	BIOTRIZ	83
5.3.9	BIOsign	83
<b>6</b>	<b>PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO</b>	<b>87</b>
6.1	Estruturação da etapa de análise de PSN	87
6.2	Construção de requisitos das técnicas de análise de PSN	90
<b>7</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>92</b>

7.1	Lógica do método de análise de PSN	92
7.1.1	Rede	93
7.1.2	Lógica do método de análise de função de PSN	94
7.1.3	Lógica do método de análise de estrutura de PSN	97
7.1.4	Lógica do método de análise morfológica de PSN	98
7.1.5	Relacionar os resultados das técnicas	100
7.2	Testes das técnicas de análise de PSN	101
8	<b>AVALIAÇÃO</b>	108
9	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	110
9.1	Resultados	110
9.2	Conclusões	111
9.3	Generalização da classe de problemas	113
9.4	Sugestões para trabalhos futuros	113
	<b>REFERÊNCIAS</b>	114

## 1. Introdução

Neste capítulo o estudo é contextualizado e delimitado, assim como o problema de pesquisa é apresentado seguido de uma hipótese para a sua solução. Além disso, o objetivo geral e os objetivos específicos são mostrados a fim de direcionar o escopo do projeto. A justificativa para realização da pesquisa e a estrutura da dissertação também são mostradas nesse capítulo.

Como uma singularidade, o universo se originou de um ponto infinitamente massivo e denso, que eclodiu matéria e energia, há cerca de 13,8 bilhões de anos. A partir daí, foi um longo e complexo processo de desenvolvimento, em que átomos começaram a tomar forma, combinando-se e transformando-se em moléculas. Na Terra, por sua vez, com seus 3,8 bilhões de anos, estruturas de moléculas começaram um processo que resultaria no surgimento de organismos vivos (HARARI, 2015).

Adaptando-se às condições existentes para sobreviver, os organismos vivos que evoluíram na Terra aprenderam a viver com os recursos existentes, compreendendo o que funcionava e era durável. Durante esse processo de descoberta, esses organismos desenvolveram princípios de solução que auxiliaram no seu processo de adaptação. Porém, o que permitiu a continuidade do processo de evolução foi o fato de que as informações sobre o planeta são passadas por gerações de organismos vivos (BENYUS, 2003). Dessa forma, todo o conhecimento do sistema da vida na Terra ficou contido no corpo e comportamento dos seres vivos.

Conforme compreendiam a natureza, aos poucos, os ancestrais dos *homo sapiens* inspiravam-se, utilizando recursos disponíveis para criar objetos para auxiliar no seu cotidiano, facilitando seu trabalho e aumentando suas chances de sobrevivência – e, com isso, o cérebro humano desenvolveu-se à medida que compreendia esses mecanismos e os dominava. Foram anos de aprimoramento dos objetos necessários, em basicamente duas etapas: a compreensão do que é e como utilizar, e a percepção do trabalho necessário para implementar. Eles passaram de objetos a produtos, à medida que foram aprimorados formalmente e funcionalmente para que pudessem ser utilizados por todos, sendo então replicados (GOMES, 2011).

Foram três as mais importantes revoluções de desenvolvimento tecnológico: a revolução cognitiva (cerca de 70 mil anos atrás), a revolução agrícola (cerca de 14 mil

anos atrás), e a revolução científica (cerca de 500 anos atrás). A revolução científica modificou o curso da história e foi crucial para a posição do *homo sapiens* perante as outras espécies, e, talvez, seja a mais importante (HARARI, 2015).

Assim, o ser humano colocou-se em uma posição privilegiada perante os outros organismos vivos, marcando o início do antropocentrismo e da criação de uma dualidade: humano *versus* natureza. Porém, essa dualidade jamais existiu de fato — somente na cabeça do humano —, afinal, o ser humano depende de outras espécies para sobreviver (por exemplo, há bactérias no corpo humano que realizam processos específicos que são necessários para manutenção do corpo para ele se manter saudável). Pensando em reconectar o ser humano com a natureza e utilizá-la como modelo e mentora, algumas filosofias e ciências foram criadas buscando conectar novamente o humano com seu ambiente, e uma delas é a biomimética (BENYUS, 2003).

A biomimética (do grego *bios*, vida. e *mimesis*, imitação) é uma “[...] ciência que que estuda os modelos da natureza e depois imita-os ou inspira-se neles ou em seus processos para resolver os problemas humanos” (BENYUS, 2003, p. 8).

Foram cerca de 3,8 bilhões de anos de evolução; em que o que deu errado virou fóssil e o que se adaptou, sobreviveu. Benyus (2003, p. 11) comenta que, “[...] quanto mais o nosso mundo se parecer com a natureza e funcionar como ela, mais probabilidade teremos de ser aceitos nesse lar que é nosso, mas não exclusivamente nosso”. Ou seja, inspirar-se na natureza para criar tecnologias não é somente buscar uma referência, mas aprender a sobreviver.

## **1.1 Contextualização do Tema**

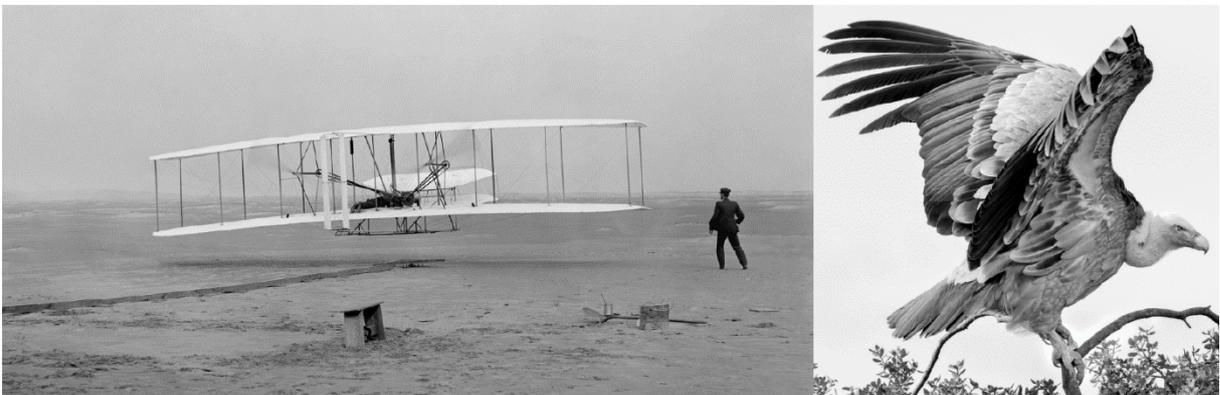
A biomimética utiliza três princípios: natureza como modelo, como medida e mentora. Como modelo para imitação, inspiração em mecanismos, formas e processos para resolver problemas humanos; como medida, pois a natureza sabe o que é apropriado, o que funciona e o que dura, ou seja, ela é um padrão ecológico; e, como mentora, pois é uma perspectiva diferente do pensamento focado no ser humano, concentrando-se em todo um sistema interrelacionado (BENYUS, 2003).

Por que buscar inspiração na natureza? A natureza consome o mínimo de energia e recursos (somente o necessário), sobrevive a condições variáveis, adapta a

forma à função, é inteligente e se autorregula, recicla tudo, recompensa a cooperação, confia na diversidade, exige especialização geograficamente especializada, inibe excessos, explora seus limites, utiliza processos variados e complexos. Ou seja, tudo esta relacionado coexistindo em harmonia (BENYUS, 2003; CHAKRABARTI et al., 2017).

Nas áreas de Desenho (Engenharia, Arquitetura, Design, etc.), a natureza sempre foi uma grande aliada para o desenvolvimento de produtos, tendo diversos exemplos de projetos que utilizam princípios de solução da natureza. O avião (a invenção mais famosa que teve inspiração direta na natureza), por exemplo, teve seu primeiro teste com êxito em 1903, graças aos estudos dos irmãos Wright acerca das nuances da resistência do ar e da força de sustentação através da observação de aves, como os abutres (BENYUS, 2003), como apresentado na figura 1. O modelo dos irmãos Wright voou através da impulsão com o uso de uma catapulta. Porém, em 1906, Santos Dumont foi o primeiro a voar em um modelo impulsionado por um motor, dando origem à maior polêmica da aviação: “Quem inventou o avião?”.

Figura 1 – Primeiro voo de sucesso dos irmãos Wright/ Abutre.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro exemplo é a forma do trem Shinkansen, que foi modificada ao longo do tempo devido ao efeito sonoro desagradável por conta da parede de ar que ele gerava ao sair do túnel. A solução veio das aves, mais especificamente do formato do bico comprido e cônico do Kingfisher (CHAKRABARTI *et al.*, 2017), mostrado na figura 2.

Figura 2 – Shinkansen / Kingfisher.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Um dos maiores inventores da história da humanidade, Leonardo Da Vinci [1452-1519] buscava inspiração na natureza para desenvolver a maioria dos seus projetos. Os irmãos Wright podem ser considerados os inventores do avião, porém, muito antes, Leonardo já havia realizado estudos anatômicos de aves e projetado invenções próximas à do avião, como documentado no *Codice sul volo degli uccelli* [1505-1506]. Leonardo Da Vinci também concebeu o famoso “cavaleiro mecânico” por volta de 1495, primeiro projeto documentado de um robô humanoide que, segundo registros, era capaz de mover parte do seu corpo e emitir sons. O modelo foi baseado na pesquisa anatômica do corpo humano, representada pelo famoso desenho do Homem Vitruviano (MANCUSO, 2019).

Com a demanda do mercado por novos produtos e devido ao consumo efêmero, há a necessidade de inovar (CHAKRABARTI et al., 2017). Desenvolver projetos inovadores exige enxergar problemas sob novas perspectivas, e a natureza pode servir como grande aliada nesse processo – afinal, são milhares de seres vivos realizando processos complexos, utilizando mecanismos que evoluíram milhões de anos e sobreviveram às mudanças que o planeta enfrentou durante esse tempo. A natureza conhece seus limites e os caminhos a serem percorridos; olhar para ela é visualizar o futuro. Muitos dos problemas humanos atuais foram justamente criados pelo ser humano, e direcionar a visão para a natureza pode trazer as soluções procuradas, pois, talvez, não se esteja procurando no lugar certo (BENYUS, 2003).

Para Archer (*apud* MUNARI, 1981, p. 39), “[...] o problema do design resulta de uma necessidade”, ou seja, qualquer projeto tem um objetivo, um propósito, um porquê

de existir. Utilizar princípios de solução da natureza para solucionar problemas de projeto de design, além de proporcionar reflexões sobre possíveis recursos criativos, pode também modificar todo o processo de trabalho. Não é somente uma inspiração estético-funcional, mas um modo de perceber o processo sob uma nova perspectiva criativa (BENYUS, 2003).

Há diversos estudos com foco na utilização da natureza como fonte de inspiração para solucionar problemas de projeto em diferentes áreas — arquitetura, biologia, design, engenharia, medicina, tecnologia, entre outras. Existem ferramentas de suporte ao pensamento analógico que utilizam princípios de soluções da natureza como fonte de dados, repositórios que contêm um grande número de mecanismos naturais, como o AskNature (2008) do Biomimicry Institute, o Ideia-Inspire (2005) desenvolvido por Chakrabarti *et al*; também há métodos e modelos teóricos que auxiliam no processo criativo e projetual de produtos biomiméticos, como os Modelos Funcionais (2010) apresentados por Nigel. Alguns desses métodos e ferramentas são de acesso livre, como o AskNature (2008) do Biomimicry Institute, outros de acesso restrito, como o Ideia-Inspire (2005) de Chakrabarti *et al*, e muitos deles não possuem um nível de detalhamento ideal para dar suporte ao usuário que busca solucionar um problema de projeto de design.

## **1.2 Delimitação do Tema**

Coletar informações ajuda a compreender o problema projetual e torna o mesmo mais próximo do projetista (BONSIEPE, 1984). O problema deve ser estudado sob diversas perspectivas, a fim de se ter uma solução adequada para o mesmo (BAXTER, 2003). Baxter (2003) comenta que a etapa informacional é extremamente necessária para a geração de novas ideias.

A etapa informacional permite a ampliação de percepções e organização das informações por meio de técnicas de análise (MEDEIROS E GOMES, 2003). A técnica de análise estabelece uma interação direta do indivíduo e o meio, através da observação, retenção (ZAVADIL, 2016).

O estudo da presente dissertação se fundamenta no método e repositório BIOsign, desenvolvido por Flora Detanico em sua pesquisa de doutorado.

Conjuntamente, método e repositório estimulam e facilitam o uso de princípios de solução da natureza na concepção de alternativas de projeto (DETANICO, 2021). O método proposto, por meio da decomposição funcional e da analogia com a natureza, propõe o exercício de abstração, buscando a geração de alternativas de projetos mais inovadores (DETANICO, 2021). Já o repositório reduz a subjetividade e a imprecisão na busca dos mecanismos naturais (DETANICO, 2021). Ele foi construído seguindo uma taxonomia desenvolvida por Detanico em sua dissertação de mestrado (DETANICO, 2011). O método e repositório serão apresentados de forma mais aprofundada no capítulo 2.1, *Processo criativo inspirado na natureza*.

Durante a revisão sistemática de literatura — abordada no capítulo 5 — foi diagnosticada uma lacuna de pesquisa através da investigação de métodos e ferramentas que utilizam PSN. Os métodos e ferramentas não possuem uma etapa informacional adequada que permita o aprofundamento do conteúdo e facilite sua compreensão, potencializando os resultados na geração de alternativas.

O método BIOsign não possui uma etapa para analisar de forma profunda os princípios de solução da natureza. A quinta etapa do processo orienta o estudo de princípios de solução, porém não há direcionamentos de como deve ser realizada essa investigação. Com isso, há a necessidade de uma etapa informacional de análise bem estruturada que auxilie e potencialize os resultados.

Sendo assim, esse estudo propõe auxiliar e expandir o método BIOsign através da criação de técnicas de análise de princípios de solução da natureza — PSN —, que serão utilizadas com a finalidade de aprofundar a compreensão desses princípios, além de possibilitar a comparação dos princípios com o problema de projeto, tornando-o mais assertivo.

Esta pesquisa tem como objeto de estudo a observação e análise de princípios de solução da natureza no processo criativo, a fim de solucionar problemas de design de forma criativa e objetiva. Assim, são considerados como elementos do estudo o processo criativo de produtos inspirados na natureza, os princípios de solução da natureza (PSN), e técnicas de auxílio para compreensão de PSN.

### **1.3 Problema de Pesquisa**

Diante do tema apresentado, propõe-se o seguinte problema de pesquisa: como a seleção e decodificação de princípios de solução da natureza pode influenciar o processo criativo de geração de alternativas de produtos de design?

### **1.4 Hipótese**

A utilização de técnicas de análise para decodificação de princípios de solução da natureza pode tornar o processo mais assertivo e promover maior fluência criativa na geração de alternativas de projetos de design.

### **1.5 Objetivos**

Este estudo tem como objetivo geral desenvolver técnicas de análise de princípios de solução da natureza para potencializar o processo criativo de geração de alternativas de projetos de design.

A pesquisa tem como objetivos específicos:

- I. Identificar princípios do pensamento criativo no processo criativo inspirado na natureza;
- II. Identificar quais etapas do processo criativo são determinantes para a utilização de princípios de solução da natureza;
- III. Compreender a estrutura desses mecanismos — princípios de solução da natureza — e analisar quais pontos podem ser aplicados para auxiliar o pensamento criativo;
- IV. Caracterizar as técnicas de análise de produtos e geração de alternativas quanto aos aspectos que favorecem a utilização de PSN;
- V. Desenvolver técnicas que auxiliem na decodificação de princípios de solução da natureza no processo projetual;

- VI. Avaliar as técnicas desenvolvidas a fim verificar sua eficiência na decodificação dos princípios de solução da natureza.

## 1.6 Justificativa da Pesquisa

Na natureza, já há diversos PSN que poderiam solucionar boa parte dos problemas humanos. Porém, durante o processo criativo de design, há tanta diversidade de possíveis soluções que o projetista pode ter dificuldade em escolher as mais aptas para o seu projeto.

Sendo assim, **este estudo tem como eixo central a utilização da natureza como modelo de solução de problemas; a fim de potencializar o processo criativo de desenvolvimento de produtos, com foco na otimização dos resultados através do uso de técnicas de análise para a decodificação de princípios de solução da natureza, tornando o processo mais assertivo.**

Não há pesquisas voltadas para o desenvolvimento de técnicas de análise de princípios de solução da natureza com o foco de auxiliar na escolha do princípio que possui as características desejadas para solucionar o problema de projeto; além disso, há uma certa dificuldade em decodificar o mecanismo natural para transpor sua função, facilitando a fluência na fase de concepção de alternativas de projeto.

Diante disso, este estudo apresenta sua relevância pela sua contribuição: (1) **A quantidade e diversidade de princípios de solução na natureza** para inspirar o processo criativo de design; (2) **Decodificação de princípios de solução da natureza para a resolução de problemas de design;** (3) **Maior assertividade na escolha de princípios de solução da natureza;** (4) **Aprofundamento na compreensão dos mecanismos naturais,** facilitando a **fluência de ideias durante a geração de alternativas;** (5) Otimização do processo criativo e projetual de design, potencializando as possíveis soluções dos problemas propostos; (6) Desenvolvimento de produtos mais sustentáveis e com impacto social positivo..

Também, o fator sustentabilidade está em evidência e em crescente evolução em indústrias de diversos segmentos. Grandes marcas tem adotado a temática ESG — *enviromental, social, and corporate governance* — como base de sua estrutura,

segundo a revista Exame (2022). As corporações são compostas por pessoas e desenvolvem produtos para pessoas — diretamente ou indiretamente — , sendo assim, o mercado tem cobrado uma postura mais sólida quando o impacto ambiental e social de produtos.

## 1.7 Estrutura da Dissertação

A estrutura deste relatório de projeto é composta por nove capítulos, sendo eles: introdução; referencial teórico, composto por dois capítulos, Processo Criativo Inspirado na Natureza e Métodos de Análise e Geração; Metodologia; Métodos e Ferramentas que utilizam PSN: Revisão Sistemática de Literatura; Proposição do Artefato; Desenvolvimento; Avaliação; Considerações Finais, e também as referências.

O primeiro capítulo, **Introdução**, apresenta elementos introdutórios da pesquisa: a contextualização e delimitação do tema (apresentando a área específica em que o tema está inserido), o problema de pesquisa, a hipótese, os objetivos (geral e específicos) e a justificativa.

O segundo capítulo, compõe o referencial teórico do estudo, fundamentando a pesquisa. Esse capítulo, **Processo criativo inspirado na natureza**, aborda o processo criativo de design, pontuando os princípios do pensamento criativo, identificando quais partes do processo são determinantes para a introdução de princípios de solução da natureza (PSN) no projeto e como essas possíveis soluções podem ser aplicadas, além de apresentar artefatos que utilizam PSN como fonte de inspiração.

Já o terceiro capítulo, **Métodos de Análise e Geração**, apresenta técnicas de análises de produtos, destacando quais pontos são determinantes na escolha de princípios de solução da natureza. Também são introduzidas técnicas de geração de alternativas com a finalidade de compreender os pontos determinantes para utilização de princípios da natureza.

O quarto capítulo, **Metodologia**, descreve como foi feita a abordagem metodológica utilizada, explicando as etapas e procedimentos executados para alcançar os objetivos propostos.

O quinto capítulo, **Métodos e Ferramentas que utilizam PSN: Revisão Sistemática de Literatura**, mostra a condução da RSL e quais artefatos foram identificados.

No sexto capítulo, **Proposição do Artefato**, é realizada a identificação da classe de problemas, assim como a proposição do artefato.

O sétimo capítulo, **Desenvolvimento**, ocorre o desenvolvimento do artefato proposto.

Já no oitavo capítulo, **Avaliação**, o artefato é avaliado conforme os requisitos de projeto.

No nono e último, **Considerações Finais**, é realizada a conclusão do estudo e são sugeridas possíveis pesquisas futuras.

## 2. Processo Criativo Inspirado na Natureza

A *International Organization for Standardization* estruturou a norma ISO/TC 266 Biomimetics, que contém a norma ISO 18458:2015 *Biomimetics - Terminology, concepts and methodology* apresentando as terminologias que possuem relação com a inspiração na natureza, como uma solução para tornar mais fácil a compreensão dessa linha de estudo (TERRIER *et al*, 2017). A observação dos sistemas biológicos para aplicação no processo criativo de design é chamada de bioinspiração (TERRIER *et al*, 2017).

A biomimética relaciona os sistemas biológicos, seus mecanismos funcionais, estruturas formais, processos e regras de forma interdisciplinar; utilizando esse conhecimento como modelo para outros campos (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015).

O termo da língua inglesa *biomimicry* tem o foco em criar soluções sustentáveis relacionadas a aspectos sociais, ambientais e econômicos. Já o termo *biomimetics* não necessariamente precisa ter foco em soluções sociais e etc. Ambas nomenclaturas são apresentadas na ISO 18458:2015 (PAWLYN, 2011).

Já a biônica é o estudo e análise dos mecanismos biológicos e como eles podem ser incorporados às tecnologias produzidas pelo homem, a fim de desenvolvê-las (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015).

Sendo assim, o presente estudo utiliza o termo biomimética pois os resultados dessa pesquisa possuem fins de uso interdisciplinar — sendo o design uma área que trabalha de forma interdisciplinar.

O método biomimético busca na natureza inspiração para criar produtos, processos, e políticas que sejam eficazes, duráveis e sustentáveis (BENYUS, 2003). Por mais que o termo tenha sido cunhado recentemente, a biomimética sempre fez parte da vida do ser humano.

O design inspirado na natureza é fundamentado na organização e funcionamento de processos e fenômenos naturais, tendo como norteadores: utilizar somente a energia necessária; adequar a forma à função; reciclar componentes; recompensar cooperação; haver diversidade; focar no local; trabalhar com excessos em

escalas de complexidade; explorar limites; funcionar por meio da luz solar (BENYUS, 2003). É preciso pensar em processos e como eles impactam no cenário e socialmente — qual o ganho.

Como já mencionado no capítulo anterior, a natureza dispôs de bilhões de anos no processo evolutivo; adaptou seus elementos, sistemas, estruturas, funcionalidades, formas, com a finalidade de sobreviver, conforme as necessidades eram percebidas. Alguns princípios permaneceram, enquanto outros ficaram documentados em indícios (THIÉRY; BRETON, 2017). Portanto, a natureza é uma base de insumos gigantesca para profissionais criativos que possam realizar investigações e se inspirar em princípios de solução que se desenvolveram em milhões de anos — alguns bilhões (BENYUS, 2003).

A inspiração na natureza é algo natural do ser humano, pois o mesmo sempre buscou replicar suas próprias formas e funções em outros mecanismos, sugerindo o mesmo como “a maior invenção presente na natureza” (MANCUSO, 2019). Também, sempre houve um movimento de adaptar os recursos existentes às suas necessidades; assim, mesmo que de forma distante, cada problema humano é solucionado com os recursos e informações que o mesmo percebe no seu contexto, ou seja, a natureza.

Tomemos o computador, esse dispositivo insubstituível que é símbolo da modernidade. Pode parecer algo totalmente diferente de nós, mas é projetado a partir de esquemas ancestrais: um processador que representa o cérebro e tem a função de governar o *hardware*; periféricos, discos rígidos, memória RAM, cartões de memória; placas de vídeo e de áudio que transpõem nossos órgãos em um modelo tecnológico, *sic et simpliciter*. Tudo que o homem constrói tende a ter, de uma maneira mais ou menos evidente, a mesma arquitetura subjacente comum, com um “cérebro pensante” que governa “órgãos atuantes”. Até empresas [...] são construídas sobre esse modelo. (MANCUSO, 2019, P.28).

A abordagem bioinspirada trouxe novos ares; pois o homem não é mais o único modelo de inspiração. Toda natureza se tornou um modelo de possíveis soluções para estudar, analisar e se inspirar (MANCUSO, 2019).

## 2.1 Pensamento por analogia

Tschimmel (2010), afirma que a criatividade é uma capacidade cognitiva que, quando aplicada no contexto correto, pode criar algo novo. Por meio de procedimentos cognitivos, que são ativados através da percepção, os elementos contidos na memória conectam-se, ou seja, o pensamento criativo é consequência da interação entre conteúdos semânticos específicos e operações mentais (TSCHIMMEL, 2010).

Induzida por diversos fatores, a criatividade é uma capacidade sistêmica que se manifesta em soluções de problemas que, por sua vez, são originados através de necessidades (TSCHIMMEL, 2010). As informações do problema, percebidas pelo indivíduo criativo, se relacionam aos conhecimentos específicos armazenados e operações cognitivas que permitem estabelecer conexões. Essas informações são dados que, por sua vez, não podem ser alterados, ou seja, o único modo de resolver é encontrar uma solução adequada (WONG, 2001).

A capacidade de estabelecer relações é vital para o pensamento por analogias. Os métodos criativos ajudam a realizar essas ligações e desenvolvê-las (GOMES, 2011). O cérebro pode ser visto como uma máquina de fazer associações. Quando um objeto é visto, são feitas associações com palavras — nome do objeto —, com a memória — quando foi visto pela última vez —, com emoções — caso seja associado com algum momento marcante —, com alguma tarefa — qual sua função (BAXTER, 2003). Quando se compreende algo, se aprende uma nova associação — por exemplo, o número 4 é associado com  $2+2$ . Quando se senta ao ar livre olhando para o céu noturno, são associadas imagens contidas na memória (BAXTER, 2003). Todas percepções, pensamentos, emoções e memórias estão conectados e armazenados em redes neurais, que permitem realizar as associações entre as informações (BAXTER, 2003).

A criação só é possível quando o cérebro detém quantidade e variedade de insumos, permitindo que haja fluidez de associações. Essas conexões permitem que um indivíduo criativo gere alternativas. É importante descartar ideias que não se mostram interessantes no cenário pretendido, porém com cuidado; assim será possível focar em investigar pensamentos produtivos. Tudo que é retido pela serve como estímulo para a visualização mental, para formação da imaginação (GOMES, 2011).

Os princípios associativos tem base na relação natural, pois acontecem devido à propensão da imaginação para realizar a transição de um insumo para uma ideia, ou de ideia para ideia, ou seja, aspectos de conexão entre domínios (HUME, 1999).

A percepção compreende os insumos de um cenário que são captadas pelos sentidos. É um processo que é construído conforme informações são apreendidas e interpretadas (ZAVADIL, 2016). A soma de diversos aprendizados contidos na memória permite realizar conexões e perceber as informações sob diversas perspectivas — depende muito das experiências que um indivíduo foi exposto, além da atenção aos detalhes e do pensamento analítico.

A percepção atua em todas as fases do processo criativo, mesmo sendo associada a fases iniciais de projeto — por possuir características retentivas e analíticas —, é um procedimento primordial para as etapas metodológicas, já que as mesmas dependem da compreensão dos aprendizados e avaliação de resultados obtidos (ZAVADIL, 2016).

A representação visual conjuntamente com a percepção, possui papel fundamental na geração de ideias, pois auxiliam a ampliar a perspectiva de projeto, possibilitando a conexão entre ideias, a inclusão de novos aspectos e informações, além da interpretação e reinterpretação do que é representado visualmente (CROSS, 2011; ZAVADIL, 2016).

Assim, a percepção é associada ao pensamento analítico, pois através da análise é possível perceber diferenças, similaridades, aspectos não identificados, etc. (ZAVADIL, 2016). A análise e síntese são procedimentos cognitivos que são conectados, uma vez que a análise busca compreender o insumo a fim estabelecer relações para que o pensamento sintético possa decompor em partes a informação, avaliando e comparando. Assim um processo depende do outro e estão ligados (TSCHIMMEL, 2010; ZAVADIL, 2016).

A síntese seria a composição de uma nova combinação; ou seja, a associação de dois ou mais elementos com a finalidade de se criar uma associação nova (TSCHIMMEL, 2010; ZAVADIL, 2016).

A identificação, reconhecimento, comparação, classificação, avaliação são

capacidades devidas ao pensamento analítico e sintético, assim como a percepção, sendo necessárias para realizar associações e analogias (TSCHIMMEL, 2010; ZAVADIL, 2016). As associações ocorrem de forma espontâneas, já as analogias realizam relações de modo consciente com base em insumos.

O pensamento por analogias é um tipo de pensamento que possibilita estabelecer conexões entre domínios; que, através da percepção de informações, de forma organizada, permite conectar informações e formar novas combinações para desenvolver novas ideias (CHAKRABARTI *et al*, 2017).

Os domínios podem ser familiares ou distantes — depende das similaridades percebidas por cada indivíduo. A fonte é o domínio mais familiar, já o domínio mais distante é chamado de alvo (ZAVADIL, 2016).

Gordon (1968) distinguiu as analogias em quatro tipos: analogia pessoal, quando os elementos são identificados e próximos; analogia direta, que ocorre com base nas relações paralelas; analogia simbólica, através de associações com símbolos; analogias por fantasia, criadas de forma fantasiosa, sem ter compromisso com a realidade. A sinestesia, método proposto por Gordon, é apresentado no item (3.2.4). Na figura (3) é apresentada uma equação proposta dor Gordon (1968) que pode ser utilizada para obter soluções com analogias elegantes.

Figura 3 – Equação de uma solução elegante obtida através do uso de analogias.

$$\text{SOLUÇÃO ELEGANTE} = \frac{\text{MULTIPLICIDADE DE VARIÁVEIS}}{\text{SIMPLICIDADE DE SOLUÇÕES}}$$

Fonte: Adaptado de GORDON (1968).

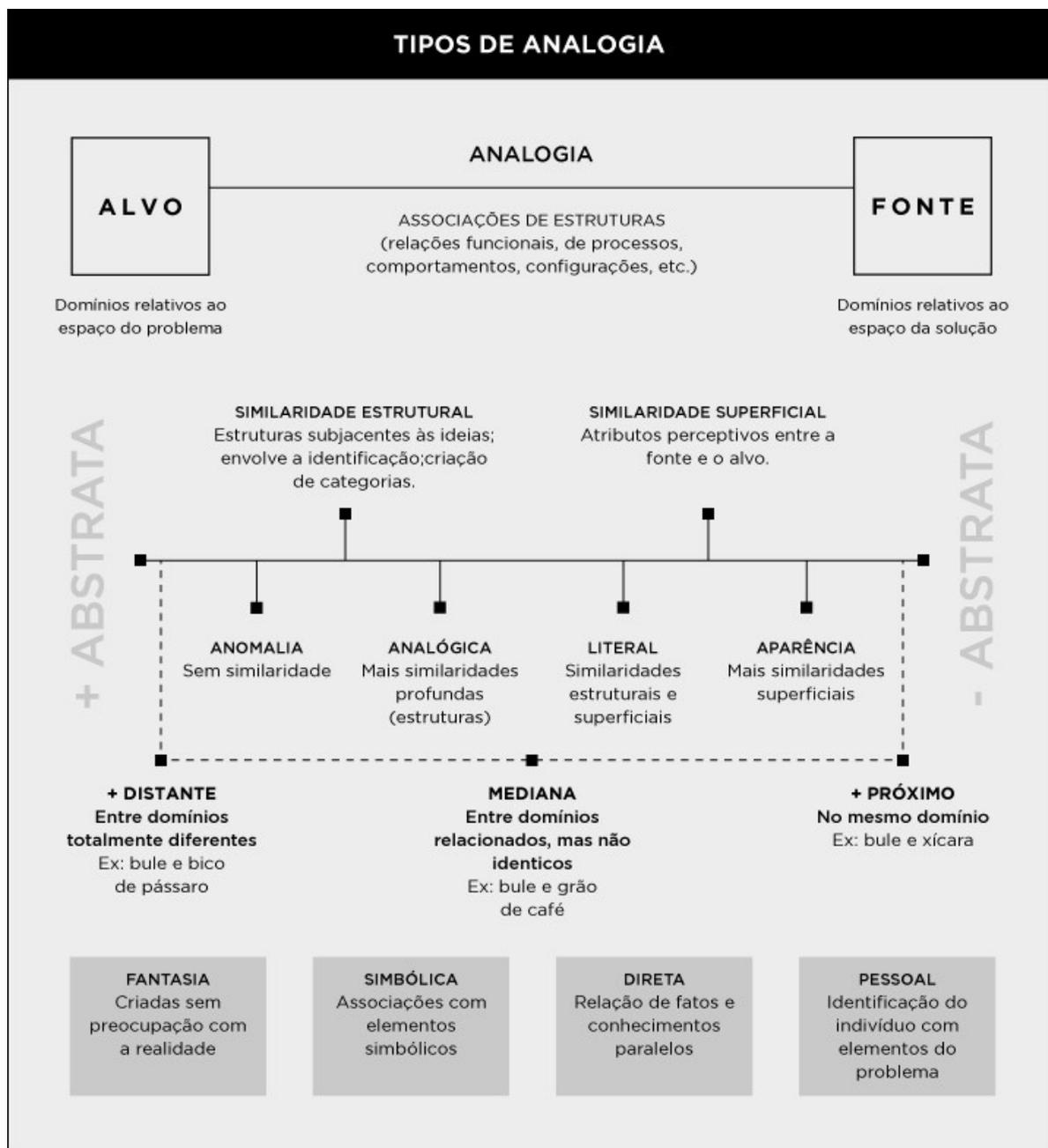
Genter e Markman (1997) estabeleceram a distância entre fonte e alvo em quatro categorias: anomalia, quando não há similaridade entre fonte e alvo; mera aparência, quando há mais similaridade superficial que estrutural; literal, quando há similaridades

superficiais e estruturais; similaridade analógica, muitas similaridades profundas e poucas superficiais.

Ward (1998) propôs três categorias de analogias: analogias de mesmo domínio conceitual; domínios relacionados, mas não idênticos; domínios divergentes.

Por sua vez, Kelogerakis *et al* (2010) também propôs três categorias: próximas, quando a fonte e alvo estão na mesma categoria; medianas, entre categorias diferentes; distantes, em categorias que não envolvem produto.

Figura 4 - Tipos de analogia.



Fonte: Adaptado de ZAVADIL (2016).

Com base nos estudos mostrados anteriormente, Zavadil (2016) organizou um resumo contendo os tipos de analogia, sua classificação em relação a fonte e alvo, figura (4). Primeiramente, temos a relação de alvo e fonte, que caracterizam justamente os domínios de espaço do problema (alvo) e espaço solução (fonte), através dos quais são estabelecidas relações de associações de estruturas. Há também relações quanto ao nível de abstração de domínios, quando mais próximo, menos abstrato é, quando mais distante, mais abstrato é. Com isso, são classificados graus de abstração, sendo a similaridade superficial menos abstrata e a similaridade estrutural mais abstrata. Além disso, a similaridade literal e de aparência são menos abstratas que a anomalia e analógica. Zavadil (2016) ainda apresenta tipos de analogia, classificando as mesmas em: fantasia, onde não há proximidade com a realidade; simbólica, onde há associações a símbolos; direta, quando há relações paralelas; e pessoal, quando há maior identificação do indivíduo com o problema as duas primeiras mais abstratas e as duas últimas menos abstratas.

A compreensão das relações de similaridade permite que o indivíduo compreenda o processo de geração de alternativas através do pensamento por analogias, explorando possibilidades e relacione domínios de forma objetiva e produtiva (ZAVADIL (2016). Geralmente pessoas têm mais familiaridade com o domínio artificial das ideias, porém algumas pesquisas apontam que outros domínios são mais interessantes, como a natureza (CHAKRABARTI *et al*, 2017).

A simples “cópia” de um PSN não é algo encorajado, pois não favorece o pensamento criativo. Busca-se uma forma de compreender todo um sistema e transpor esse conhecimento para potencializar resultados; o pensamento analógico é um caminho (BAUMEISTER, 2013). Já Chakrabart *et al* (2017) afirma que “o raciocínio analógico é vital para o desenvolvimento de ideias para novos produtos”.

Para o pensamento por analogia ocorrer de forma fluida é necessária uma etapa informacional bem organizada e estruturada (BAXTER, 2003), onde o indivíduo criativo colete informações do problema e analise os insumos de forma detalhada. Assim, a análise do problema e do PSN permitirá uma solução mais assertiva através do pensamento por analogia.

### **3. Métodos de Análise e Geração**

Todo jogo possui uma estrutura que estabelece como o jogador deve se comportar para atingir seu objetivo. O método nada mais é que a estrutura do jogo que auxilia o jogador a compreender como se joga e, conforme as jogadas, fica mais evidente como solucionar o problema. É preciso ter regras definidas, pois ao contrário, haverá imprecisão na jogada (MONTENEGRO, 1987).

No projeto você joga (o termo é este, pois projeto é um jogo intelectual, e bastante refinado) com milhares de elementos memorizados. As combinações possíveis são uma quantidade extraordinariamente elevada; alguma coisa próxima do infinito. (MONTENEGRO, 1987, p. 84).

O Método é o caminho para atingir uma finalidade, podendo ser compreendido como um conjunto de procedimentos (PAZMINO, 2015). Pode ser estruturado em etapas com foco mais criativo e outras etapas com foco mais analítico (BÜRDEK, 1994, 2006). Há instrumentos de planejamento, coleta, análise, síntese (PAZMINO, 2015).

O desenvolvimento interno de cada etapa projetual é devido ao uso de métodos e técnicas. O processo de design é formado pelas etapas e pelas ações estabelecidas entre etapas. Eles se modificam de acordo com a natureza do projeto e são passíveis de serem ensinados (PAZMINO, 2015).

Os métodos devem vistos como todos procedimentos, técnicas ou ferramentas que sejam utilizados para projetar e representam as ações necessárias para desenvolvimento de um produto (PAZMINO, 2015). Eles ajudam a captar insumos necessários, além de facilitar a conexão dos conteúdos e organizar os processos mentais, para que o fluxo de pensamento fique claro e objetivo. Extrair da mente o trabalho sistemático e materializá-lo permite que o pensamento fique direcionado a dedicar-se ao pensamento indutivo (PAZMINO, 2015). Também é uma forma de documentar os procedimentos utilizados no processo criativo e projetual.

O método conduz o pensamento criativo a solucionar problemas de projeto; ou seja, não é inimigo da criatividade, fantasia, imaginação ou intuição (MUNARI, 1981; PAZMINO, 2015). O pensamento criativo é uma habilidade cognitiva que pode ser

estimulada e desenvolvida através de procedimentos específicos (TSCHIMMEL, 2010; MONTENEGRO, 1987) — alguns desses procedimentos são métodos ou técnicas criativas (PAZMINO, 2015).

A metodologia de design é uma ciência/estudo de métodos empregados em design. Por sua vez, o método de design é o suporte macro de um processo criativo/projetual, sendo assim um conjunto de procedimentos micro que visam atingir um objetivo. Englobam um método de design: o modelo de processo de projeto, as técnicas de projeto e as ferramentas de projeto, como é possível visualizar na figura (5) (PAZMINO, 2015).

Figura 5 - Diferenciação de termos de processo de projeto de design.



Fonte: Adaptado de PAZMINO (2022).

Aplicando o método em determinado problema o projetista pode descobrir diversas formas de solucionar um problema, ou seja, o uso de um método estimula o pensamento criativo. As regras dos métodos existem para ajudar a fluir as ideias (MUNARI, 1981).

Munari (1981) comenta que o método projetual não é algo absoluto ou definitivo, pois ele é passível de mudanças conforme as necessidades mudem. É importante compreender o contexto do projeto e suas necessidades antes de escolher um método. Os métodos dependem de informações coletadas pelo designer para que o projeto seja abastecido (PAZMINO, 2015).

No momento de escolher um método é importante saber o que se está buscando, conhecer suas etapas e procedimentos pois isso impacta diretamente os resultados. Os métodos podem ser analisados através de três pontos de vista: criatividade, racionalidade e controle sobre o processo de design (JONES, 1978).

### **3.1 Técnicas de Análise**

Muitos autores — como Baxter (2003), Medeiros e Gomes (2003), Bonsiepe (1984) — abordam a importância de uma fase de coleta de informações do problema. Essa etapa ajuda o projetista a compreender o problema e se familiarizar com o mesmo; com essa perspectiva, o problema deve ser dissecado de diversas formas, fornecendo subsídios necessários para a geração de ideias (BAXTER, 2003). Para Baxter (2003), a geração de ideias só será efetiva quando “houver um período de preparação para absorver e digerir as informações disponíveis”.

Medeiros e Gomes (2003) chamam essa etapa de preparação, sendo a segunda etapa dentro da sua metodologia. A preparação permite a organização e construção de informações do problema, através do uso de técnicas analíticas, adequadas para a potencialização do vocabulário e fluência projetual.

As técnicas de análise fazem parte da etapa informacional do processo criativo/projetual; elas permitem que o projetista realize uma ampliação e organização do conteúdo do projeto, possibilitando ter uma visão sistêmica.

Medeiros e Gomes (2003) propõem o uso de técnicas de análises linguísticas e análises desenhísticas, pois, combinadas, elas ampliam a percepção do projetista.

Para Brito (2004), as análises linguísticas permitem uma visualização mais preliminar do conteúdo; organizando e sistematizando o conteúdo a fim de haver uma compreensão verbal e visual dos termos do projeto.

As técnicas e análise conotativa e denotativa buscam o entendimento dos termos de projeto; já as técnicas de análises diacrônica e sincrônica estão voltadas para a compreensão dos produtos e seu contexto; por sua vez, a técnica de paradigma e sintagma é voltada para a compreensão dos elementos do produto, buscando verbalizar o que é visual (BRITO, 2004)

As análises desenhísticas, por sua vez, possibilitam compreender projetualmente como o produto analisado funciona tanto formalmente como funcionalmente. Com isso, o projetista obtém insumos — técnicos formais e técnicos funcionais — para as próximas etapas do processo criativo e projetual. Medeiros e Gomes (2003) propõem em sua metodologia as seguintes técnicas de análise desenhística: análise estrutural; análise funcional, análise da tarefa e análise morfológica. Essas técnicas buscam analisar a estrutura do produto e seus elementos, sua funcionalidade e manuseio, sua composição formal, evidenciando seus pontos positivos e negativos.

Com base em Medeiros e Gomes (2003), as técnicas descritas acima foram investigadas com a finalidade de compreender sua estrutura e analisar quais pontos poderiam ser utilizados em uma técnica de análise de PSN. As análises conotativa e denotativa não são descritas abaixo pois são técnicas que buscam compreender os termos do projeto, o que não é o foco de uma análise de PSN.

Com a finalidade de haver uma descrição visual das técnicas de análise e geração de alternativas, facilitando a compreensão do leitor, foi escolhido um objeto comum — cadeira — para ilustrar sua execução de cada técnica.

### **3.1.1 Análise Diacrônica**

A análise diacrônica tem a finalidade de perceber o desenvolvimento histórico do produto, colecionando material que demonstre mutações ao longo do tempo,

identificando características marcantes. Fatores históricos, culturais, sociais e técnicos devem ser levantados pois assim o designer terá consciência das mudanças que o produto passou em diferentes períodos e isso pode influenciar novos conceitos, estéticas, além de possibilitar a visualização de elementos nostálgicos que podem ser utilizados como estratégia (PAZMINO, 2015).

Caso não se tenha documentação necessária sobre um produto específico, é possível recolher informações sobre a empresa que o fabricou, produtos similares, referências históricas, elementos e etc.; tudo com a pretensão de compreender o ambiente em que o produto estava inserido e o porquê de ele ser fabricado da forma que foi concebido, pois conhecendo esses processos terá uma visão mais ampla das alternativas de projeto.

Essa pesquisa pode ajudar a desenvolver linguagens que se relacionam com o usuário do produto, criando um vínculo afetivo e aproximando o cliente para que ele desfrute de uma experiência que supra suas necessidades emocionais. A estética de um produto pode relacionar ele com fatores históricos, com a originalidade, à vanguarda, à moda, à nostalgia, à ícones específicos ligados a um período. A seguir, passos para realização da análise diacrônica:

A. Estabelecer critérios para a pesquisa, por exemplo, fazer uma pesquisa da evolução estética do século XX, evidenciando materiais, cores, acabamentos, formas de fabricação e elementos visuais.

B. Identificar imagens que ilustrem os produtos.

C. Estruturar um painel com as figuras e informações pertinentes à pesquisa dispostos em ordem cronológica.

Na figura (6) é possível visualizar a evolução estética do objeto ao longo de movimentos históricos de design e percebe-se que o desenho do produto mudou conforme a estética aplicada em cada período histórico, além disso, os processos de fabricação evoluíram e a produção em massa virou um fator decisivo no desenvolvimento estético e funcional de um produto.

Figura 6 – Exemplo de Análise Diacrônica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.2 Análise Sincrônica

A análise sincrônica consiste em reconhecer produtos concorrentes ou similares e os

comparar baseando-se em variáveis mensuráveis, possíveis de serem medidas; a fim de evitar desenvolver o mesmo produto e reconhecer pontos positivos e negativos para realizar apontamentos para melhorar o produto a ser desenvolvido (BAXTER, 2000; BONSIEPE, 1984).

Existem aspectos quantitativos, qualitativos e de classificação que ajudam na análise. Aspectos quantitativos são expressos numericamente, por exemplo: tamanho, peso, altura, preço, número de componentes e etc. Já os qualitativos são mais comparativos, por exemplo: eficiência, beleza, conforto, funcionalidade, ergonomia, etc. Os de classificação servem para indicar características do produto, como acabamento, textura, cor e etc. (PAZMINO, 2015).

Para realizar essa análise, é necessário dispor dos produtos concorrentes ou similares, ou pelo menos das informações necessitadas pelo projeto. Um produto concorrente é todo produto que está inserido no mesmo mercado e satisfaz as mesmas necessidades do usuário; já o produto similar atende as mesmas funções e necessidades do produto, mas não é da mesma classe, ou seja, concorrente indireto. Analisando os produtos concorrentes de acordo com os aspectos desejados é possível reconhecer as melhores características, o usuário, o mercado, as necessidades, etc.; com isso, é possível realizar inovações (PAZMINO, 2015). Os passos para realização da análise sincrônica são os seguintes:

- A. Dispor de um produto concorrente ou similar ou manual detalhado dos mesmos.
- B. Estabelecer critérios de avaliação conforme o propósito do projeto. Esses critérios podem ser quantitativos, qualitativos ou de classificação.
- C. Dispor figuras dos produtos em um painel com os critérios em formato de uma tabela ou quadro (lembrando que tabela é para dados quantitativos e é aberta na lateral; já o quadro é qualitativo e fechado nas laterais).
- D. Identificar as características conforme os critérios utilizados.
- E. realizar a análise fazendo apontamentos.

A figura (7) mostra os possíveis produtos concorrentes dentro do universo do produto; que tipo de linguagem utilizam, perceber questões pontuais a fim de evitar

Figura 7 – Exemplo de Análise Sincrônica.



comparações e críticas através do uso de critérios comuns.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.3 Análise de paradigma e Sintagma

Um paradigma é uma propriedade essencial da unidade de um produto; é o que permite definir, distinguir e ordenar suas classes. É uma análise das formas e ordens do

produto para visualização da estrutura do objeto (GOMES, 2011).

Já o sintagma é a união de paradigmas, ou seja, elementos que compõem um objeto e que, unidos, formam o produto final. Por exemplo, uma palavra é um paradigma, sendo assim, uma oração é um sintagma, pois é a composição linear de diversos paradigmas que unidos dão sentido à oração (GOMES, 2011).

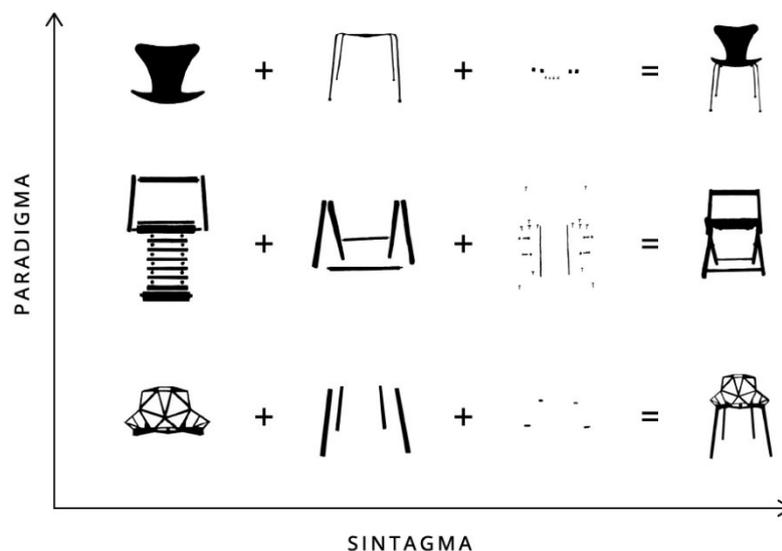
Assim, a análise de paradigma e sintagma de um produto nada mais é que a disposição de paradigmas, ou seja, elementos que compõem o produto (peças) organizados de acordo com sua classe para formar o sintagma (objeto). Passos para realizar a Análise de Paradigma e Sintagma:

A. Dispor de produtos concorrentes.

B. Organizar os paradigmas (elementos que compõem o produto) de acordo com sua classe funcional, assim se terá o sintagma, que é composição dos paradigmas.

C. Estruturar os paradigmas em um painel visual de forma organizada para que seja possível visualizar as relações dos elementos para formação do sintagma.

Figura 8 – Exemplo de Análise de Paradigma e Sintagma.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura (8) é possível observar a silhueta dos três produtos e dos elementos que os compõem, dessa forma é possível distinguir quais são de baixa, média e alta

ordem — do mais complexo ao menos complexo —, além de comparar os paradigmas que formam o sintagma e compará-los.

### 3.1.4 Análise Funcional

A análise funcional é um diagrama de relações hierárquicas de funções e subfunções esquematizadas em formato de uma árvore invertida (CROSS, 2008). Esse desdobramento funcional facilita a compreensão de uma estrutura que atenda às necessidades do problema de projeto (PAZMINO, 2015).

Essa técnica é estruturada seguindo a ordem funcional do produto — por exemplo, antes de você apertar o botão do liquidificador é preciso inserir o cabo na tomada — de acordo com o ponto de vista do usuário. O processo deve ser detalhado passo a passo, pois somente assim será possível haver entendimento completo da estrutura e das ações necessárias para manuseio do produto; também, possibilita a visualização de características dispensáveis e indispensáveis. Os subsídios obtidos através desta técnica de análise colaboram para a estimulação da geração de ideias, podendo provocar de pequenas mudanças à grandes inovações (PAZMINO, 2015).

E preciso ter um produto concorrente para realizar a análise funcional, pois o objeto físico é fundamental para se saber detalhadamente como o produto é manuseado — ter acesso ao manual de instruções de uso pode facilitar a compreensão de alguma especificação do produto.

Também, é utilizada para definir as soluções funcionais de um novo produto, ou seja, é possível utilizá-la na fase de geração de ideias, mas é preciso cuidado e muita criatividade. A seguir os passos para construção da análise funcional:

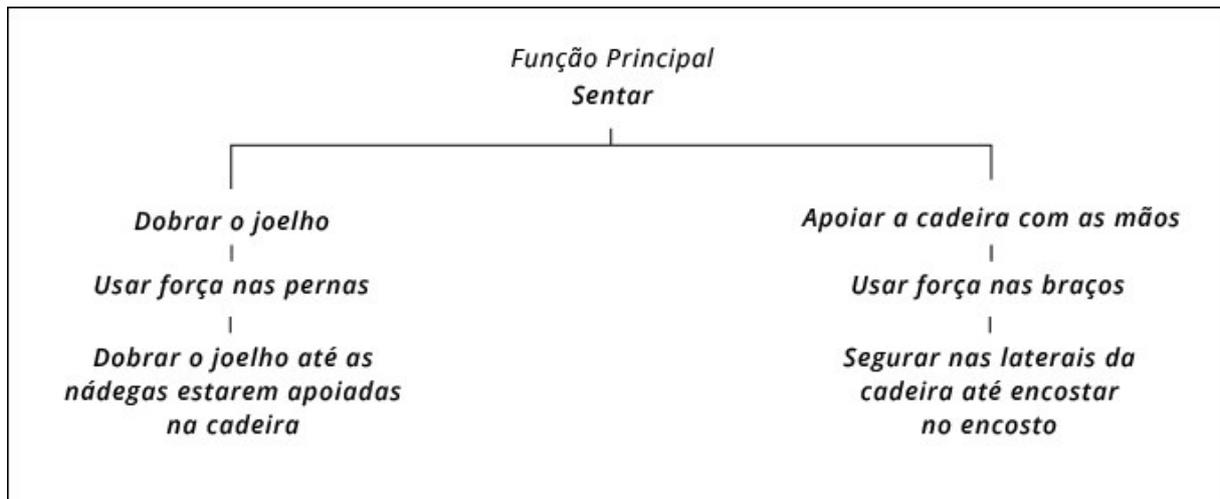
A. Definir função principal “O que o produto faz? ”.

B. A função principal é decomposta em subfunções ou funções mais básicas, utilizando a questão: “Como? ” — recomenda-se o uso de um verbo + substantivo.

C. Todas subfunções devem ser desdobradas.

D. “Por que?” é utilizado no sentido contrário para verificar que a análise funcional está estruturada da maneira correta.

Figura 9 – Exemplo de Árvore das Funções.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura (9) a sequência funcional do produto, pontuando suas funções principais e subfunções necessárias.

### 3.1.5 Análise da Tarefa

A análise da tarefa consiste em realizar a atividade necessária para uso do produto observando e descrevendo o processo e detectando todos aspectos que envolvem o produto, sejam positivos ou negativos (PAZMINO, 2015). Essa análise relaciona-se com o comportamento do usuário, ou seja, a estética não importa e sim o desempenho.

O processo deve ser registrado por meio de fotografias, ilustrações ou vídeos pontuando questões pertinentes quando à usabilidade e experiência do usuário — qualquer dado deve ser descrito textualmente junto com o auxílio visual registrado.

Como resultado dessa técnica de análise, o designer terá uma visão mais detalhada do uso do produto e conseguirá analisá-lo quanto a aspectos ergonômicos e a antropometria. Esses subsídios serão valiosos para a geração de novos conceitos e para estabelecer os novos requisitos para o projeto (PAZMINO, 2015). Essa técnica pode ser estimulada com o uso de entrevistas, grupos focais, listas de verificação e etc., pois apontamentos dos usuários irão facilitar a compreender as necessidades do usuário. A seguir os passos para construção da análise da tarefa:

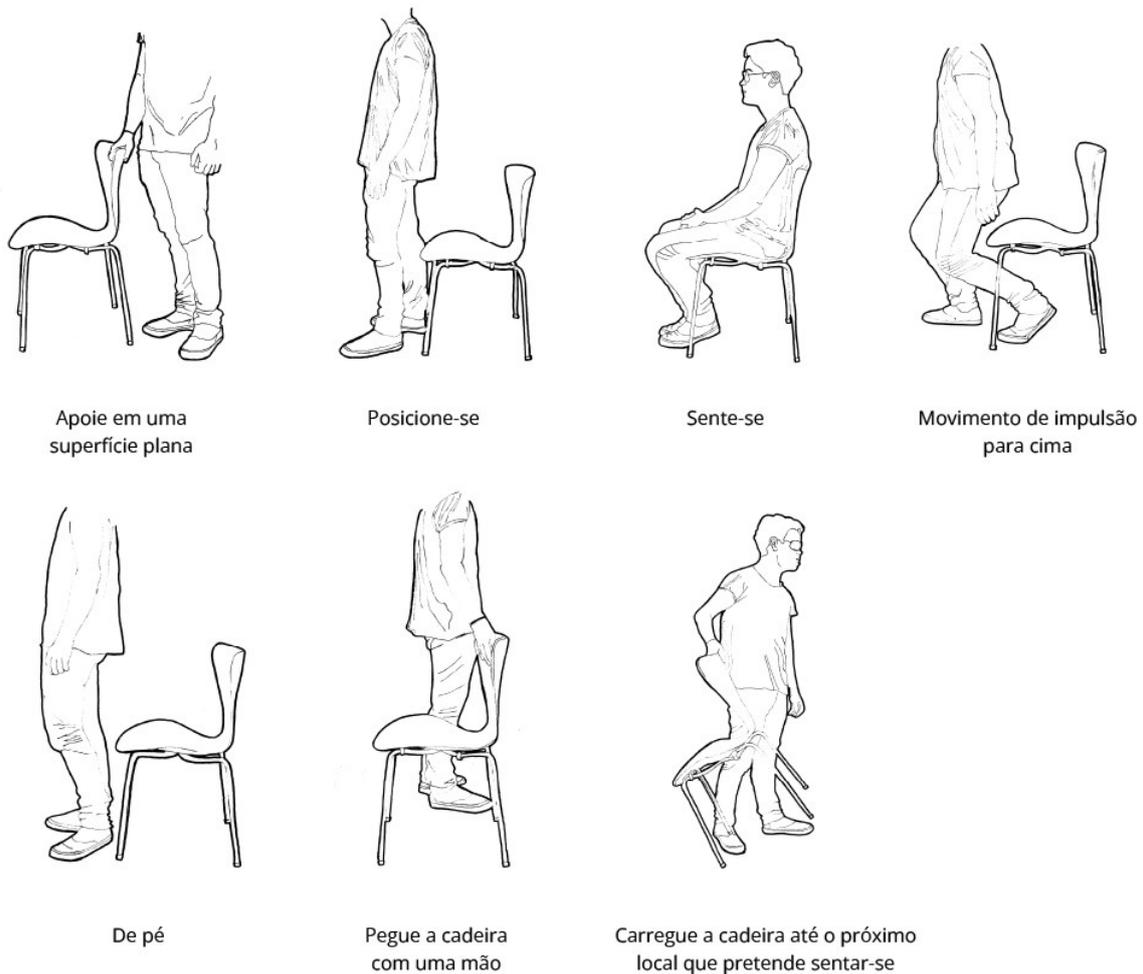
- A. Realizar a atividade necessária para o uso do produto.
- B. Registrar visualmente (por meio de fotografia, vídeos ou ilustrações) o passo a passo

da atividade (cada movimento deve ter representado).

C. Descrever o processo textualmente, pontuando aspectos negativos e positivos, além de possíveis soluções para problemas encontrados.

D. Organizar um quadro com o passo a passo sequencial com figuras e textos descritivos.

Figura 10 – Exemplo de Análise da Tarefa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já na figura (10), exemplo de análise da tarefa, é possível visualizar a relação do produto com o usuário, as posições e movimentos necessários para sua utilização, além de como a sua composição formal afeta o utilizador.

Depois de realizada a análise da tarefa dos produtos selecionados, é necessário

comparar a experiência de usuário através do preenchimento de um Quadro Comparativo de Funções, essa tabela permite que o designer visualize as diferenças entre os modelos e quantifique a qualidade dos produtos de acordo com cada critério. Os critérios são estabelecidos pelo projetista e devem ser estruturados conforme as necessidades do projeto.

Tabela (1) – Exemplo de Tabela Comparativa de Funções.

	<i>Formiga</i>	<i>One Stacking</i>	<i>Cadeira Dobrável</i>
<i>Conforto</i>	■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■
<i>Estabilidade</i>	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■
<i>Acabamento</i>	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■
<i>Simplicidade</i>	■ ■ ■ ■	■	■
<i>Adequação</i>	■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■
<i>Peso</i>	■ ■ ■	■	■ ■ ■
<i>Custo</i>	■ ■ ■	■	■ ■ ■ ■
<i>Resistente</i>	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■

Ruim ■ Regular ■ ■ Bom ■ ■ ■ Ótimo ■ ■ ■ ■

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tabela (1) os três modelos de cadeira são dispostos em colunas e os critérios avaliativos nas linhas. Os critérios são: conforto; estabilidade; acabamento; simplicidade; adequação; peso; custo e resistência. São dadas notas de 1 a 4 para cada cadeira, de acordo com cada critério.

### 3.1.6 Análise Estrutural

A fim de identificar o número e tipos de componentes, como também compreender os encaixes, formas de montagem, sistemas e subsistemas, conexões e a carcaça do produto, a análise estrutural é realizada. Antes de realizar a análise da estrutura do produto, deve-se fazer a análise funcional, pois identificar as funções e o processo funcional é necessário para compreender os componentes e seus usos.

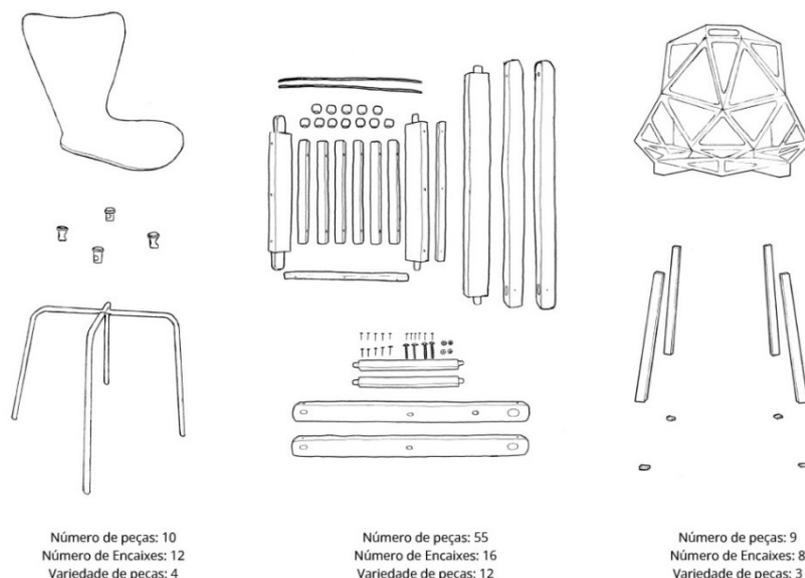
Para que ela tenha resultados exatos, essa técnica deve ser realizada com o auxílio de um produto físico concorrente ou um manual bem detalhado que possua figuras dos componentes do produto, se tiver de diversas vistas do produto, melhor.

A proposta da técnica é analisar de forma micro cada elemento e compreender como o mecanismo funciona como um todo. É necessário apontar os materiais de cada componente, acabamentos, os princípios de montagem, detalhar os tipos de junções, ou seja, tudo que seja importante para o projeto.

Essa análise tem como foco examinar os elementos que compõem o produto e definir o que é realmente necessário para seu funcionamento; também, possibilita pensar em possíveis inovações, novas formas, materiais, tamanhos e até adicionar novas funções (PAZMINO, 2015). Os passos para realização da análise estrutural são os seguintes:

- A. Dispor de um produto concorrente ou manual detalhado com figuras dos elementos.
- B. Identificar os componentes do produto.
- C. Analisar cada componente, compreendendo sua função e necessidade.
- D. Identificar materiais, acabamentos, princípios de montagem e união das peças, processo de fabricação se possível.
- E. Descrever por meio de um quadro ou infográfico os elementos.

Figura 11 – Exemplo de Análise Estrutural.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O número de elementos, encaixes e variedade de peças das três cadeiras são descritos na figura (11).

### 3.1.7 Análise Morfológica

O termo provém do latim “forma” que significa forma, molde, caixa; também do grego “*morphes*” — forma, beleza, aparência — que vem de Morpheus, Deus que mudava de forma e criava imagens nos sonhos, segundo a mitologia grega (MARTINS, 2010). Assim sendo, a análise morfológica tem foco na forma do objeto.

É realizada com a finalidade de perceber as relações estético-formais existentes em um produto. Com isso, são feitas análises das partes em relação às leis de simetria, harmonia, equilíbrio e o posicionamento dos elementos que formam a estrutura do objeto (GOMES, 2011).

Primeiramente é feita a definição da proporção do objeto com o uso de retângulos dinâmicos. A malha estrutural é feita com o auxílio do modo Fibonacci a fim de encontrar o módulo mínimo do objeto — para se achar o módulo mínimo é preciso encontrar o módulo múltiplo comum entre as medidas do retângulo ou forma usada. Já a malha filosofal ajuda a visualizar a composição do objeto, ou seja, compreender como os elementos são distribuídos. A composição define quais são os pontos focais do objeto; ou seja, ao olhar para um produto, qual caminho o olhar faz — é importante para compreender como um produto é visto, assim é possível planejar como o usuário irá visualizar o futuro produto (GOMES, 2011). A seguir, como é realizada a definição da proporção, da malha estrutural, malha filosofal e verificação da simetria

- A. Definir a proporção do objeto com o uso de retângulos dinâmicos.
- B. Utilizar a Fibonacci para encontrar o módulo mínimo dentro do retângulo.
- C. Construir a malha filosofal analisando o ponto principal da composição do objeto.
- D. Com o uso das vistas do objeto e das leis de simetria analisar do objeto.

Figura 12 – Exemplo de proporção, malha estrutural e malha filosofal.

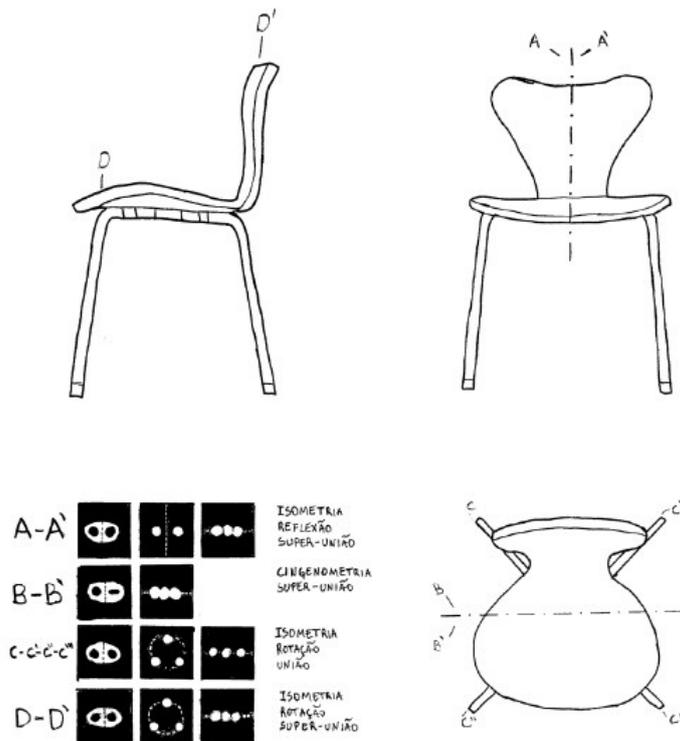


Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura (12) mostra a definição da proporção da cadeira, a malha estrutural e filosofal.

Ainda na análise morfológica, com o uso das vistas do objeto — lateral, frontal e superior —, é feito um estudo das simetrias do produto; com isso, é possível compreender a construção estrutural, como mostrado na figura (13).

Figura 13 – Análise da simetria do produto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### **3.1.8 Parecer das técnicas de análise quanto ao uso em PSN**

A biomimética tem como foco se inspirar em princípios de solução da natureza e aplicá-los para solucionar problemas. Um biomimeticista busca em formas, funções, comportamentos, ações, organização de sistemas e etc. (BENYUS, 2003), modelos para reproduzir em produtos, sistemas, serviços e etc.

Este estudo tem foco a aplicação de PSN no design, logo, como parâmetro, o foco é a análise da forma e função. Com isso, os critérios de avaliação das técnicas de análise foram estruturados com base na análise de forma e função, pois assim facilita a compreensão das relações entre o princípio de solução natural e o produto.

No Quadro (1) é mostrado um panorama básico das técnicas de análise de produtos, mostrando as seguintes informações: objetivo; características; possui ou não estrutura visível — por exemplo, uma matriz, tabela, etc. —; se tem foco em forma ou função — caso tenha dois focos, o foco principal fica na frente; por fim, se poderia ser usada para analisar princípios de solução da natureza (PSN).

#### **Objetivo**

O que a técnica analisa e qual a lógica empregada para atingir seu objetivo principal e objetivos secundários, compreendendo assim o propósito da técnica.

A análise diacrônica busca perceber o desenvolvimento histórico de um produto, através do estudo evolutivo do objeto buscando compreender quais tecnologias e tendências fizeram o objeto mudar ao longo do tempo. Já a sincrônica compara as diferenças entre produtos concorrentes através da comparação de formas e funções de produtos da mesma classe. A análise de paradigma e sintagma busca reconhecer, de forma estruturada, as relações entre elementos que compõem um produto e com outros concorrentes. O objetivo da análise funcional, por sua vez, é compreender a ordem hierárquica das funções de um produto, através da compreensão sequencial de manuseio e funcionalidade. A análise da tarefa verifica as atividades necessárias para o manuseio e manutenção de um produto. Já a análise estrutural identifica o número e tipo de elementos que compõem o objeto através da identificação dos elementos. A

análise morfológica busca compreender a forma de um produto e suas relações espaciais entre os elementos, verificando assim quais leis de simetria atuam no mesmo.

### **Características**

As técnicas de análise linguística são: Diacrônica, Sincrônica e Paradigma e Sintagma. Mesmo sendo análises linguísticas elas possuem nuances de desenho. Já a Funcional, da Tarefa, Estrutural e Morfológica são técnicas caracterizadas como desenhísticas, pois que analisam de forma direta função, estrutura e forma.

### **Estrutura visível**

Quanto ao fato de possuir ou não estrutura visível. Entendendo assim como estrutura visível ter um diagrama claro que ajude na organização de conteúdo.

Somente as técnicas de análises de paradigma e sintagma, estrutural e morfológica apresentaram estruturas que auxiliam na sua visualização. As análises sincrônica, diacrônica, estrutural e da tarefa não possuem estrutura visível clara.

A estrutura de eixos da análise de paradigma e sintagma serve para comparar os elementos que compõem o produto com o produto. No eixo vertical, sintagma, são dispostos elementos da mesma ordem; já no eixo horizontal são dispostos elementos de ordem diferentes, mas que compõem o produto final.

Já a funcional possui duas estruturas visíveis. A árvore das funções, que é estruturada através da topologia de árvore invertida, sendo as ligações feitas de forma hierárquica e sequencial. E a tabela comparativa de funções, na qual os requisitos são dispostos nas linhas e os produtos nas colunas, havendo assim um confronto de requisitos conforme os produtos — os quais são avaliados conforme dedução, e então as pontuações são somadas., tendo assim um parâmetro geral da funcionalidade de cada produto.

A morfológica não é uma estrutura exatamente visível, porém há uma organização para enxergar os eixos e comparar as simetrias do produto. As vistas do objeto são dispostas como em um desenho técnico — com vista lateral, frontal, superior e inferior, se necessário.

## **Forma e/ou Função**

As análises de paradigma e sintagma, estrutural e morfológica são técnicas que analisam formas; já a funcional analisa a função; a análise da tarefa tem foco na função, porém busca compreender as formas do produto também; a diacrônica e sincrônica tem como foco a forma e a função é algo mais secundário.

## **Pode ou não ser usada em PSN**

É possível perceber que somente as técnicas de análise diacrônica, sincrônica e de paradigma e sintagma receberam um “Não” quanto a aplicação em PSN; isso se deve ao fato de as técnicas terem foco comparativo com concorrentes e/ou temporal e/ou entre outros produtos; portanto, sua aplicação não iria recolher tantos subsídios. Mas caso o objetivo fosse comparar com outros princípios, elas seriam bastante eficazes.

Já as técnicas de análise funcional, da tarefa, estrutural e morfológica receberam um “Sim” quanto sua aplicação em PSN, pois sua aplicação beneficia a captação de insumos de forma e função necessários para a geração de alternativas.

Como as análises funcional e da tarefa captam subsídios relacionados a função de um objeto, elas se tornam bastante atrativas para serem utilizadas para analisar PSN, pois favorecem o recolhimento de informações quanto a funcionalidade de um mecanismo, além de perceber nuances da forma e sua relação com a função.

A análise estrutural ajuda a perceber as relações dos elementos que formam o objeto, ou seja, seria utilizada para compreender a estrutura do PSN e suas relações.

A morfológica, que possui foco na forma, pode ser utilizada para entender a geometrização e as leis de simetria que estão presentes em um PSN.

Quadro (1) – Panorama de técnicas de análise de produto.

<b>Técnica</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Característica</b>	<b>Possui ou não estrutura visível</b>	<b>Voltada para forma ou função</b>	<b>Poderia ser usada para analisar PSN</b>
<b>ANÁLISE DIACRÔNICA</b>	Perceber o desenvolvimento histórico do produto	Análise Linguística	Não	Forma/Função	Não
<b>ANÁLISE SINCRÔNICA</b>	Reconhecer produtos concorrentes diretos ou indiretos	Análise Linguística	Não	Forma/Função	Não
<b>ANÁLISE DE PARADIGMA E SINTAGMA</b>	Busca reconhecer as formas e ordens do produto e seus elementos	Análise Linguística	Sim	Forma	Não
<b>ANÁLISE FUNCIONAL</b>	Analisar as relações hierárquicas de funções	Análise Linguística /Desenhística	Sim	Função	Sim
<b>ANÁLISE DA TAREFA</b>	Verificar as atividades necessárias para utilizar o produto	Análise Desenhística	Não	Função/Forma	Sim
<b>ANÁLISE ESTRUTURAL</b>	Identificar número e tipos de componentes	Análise Desenhística	Não	Forma	Sim
<b>ANÁLISE MORFOLÓGICA</b>	Compreender a forma do produto e suas relações espaciais	Análise Desenhística	Sim	Forma	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 Técnicas de Geração de Alternativas

Há etapas insubstituíveis nas metodologias de projeto, como a fase de geração de alternativas; que, para Baxter (2003), “é o coração do pensamento criativo”, afinal é nesse momento em que todos subsídios coletados durante as pesquisas e análises são relacionados com a finalidade de encontrar uma solução viável para o projeto.

Quanto mais informações o projetista recolher e analisar detalhadamente cada ponto, mais fluida será a geração, pois assim haverá um fluxo de ideias constante que irão criar conexões estáveis e tudo ficará mais claro para o indivíduo criativo.

Há duas percepções do pensamento criativo para Christopher Jones (1978), *Black Box* e *Glass Box*. São formas diferentes de perceber o processo criativo e as técnicas de geração de alternativas; porém, podem ser complementares criando um processo integrado onde uma técnica complementa a outra, havendo maior diversidade de possíveis soluções.

Se considerar a mente do indivíduo como uma *black box* (caixa preta), onde a parte mais importante do processo acontece internamente sem controle consciente, é uma perspectiva poética do *designer* como mago, sendo a criatividade uma linha subjacente das ações humanas e de outros seres com sistema nervoso (JONES, 1978). Esta lógica seria empregada em técnicas como o *brainstorming* e a sinestesia.

Já a perspectiva da *glass box* (caixa transparente) baseia-se na exteriorização do pensamento, baseando-se em pressuposições racionais, mais que místicas. Seria uma visão de um *designer* mais sistêmico, o qual projeta mediante uma sequência de etapas e ciclos analíticos, sintéticos e evolutivos (JONES, 1978). Matriz morfológica e combinatória seriam técnicas que seguem essa lógica.

A técnica deve ser escolhida de acordo com o problema proposto, afinal, são formas diferentes de estímulo criativo. As técnicas de *glass box* focam melhor na questão do que as técnicas de *black box*, por serem mais racionais. Porém, o designer geralmente reverte seu pensamento como uma *black box* (JONES, 1978).

Cross (2004), comenta que geralmente estudantes de design tendem a ser mais resistentes com o uso de técnicas mais sistemáticas no início do projeto. Também, o autor comenta que projetos bem estruturados são mais bem elaborados e apresentam uma relação positiva entre quantidade e qualidade nas alternativas.

Yang (2003) acentua a possibilidade de gerar ideias desde o início do planejamento; também acrescenta a experiência de registrar todas as ideias geradas desde o início do projeto e em todas outras fases, a fim de poder comparar as ideias e seu desenvolvimento conforme mais subsídios são agregados no processo.

Há uma diversidade de técnicas de geração de alternativas com características específicas que trabalham o pensamento criativo sob diferentes perspectivas. Depois de compreender bem o problema, o ideal é buscar métodos que abordam a lógica necessária para o desenvolvimento do produto. Assim, um indivíduo criativo que domine todos os métodos, compreendendo seus pontos fortes e fracos, terá muito mais fluidez criativa e autonomia projetual (BAXTER, 2003).

Com a finalidade de dominar métodos de geração de alternativas, foram feitas investigações quanto à estrutura, racionalização de pensamento criativo e resultados. Com isso, foram extraídos de literaturas clássicas de design os métodos de geração de alternativas mais comuns entre *designers*.

### **3.2.1 Combinatória**

Esse método tem como objetivo gerar alternativas através da combinação de elementos, como mostrado na figura (14). A estrutura consiste em separar os elementos em classes e realizar combinações com classes variadas. Por exemplo, cada inseto tem seis partes: cabeça, tórax, abdome, antenas, asas e pernas; com esses elementos é possível gerar outras variações de insetos. Se cada inseto possui seis partes de cinco tipos diferentes é possível afirmar que serão gerados cento e vinte insetos diferentes (MONTENEGRO, 1987).

Há algumas formas de combinar os elementos, tais como: simplificar; substituir; estruturar; mudar ordem; modificar.

**Simplificar:** Deve-se desenhar o essencial, o necessário e eliminar o acessório, os adornos. Com a eliminação do desnecessário o desenhador terá uma forma limpa e definida, onde somente o essencial permanece.

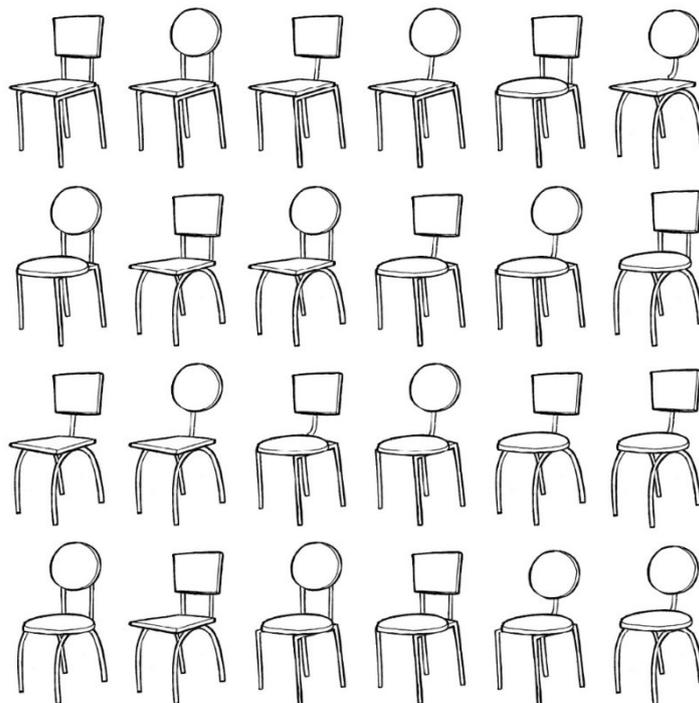
**Substituir:** É necessário o uso de analogia para trocar uma parte existente por outra similar, assim se terá algo diferente do usual, como uma mutação.

Estruturar: Seria procurar o sistema que liga todas as partes, assim é feita uma análise estrutural, onde o desenhador pode trocar as partes entre si.

Mudar a Ordem: Uma transformação pode ocorrer através da mudança da ordem, onde ao algo o desenhador pode mudar sua ordem linear e ter uma nova forma.

Modificar: Parte-se de uma forma básica que, com alterações graduais, passo a passo, pode-se chegar a uma forma nova.

Figura 14 – Exemplo de combinações de uma Análise Combinatória.



Fonte: Elaborado pelo autor.

MESCRAI é um exercício combinatório que segue a mesma lógica da análise combinatória e sua estrutura segue a seguinte ordem: MODIFIQUE; ELIMINE; SUBSTITUA; COMBINE; REARRANJE; ADAPTE; INVERTA (BAXTER, 2003). O MESCRAI é uma adaptação do SCAMPER, que possui a seguinte estrutura: *Substitute; Combine; Adapt; Modify; Magnify; Put to other uses; Eliminate; Reverse*. O SCAMPER foi baseado no trabalho de Alex F. Osborn (PAZMINO, 2015).

### 3.2.2 Brainstorming

O método de *brainstorming* foi desenvolvido por Alex Faickney Osborn, consultor americano de propaganda, em 1938. Quando criou a técnica, o propósito de Osborn era coletar ideias na sua agência de publicidade, que foi onde ocorreram as primeiras sessões do método. *Brainstorming* na tradução para o português equivale a “tempestade de ideias”, ou seja, seu objetivo é gerar soluções de forma ágil — o maior número de alternativas no menor tempo possível — livre de associação — os participantes detectam problemas e produzem soluções (JONES, 1978). Essa é uma das técnicas de geração de alternativas mais populares.

Deve se ter alguns cuidados para formar o grupo de indivíduos que o método aplicado, como: dependendo do produto, não pode haver grandes disparidades sociais, para que não haja bloqueio na produção; também, a competição pode atuar como um estimulante entre os participantes (BONSIEPE, s.d.).

É preciso um coordenador de projeto para aplicar o método e um registrador para compilar todas as alternativas geradas, a fim de se ter controle da produção. Esses são os procedimentos para a aplicação do *brainstorming*:

A. Selecionar um grupo de pessoas comprometido.

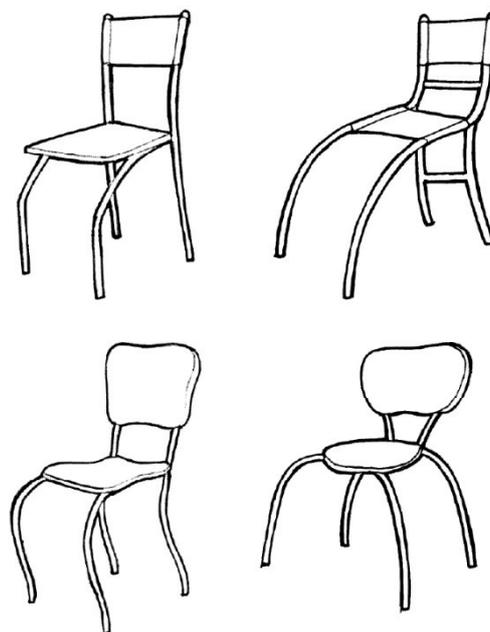
B. Deve-se apresentar a condição de que nenhuma alternativa seja criticada e todas devem ser bem recebidas; também, é preciso que sejam geradas o maior número possível de soluções, pois posteriormente haverá o momento para desenvolver as ideias geradas.

C. Registrar as alternativas geradas.

Alguns autores trazem variações de aplicação de *brainstorming*. Bonsiepe (s.d.), traz o *brainstorming* anônimo e o *brainstorming* didáticos. No *brainstorming* anônimo os indivíduos geram alternativas de forma anônima, depois essas soluções são discutidas. Já no *brainstorming* didático, somente o coordenador tem conhecimento do problema no início e partes do problema são reveladas aos poucos. Por exemplo, na primeira sessão o problema apresentado seria “como carregar um produto de 2 quilos?”; já na segunda sessão seria “como carregar esse produto nas costas?”; e assim por diante.

Bonsiepe (1984), traz os métodos: *brainstorming* ortodoxo e *brainstorming* destrutivo/construtivo. No ortodoxo as soluções são geradas de forma livre, sem críticas. Já no destrutivo/construtivo ocorre uma filtragem das alternativas geradas no ortodoxo, focando na solução e na construção dessas ideias.

Figura 15 – Exemplo de alternativas geradas por Brainstorming.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura (15) é possível ver alternativas geradas usando o método de *brainstorming*.

### 3.2.3 Matriz Morfológica

A Matriz Morfológica ou Caixa Zwicky é um método criado em 1969 por Fritz Zwicky. É um método analítico e combinatório que tem como objetivo explorar soluções de projeto por meio da combinação de alternativas. Pode ser aplicada em somente um indivíduo ou uma equipe de projeto. Busca, através da combinação de elementos, gerar um grande número de soluções projetuais (PAZMINO, 2015).

Para sua aplicação, primeiramente, deve-se estruturar uma matriz de dois eixos; depois determinar uma sequência das subfunções do produto — que podem ser definidas através de uma análise funcional — ou elementos de projeto (como cor, textura, material e etc.); então, têm-se que buscar soluções para cada variável; com isso, é possível encontrar soluções de acordo com as combinações das variáveis (JONES, 1978; PAZMINO, 2015). As ideias podem ser geradas de forma descritiva ou gráfica,

porém, habilidades desenhistas facilitam a visualização da combinação. Na figura (16) é possível visualizar o resultado. A seguir, os passos para a construção da matriz:

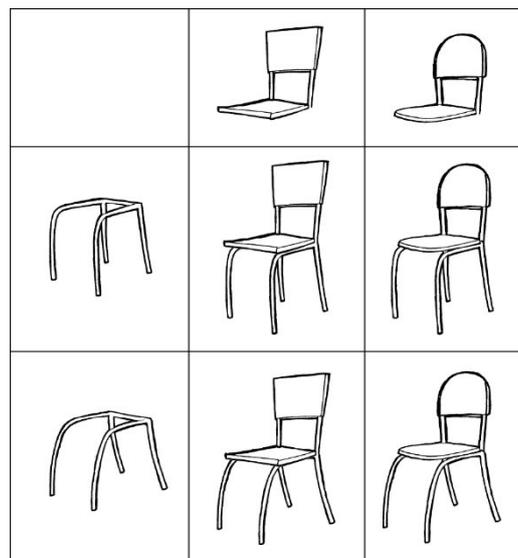
A. Identificar os subgrupos de fatores ou funções (que podem ser identificados através de uma análise funcional ou matriz QFD).

B. Desenvolver alternativas para cada subgrupo.

C. Colocar um subgrupo na linha vertical de uma matriz e o outro subgrupo na linha horizontal.

D. Representa nos quadros as possíveis combinações de alternativas dos subgrupos, formando produtos viáveis.

Figura 16 – Exemplo de Matriz Morfológica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.4 Sinestesia

O nome da técnica “*synecks*” origina-se do grego e significa “união de elementos diferentes e aparentemente irrelevantes”, segundo Willian Gordon (1961, p.3), criador da técnica. O nome faz correlação direta com a exploração de novas possibilidades; afinal, a técnica tem por objetivo “dirigir a atividade do cérebro e do sistema nervoso em direção a exploração e transformação do problema de desenho”, comenta Jones (1978).

Como qualquer técnica criativa intuitiva, a sinestesia trabalha com a sensibilidade do usuário de fazer relações e perceber o caminho para o resultado esperado; ou seja, é preciso um preparo para o seu uso — o uso de uma metodologia de projeto ajuda a nortear os rumos projetuais. Ela trabalha diretamente com o

estímulo criativo forçado por meio de analogias das mais variadas e o resultado pode sempre surpreender, afinal, cada indivíduo recebe a informação de uma forma e a usa de diferentes modos. A técnica foi desenvolvida justamente com o propósito de desenvolver produtos, focados principalmente no design. Tem base em processos “psíquicos” análogos, seja feita individualmente ou em grupo (GORDON, 1961).

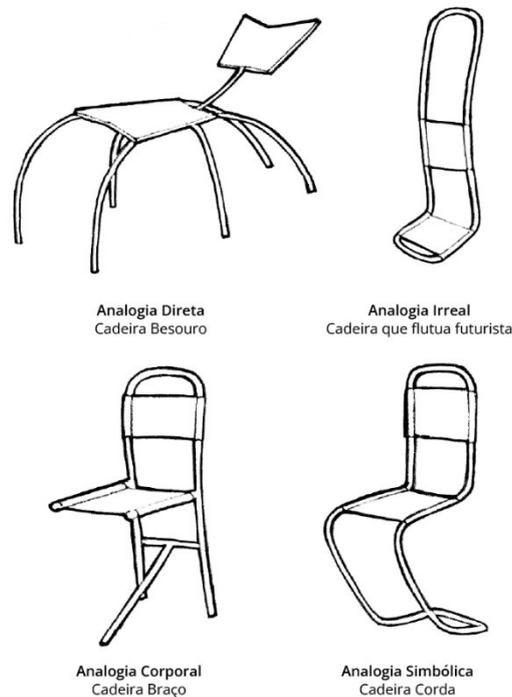
Talvez seja a técnica de geração mais difícil de ser dominada, afinal é uma técnica que exerce uma grande pressão acumulativa sobre o sistema nervoso, conforme Christopher Jones (1978). Ele ainda discorre que é preciso ter um certo cuidado na seleção dos indivíduos que a técnica será aplicada, pois é preciso que sejam pessoas abertas ao estímulo externo e que não tenham personalidades muito rígidas. Precisa-se de treinamento com um guia para que a técnica seja usada da melhor forma. Na figura (17) exemplo de aplicação. A seguir os passos para uma sessão de sinestesia:

- A. Selecionar cuidadosamente e formar um grupo de pessoas que funcionem como um departamento — preferencialmente, que sejam de áreas diversas para que se tenha ideias com diferentes visões.
- B. Facilitar a prática no uso de analogias, para relacionar o problema com a prática espontânea do cérebro e do sistema nervoso.
- C. Impor ao grupo problemas difíceis que a organização matriz não pode resolver e conceder tempo suficiente para sua resolução.
- D. Subjugar as soluções do grupo a uma equipe de avaliação. Na técnica em si, há uma certa liberdade de relações possíveis de serem usadas pelo usuário. Gordon (1996), mostra uma variedade de uso de analogias e enfatiza algumas, tais como:

- a) Analogia direta ou realista, ou seja, relação direta entre as partes, exemplo, analisar um verme que se contorce para perfurar a madeira e fazer disso relação com um possível produto.
- b) Analogia personalizada ou corporal, que envolve a “colocação” do indivíduo no lugar do objeto de estudo e buscar entender como ele se comporta com o meio.
- c) Analogia simbólica ou abstrata, seria facilitação para o uso de metáforas e a facilitação da relação de um objeto com outro.

d) Analogia Irreal ou Fantástica, busca libertar o pensamento sem considerar o ambiente físico. Aqui tudo é possível.

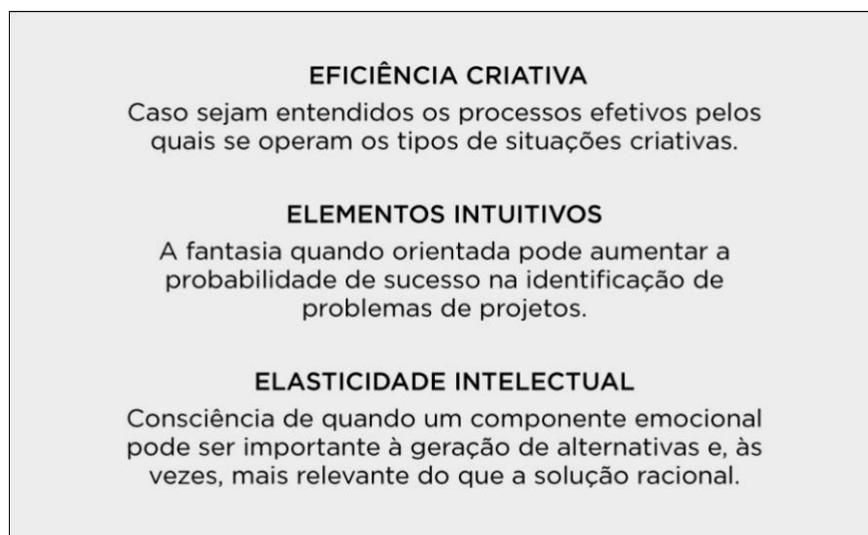
Figura 17 – Exemplo de alternativas geradas por Sinestesia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma equipe criativa que utiliza o método de sinestesia pode ter suas ideias aumentadas com base nas questões apresentadas na figura (18).

Figura 18 – Questões que potencializam a geração de alternativas.



Fonte: Adaptado de GOMES (2011).

### 3.2.5 Parecer das técnicas de geração quanto ao uso em PSN

No capítulo 2 — mais especificamente no item 2.1 — deste estudo foi possível compreender que o pensamento analógico é essencial para o uso de princípios de solução da natureza no processo criativo. Sendo assim, as técnicas de geração de alternativa precisam favorecer a conexão de informações entre domínios distantes e próximos, possibilitando com que o pensamento por analogias aconteça.

O Quadro (2) apresenta um panorama básico das técnicas de geração de alternativas, mostrando as seguintes informações: objetivo; características; possui ou não estrutura visível — por exemplo, uma matriz, tabela, etc. —; se tem foco em forma ou função — caso tenha dois focos, o foco principal fica na frente; por fim, se favorece a geração de alternativas com o uso de princípios de solução da natureza (PSN).

#### Objetivo

O que a lógica da técnica propicia para geração de alternativas. Através da combinação de elementos, a combinatória busca testar possibilidades e criar composições diversificadas. O *brainstorming* favorece a geração livre de ideias. Por sua vez, a matriz morfológica possibilita a combinação de elementos buscando variações. A sinestesia propõe o pensamento por analogia forçado, buscando interpretações dispares, a fim de haver variações de ideias entre domínios próximos e distantes.

#### Características

Quanto a características, a Combinatória e a Matriz Morfológica apresentam características de técnicas sistemáticas, pois o fluxo de pensamento é mais racional e linear, como comenta Jones (1978). Já o *Brainstorming* e a Sinestesia são técnicas mais intuitivas, pois possuem uma lógica mais subconsciente (JONES, 1978),

#### Estrutura visível

Quanto a estrutura, somente a matriz morfológica apresenta uma estrutura verdadeiramente visível — uma matriz com linhas e colunas —; porém, a Combinatória

necessita de uma certa organização para funcionar corretamente, ou seja, precisa de uma estrutura, mesmo que não seja visível.

### **Forma e/ou Função**

A Matriz Morfológica e Combinatória tem foco em forma (porém, com um pouco de criatividade, é possível trabalhar funções). Já o *Brainstorming* e a Sinestesia trabalham formas e funções.

### **Pode ou não ser usada em PSN**

A Sinestesia favorece amplamente o uso de PSN, pois é uma técnica voltada para o pensamento por analogias forçado. O *Brainstorming*, por sua vez, pode propiciar pois o fluxo de pensamento é livre, porém não há um esquema de forçar ideias por estímulo de pensamento por analogia. A Matriz Morfológica e Combinatória, talvez por serem técnicas mais sistemáticas, não facilitam o pensamento por analogias, porém, podem ser utilizar PSN de outras formas.

Quadro (2) – Panorama de técnicas de geração de alternativas.

<b>Técnica</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Característica</b>	<b>Possui ou não estrutura visível</b>	<b>Voltada para forma ou função</b>	<b>Poderia ser usada para analisar PSN</b>
<b>COMBINATÓRIA</b>	Combinar elementos com a finalidade de testar possibilidades	Sistemática	Sim	Forma	Depende de como usada
<b>BRAINSTORMING</b>	Gerar alternativas de forma livre	Intuitiva	Não	Forma/Função	Sim
<b>MATRIZ MORFOLÓGICA</b>	Combinar elementos de forma ordenada para gerar alternativas	Sistemática	Sim	Forma	Depende de como usada
<b>SINESTESIA</b>	Gerar alternativas através de analogias forçadas	Intuitiva	Não	Forma/Função	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4. Metodologia

A metodologia escolhida para o desenvolvimento desta pesquisa é apresentada neste capítulo. São descritas as etapas e procedimentos aplicados para a realização da investigação, que tem como finalidade alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos de projeto.

Tendo em vista que o objetivo dessa pesquisa é gerar conhecimento na prática dirigidos à solução de problemas, a natureza desse estudo pode ser definida como aplicada (PRODANOV; FREITAS, 2013). Quanto à abordagem do problema, a pesquisa se caracteriza como qualitativa, pois procura interpretar os fenômenos e atribuição de significados, juntamente com a revisão de literatura, como coleta de dados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

É uma pesquisa de caráter exploratório, pois busca captar insumos do assunto investigado, possibilitando sua definição e delineamento (PRODANOV; FREITAS, 2013). Essa fase busca compreender os princípios do processo criativo inspirado na natureza e compreender como os PSN podem ser aplicados. Essa parte foi realizada através da revisão sistemática de literatura a respeito do processo criativo e a transposição de PSN para produtos.

Também de caráter exploratório, a etapa seguinte consiste na análise de métodos de análise de produto e métodos de geração de alternativa. Com isso, foi feita uma revisão de literatura para que fossem obtidos insumos quanto aos MAP e MGA, a fim de compreender o objetivo, lógica, estrutura, a possibilidade de utilizar em PSN, e se favorece uma geração inspirada na natureza.

Como foi apresentado no primeiro capítulo, o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de solucionar o seguinte problema: Como selecionar e decodificar princípios de solução da natureza para utilização no processo criativo e projetual de design? A hipótese proposta pretende preencher a lacuna identificada por meio do desenvolvimento de técnicas específicas para análise de princípios de solução da natureza.

Buscando cumprir com os objetivos, a metodologia foi estabelecida com base na abordagem *Design Science Research* (DSR), sendo um método que fundamenta e

operacionaliza a condução de pesquisas que possuem como objetivo a criação de um artefato ou uma prescrição para um problema específico, ou uma classe de problemas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

A pesquisa que tem como base a DSR deve ser voltada à solução de problemas específicos, passíveis de generalização para uma classe de problemas. É um método prescritivo e tem como objetivo a produção de artefatos que contemplem suas prescrições (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

O método contém doze etapas, e em todas as etapas há indicadores que ajudam a alcançar os resultados. Na figura 19 é possível visualizar uma síntese do método proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), juntamente com os objetivos que são atendidos nas etapas e procedimentos.

#### **4.1 Identificação do problema**

A identificação do problema parte do interesse do pesquisador em encontrar uma solução para um problema existente. O problema deve estar bem definido, compreendido e justificado. O resultado e saída dessa etapa é o problema formatizado (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

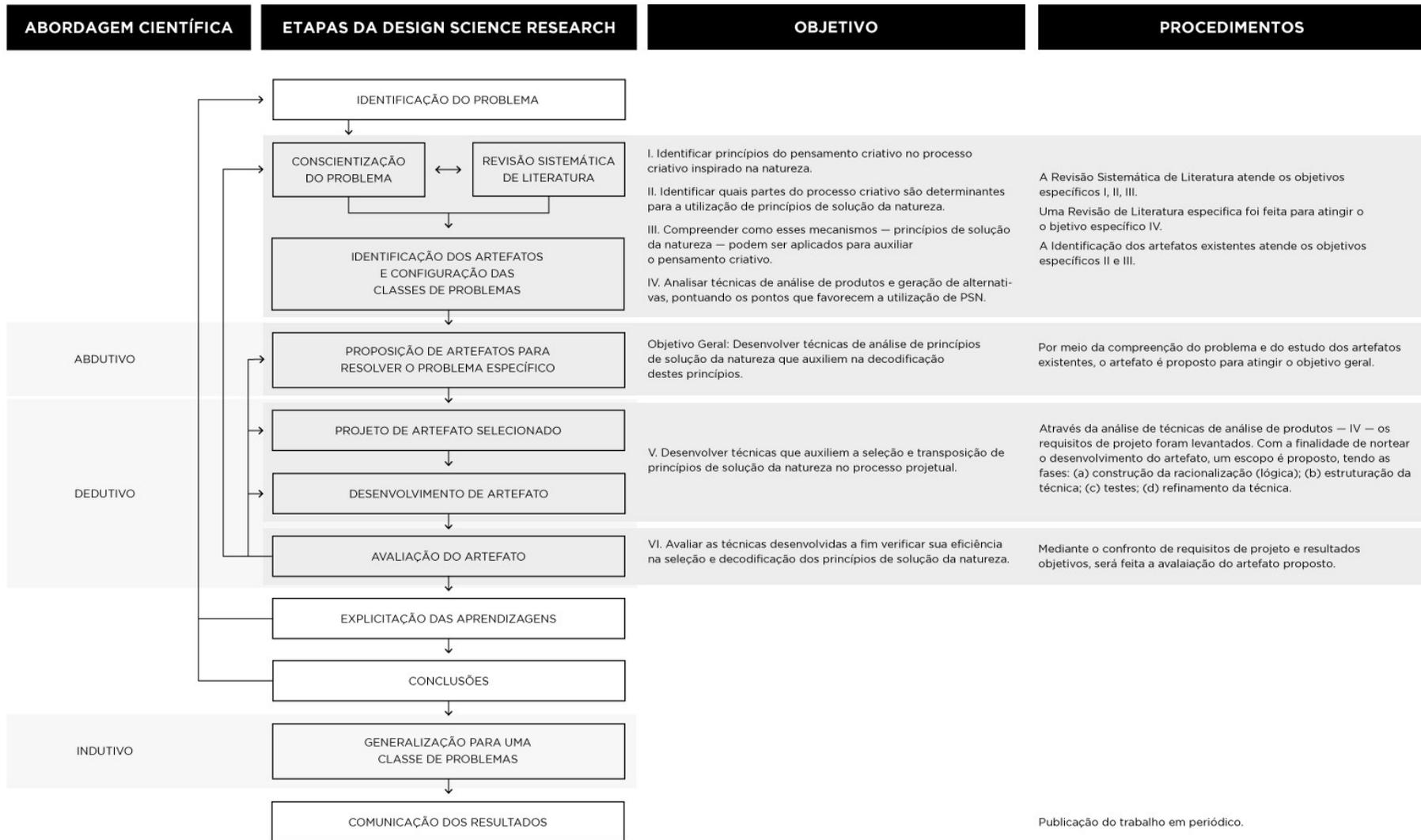
Neste estudo, o problema foi identificado através da primeira revisão de literatura, que buscou compreender o processo criativo inspirado na natureza. A pesquisa formalizada é descrita no primeiro capítulo — Introdução — nos tópicos contextualização, delimitação e justificativa.

#### **4.2 Contextualização do problema**

O pesquisador deve compreender as categorias, causas e cenário do problema — requisitos, funcionalidades e resultados devem ser considerados. A saída dessa etapa é a formalização das faces do problema, seu cenário e requisitos necessários para solucioná-lo (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

Nessa pesquisa, a conscientização do problema ocorreu através da primeira revisão sistemática de literatura, explicitada no primeiro capítulo, cujos insumos são apresentados no segundo capítulo. É explanada a necessidade de métodos específicos para análise de PSN.

Figura 19 – Etapas da metodologia Design Science Research + Objetivos + Procedimentos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### **4.3 Revisão Sistemática de Literatura**

Na RSL é realizada a consulta nas bases de conhecimento existentes para auxiliar na compreensão do problema e seu cenário (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

Foram realizadas duas revisões de literatura. A primeira — apresentada no capítulo 5 —, sendo a RSL, buscou atender os objetivos específicos: (a) Identificar princípios do pensamento criativo no processo criativo inspirado na natureza; (b) Identificar quais partes do processo criativo são determinantes para a utilização de princípios de solução da natureza; (c) Compreender como esses mecanismos — princípios de solução da natureza — podem ser aplicados para auxiliar o pensamento criativo.

Uma revisão de literatura específica — apresentada no capítulo 3 — foi feita para atender ao seguinte objetivo específico: (d) Analisar técnicas de análise de produtos e geração de alternativas, pontuando os pontos que favorecem a utilização de PSN. Como o objetivo era encontrar estruturas de técnicas que poderiam ser utilizadas para analisar PSN e gerar alternativas inspiradas em PSN, foi realizada uma etapa de identificação de técnicas de análise de produtos e de geração de alternativas.

Essa revisão de literatura teve como base a metodologia de Medeiros e Gomes (2003) como fonte de insumos gerais, porém, outros autores com foco em métodos de projeto de design também foram consultados, como Baxter (2003), Bonsiepe (1984), Bürdek (1994), Gordon (1961), Jones (1978), Löbach (2001), Montenegro (1987), Munari (1981, 2006), Osborn (1987) e Pazmino (2015).

Em cada literatura foram buscados insumos relacionados a métodos de análise de produto e de geração de alternativas. Depois de localizados os insumos, foram feitas redações compilatórias para que os principais insumos estivessem organizados em documentos, facilitando a análise dos métodos. Alguns autores apresentavam a mesma técnica com um nome diferente ou uma técnica com diversas variações de aplicação, o que possibilitou visualizar as possibilidades.

### **4.4 Identificação dos artefatos existentes**

Através da revisão sistemática de literatura é possível identificar artefatos relevantes à pesquisa (constructos, modelos, métodos, instanciações, ou design *propositions*). A

identificação de artefatos possibilita a fundamentação do conhecimento construído e valida a relevância da pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

Com a primeira revisão sistemática de literatura foi possível identificar artefatos que utilizam PSN, apresentados no item 5.3. Já com a segunda revisão de literatura foi possível identificar artefatos que buscam analisar produtos e gerar alternativas de projeto, apresentados nos itens 3.1 e 3.2.

#### **4.5 Proposição dos artefatos para resolução do problema**

A proposição deve levar em conta a adaptação à realidade, o contexto e viabilidade, sendo um processo criativo no qual o pensamento adutivo é essencial para desenvolver essa etapa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

É necessário consolidar os requisitos do projeto e descrever as características desejadas no desempenho do artefato método. O terceiro capítulo apresenta ferramentas, métodos de análise e geração de alternativas, e é feita uma análise dos mesmos quanto suas características e possibilidade de uso em PSN.

O objetivo é resgatar a síntese da avaliação realizada na fundamentação, estabelecendo as relações devidas com os requisitos de projeto. Os requisitos e características são o delineamento para proposição de artefatos para solução do problema do estudo. A proposição do artefato é apresentada no item 6.4.

#### **4.6 Projeto de artefato**

Um artefato deve ser entendido como a organização dos elementos internos do ambiente para atingir os objetivos de um ambiente externo. Nesta etapa são contidos todos os procedimentos de construção e avaliação do artefato (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

Os artefatos propostos neste estudo devem ser projetados como uma etapa do método BIOsign, integrando o uso de PSN com objetivo de potencializar o processo criativo inspirado na natureza. Os procedimentos de construção do artefato iniciam pelo espaço do design (requisitos e possíveis soluções para o problema), passam pelas camadas do artefato em construção (viabilidade, utilidade, representação e construção

do artefato) e chegam ao uso do artefato (instanciação piloto do artefato e liberação do artefato para instanciação).

**Requisitos:** São extraídos na etapa anterior da metodologia.

#### **4.7 Desenvolvimento do artefato**

A etapa de desenvolvimento consiste na elaboração e construção do artefato, podendo utilizar algoritmos computacionais, representações gráficas, protótipos, entre outros (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Para essa etapa da metodologia, foi estruturado um escopo de projeto para servir de norteador no desenvolvimento do artefato. O desenvolvimento das técnicas irá seguir as seguintes etapas: (a) **construção da racionalização**, em que será construída a lógica do artefato, ou seja, como ele irá “operar”; (b) **estruturação do artefato**, esboçando possíveis estruturas, esquemas, diagramas, etc.; (c) **testes**, para experimentar a lógica e as estruturas esboçadas; (d) **refinamento do artefato**, em que são feitos ajustes necessários e o artefato é finalizado.

#### **4.8 Avaliação do artefato**

Devem ser estruturados indicadores que mensurem a eficiência do artefato para a solução do problema. Os requisitos apresentados na conscientização do problema devem ser revisitados com o objetivo de comparar com os resultados alcançados. Pode ser realizado um estudo de campo, monitoramento de uso, simulações, testes, construção de cenários, pesquisa-ação e grupos focais. Deve haver interação entre o pesquisador, o artefato e o usuário (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

#### **4.9 Explicitação das aprendizagens**

É importante elencar os pontos de negativos e positivos da pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Explicar e descrever o artefato método.

#### **4.10 Conclusão**

Resultados obtidos com o estudo, as limitações e os possíveis estudos a serem realizados no futuro (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

#### **4.11 Generalização de uma classe de problemas**

O pesquisador busca generalizar a solução encontrada para uma classe de problemas. Assim, o conhecimento gerado em uma situação específica pode ser aplicado em outras situações (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

#### **4.12 Comunicação dos resultados**

Com o intuito de disseminar os resultados e contribuir para o avanço do conhecimento, essa etapa é realizada com a publicação do estudo em periódicos, congressos, seminários, etc. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

## 5. Métodos e Ferramentas que utilizam PSN: Revisão

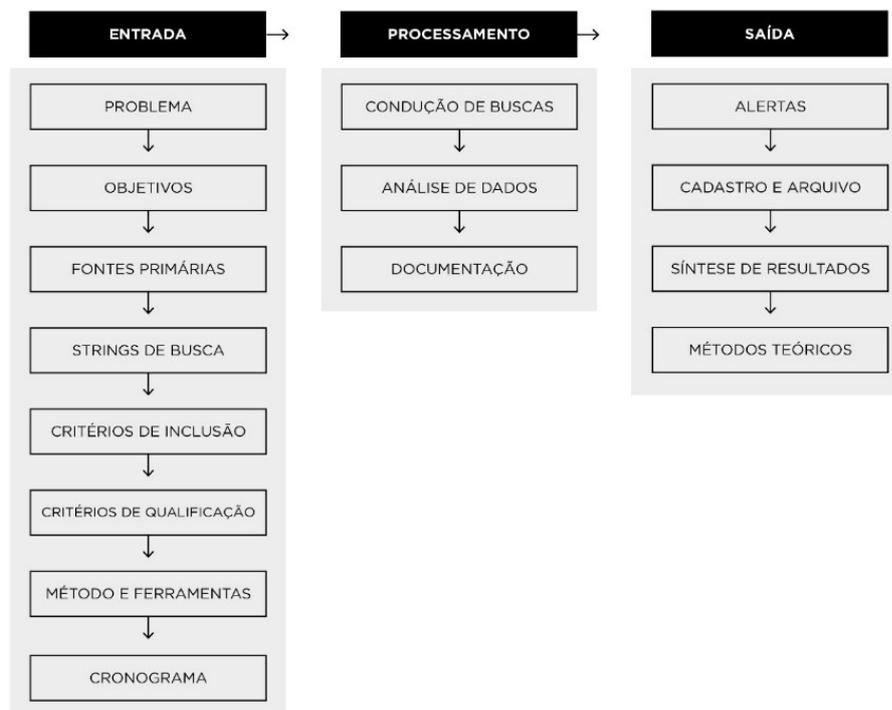
### Sistemática de Literatura

A revisão sistemática de literatura (RSL) foi realizada para atender aos seguintes objetivos específicos propostos: (a) Identificar princípios do pensamento criativo no processo criativo inspirado na natureza; (b) Identificar quais partes do processo criativo são determinantes para a utilização de princípios de solução da natureza; (c) Compreender como esses mecanismos — princípios de solução da natureza — podem ser aplicados para auxiliar o pensamento criativo.

Utiliza de métodos sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar os estudos de uma questão de pesquisa; por sua vez, essa sistematização ajuda a reduzir possíveis tendências de uma simples revisão (SOUZA; RIBEIRO, 2009).

A RSL, busca consultar em bases de conhecimento permitindo que o pesquisador acesso ao estado da arte das áreas de interesse (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). A RSL seguiu a RBS *Roadmap*, proposta por Conforto, Amaral e Silva (2011), mostrada de forma visual na figura (20)

Figura 20 – Roteiro da RBS Roadmap realizada nessa pesquisa.



Fonte: Adaptado de CONFORTO, AMARAL e SILVA (2011).

O RBS *Roadmap* propões uma estrutura de três macro etapas para realização da análise através da RSL, são elas: (i) Entrada; (ii) Processamento; (iii) Saída. Cada etapa macro é dividida em tópicos que auxiliam a construção e desenvolvimento da pesquisa (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

## 5.1 Primeira Fase da RSL

Com o propósito de estruturar e direcionar a RSL, inicialmente, foi definido seu objetivo e questões de pesquisa; posteriormente, foram definidas as bases de trabalhos e as *strings* para a busca, além dos critérios de inclusão e exclusão.

### Objetivo

Está RSL foi realizada para atender os objetivos específicos (a), (b) e (c).

### Questão da pesquisa

Como em qualquer pesquisa científica, uma revisão necessita de uma questão de pesquisa clara (SAMPAIO; MANCINI, 2007). A questão da pesquisa foi formulada de acordo com os objetivos desta revisão. Assim foi formulada a seguinte questão: “**Como decodificar os princípios de solução da natureza no processo criativo de design?**”. Este problema aborda os três objetivos específicos (a), (b) e (c).

### Bases

Em relação às bases, foram utilizadas quatro fontes de dados: Taylor & Francis ([www.tandfonline.com](http://www.tandfonline.com)), Scopus ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)) e Web of Science ([www.webofknowledge.com](http://www.webofknowledge.com)). Elas foram consultadas através do site de Periódicos da Capes ([www.periodicos.capes.gov.br](http://www.periodicos.capes.gov.br)) e foram escolhidas de acordo com as áreas de design, arquitetura e engenharia.

### *String*

A busca foi realizada em língua inglesa, pois é o idioma com mais concentração de publicações na área de pesquisa. As palavras-chave da busca foram: *biomimicry*; *biomimetic*; *concept generation*; *design process*. Com isso duas *strings* de busca foram

definidas, sendo elas: **BIOMIMICRY and "CONCEPT GENERATION" and "DESIGN PROCESS"** e **BIOMIMETIC and "CONCEPT GENERATION" and "DESIGN PROCESS"**.

### Critérios de inclusão

Trabalhos que sejam de interesse da pesquisa; trabalhos em Inglês; texto integral disponível nos periódicos Capes.

### Critérios de exclusão

Trabalhos que não tenham relação com a pesquisa; que não estejam disponíveis de forma integral; trabalhos duplicados; trabalhos que não sejam apresentados de forma ética (exemplo, o mesmo trabalho com autores diferentes); literatura cinza.

## 5.2 Segunda Fase da RSL

Com as *strings* de busca testadas e definidas, foram feitas buscas em língua inglesa nas três bases; tendo total de 1454 resultados.

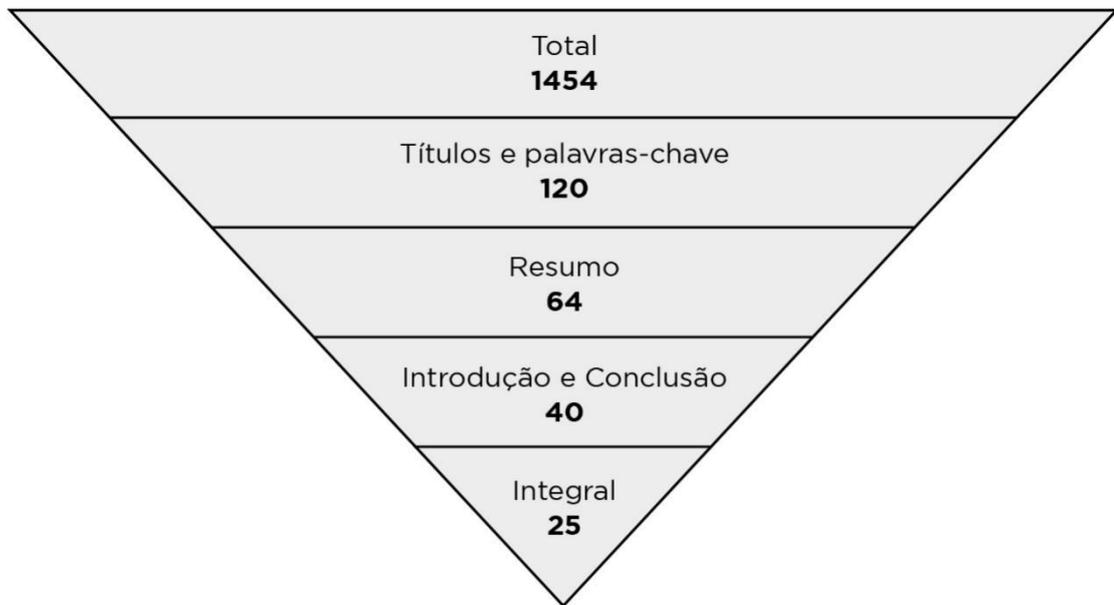
Quadro (3) – Resultado dos bancos de dados

Data de busca	Idioma	Taylor & Francis	Scopus	Web of Science	Total
15/08/2021	Inglês	5	19	1430	1430

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados das bases foram baixados e importados para o software Rayyan QCRI. No Rayyan, primeiramente, foram resolvidos os trabalhos duplicados ou com algum problema que poderia interferir negativamente na pesquisa (trabalhos iguais com autores diferentes, por exemplo); posteriormente, foi feita uma seleção com base nos critérios de inclusão e exclusão, seguindo a seguinte ordem: títulos e palavras-chave; resumos; introdução e conclusão; leitura integral. Com os resultados obtidos, os artigos foram analisados e avaliados seguindo os critérios de qualidade.

Gráfico (1) – Funil com as etapas do processo de extração.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### **Critérios de Qualidade**

Os trabalhos foram avaliados seguindo os seguintes critérios de qualidade: “A pesquisa apresenta aspectos referentes aos artefatos de auxílio ao processo inspirado na natureza?”; “É mostrada a metodologia utilizada?”; “São mostrados exemplos de aplicação?”; “São mostrados os resultados obtidos?”.

### **5.3 Artefatos de auxílio ao pensamento por analogia com uso de PSN**

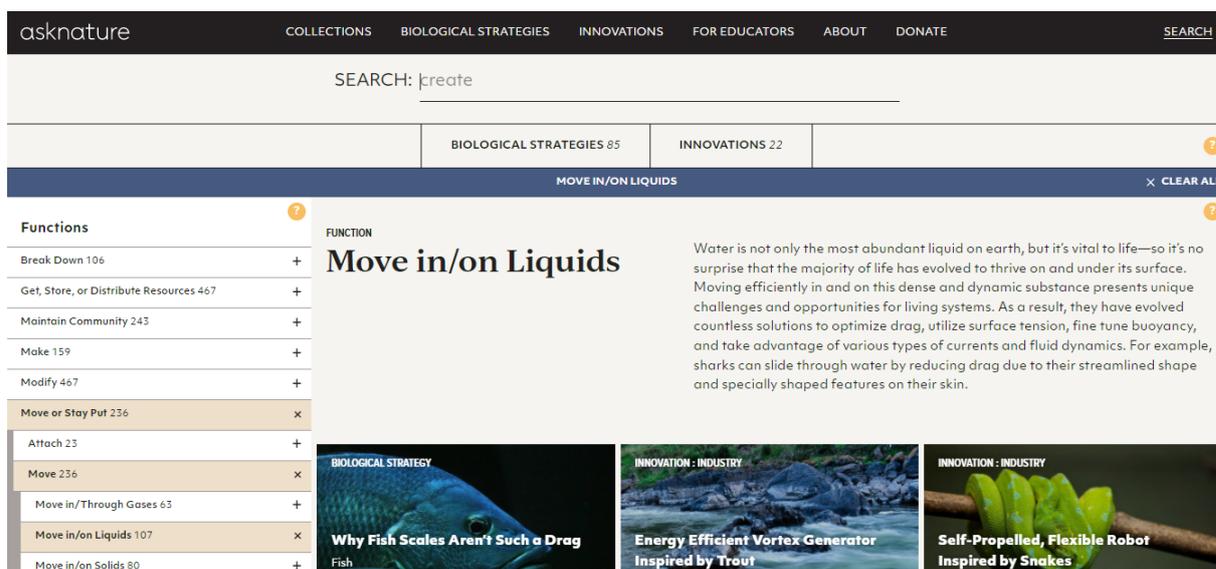
A terceira etapa da RSL consiste na identificação de artefatos encontrados durante a revisão sistemática de literatura, sendo uma etapa prevista na DSR.

#### **5.3.1 AskNature**

O AskNature é um repositório de estratégias biológicas. Introduzido em 2008, o banco de dados é colaborativo e segue a estrutura taxonômica: grupo, subgrupo, função e estratégia, interface do AskNature na figura (21). O indivíduo faz uma busca sistemática de estratégias que resultam em um grupo, um subgrupo e por último uma função (CHAKRABARTI *et al*, 2017).

As informações são extraídas de periódicos relevantes por biólogos capacitados que estruturam os insumos. É uma plataforma gratuita, criada e gerenciada pelo Biomimicry Institute, fundado por Janine Benyus — uma das maiores e mais respeitadas pesquisadoras da biomimética —; por conta desses fatores, a ferramenta é muito utilizada por diversos profissionais. Atualmente são mais de 1700 PSN com informações detalhadas contidas no AskNature.

Figura 21 – Página de busca do AskNature.



Fonte: [www.asknature.org](http://www.asknature.org)

Foi criado uma taxonomia para organizar as informações. São três grupos: grupo (8 grupos); subgrupo (30 subgrupos); função (162 funções). Já o próximo nível seria as estratégias individuais. Grupo seria manter a integridade física; o subgrupo seria proteger os fatores biológicos; função de proteger os animais; estratégia seria protuberância em nano escala (CHAKRABARTI *et al*, 2017).

Os pesquisadores do Biomimicry Institute desenvolveram uma metodologia baseada na *Biomimicry Design Spiral*, figura (22). Essa ferramenta descreve as seis etapas da metodologia proposta. A seguir a descrição da metodologia:

**Definir:** Compreender o problema, o público que se destina o produto e o contexto que está inserido.

**Biologizar:** Analisar as funções e o contexto e renomear para termos biológicos, para compreender quais princípios podem ser utilizados para inspiração.

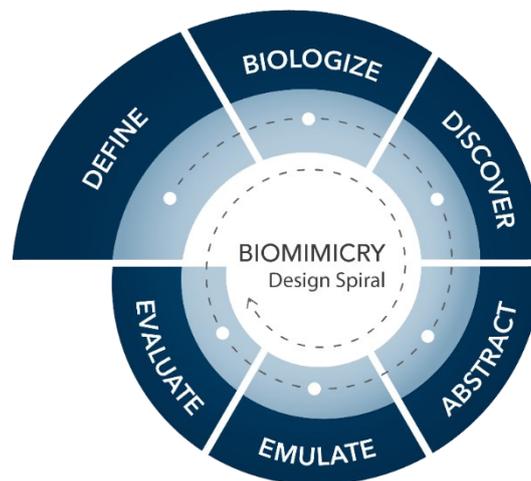
**Descobrir:** Coletar informações do PSN e seu contexto. Nessa etapa que o AskNature deve ser utilizado.

**Abstrair:** Estudar de forma aprofundada os mecanismos.

**Imitar:** Desenvolver conceitos de projeto com base na inspiração dos PSN.

**Avaliar:** Avaliar o artefato conforme a sua forma e função e se atingiu os objetivos desejados. Para isso é importante analisar os critérios e visualizar se foram atingidos.

Figura 22 – Espiral de Design de Biomimética.



Fonte: [toolbox.biomimicry.org](http://toolbox.biomimicry.org)

### 5.3.2 Biologue

Biologue é um sistema de catalogação de citações de artigos acadêmicos que utilizam com modelo da SBF — *Structure-Behaviour-Function* —, a fim de haver o compartilhamento de conhecimento (VATTAM; GOEL, 2011).

O modelo SBF permite organizar o conhecimento em: estrutura, componentes e conexões; comportamento, comportamento pretendido; funções, funções do sistema (VATTAM; GOEL, 2011).

Essa ferramenta fornece um sistema de busca que permite a listagem de artigos mais relevantes que utilizam SBF e os modelos associados (VATTAM; GOEL, 2011).

### 5.3.3 Dane

O DANE — *Design by Analogy to Nature Engine* — é um aplicativo que também fornece inspirações biológicas. É uma ferramenta que tem o objetivo de ajudar no processo de design que utiliza PSN (CHAKRABARTI *et al*, 2017; VATTAM *et al*, 2011).

Ele auxilia a busca e compreensão de sistemas biológicos que sejam mais relevantes para o problema que busca ser resolvido; além disso, ajuda a inserir e construir modelos funcionais de PSN e engenharia no DANE (VATTAM *et al*, 2011).

### 5.3.4 Ideia-Inspire

Ideia-Inspire é um software que funciona como repositório desenvolvido em 2005 por Chakrabarti *et al*, que tem como objetivo auxiliar o processo criativo com inspirações biológicas — são mais de 1200 sistemas naturais e artificiais. Desenvolveram o modelo SAPPiRE com a finalidade de sistematizar o conhecimento de PSN com o foco de utilizar na geração de alternativas (CHAKRABARTI *et al*, 2017). O projeto foi uma parceria entre o pesquisador Chakrabarti e pesquisadores alemães, americanos e canadenses.

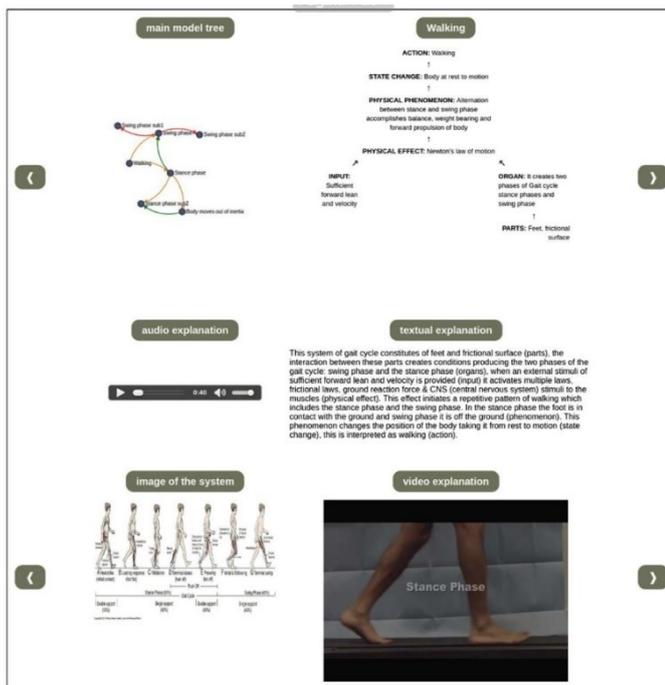
Figura 23 – Busca no Ideia Inspire 3.0.

The screenshot shows the 'SOLVE A PROBLEM' interface. It includes the following sections:

- What action should be achieved?** with fields for VERB (move), NOUN (Action noun), and ADJECTIVE (Action adjective).
- What parameters undergo change/need to be changed? Select of the Physical quantities. If others, please specify** with a dropdown menu and a text input field (State change).
- What is the input to the desired system (energy, material, signal)?** with fields for NOUN (force) and ADJECTIVE (input).
- What law of nature should drive the desired system? If others, please specify** with a dropdown menu and a text input field (Please Specify).
- State the components of the desired system?** with fields for NOUN (motor) and ADJECTIVE (components).
- The results are:** a list of biological and mechanical terms such as muscles, protection of wing, shoulder lock, slow fibres, Body moves out of inertia, Swing phase sub2, Anode, Interaction of magnetic fields, Rippe movement, Mechanism of Muscle Contraction, Muscle contraction, Sustained muscle contraction, Action Potential Generation, Octopamineergic Neurons in freely, Nitric oxide synthetase, Cuticle Layer, Swing phase, Swing phase sub1, Swash plate, Single phase induction motor, Centrifugal switch, Initiation of the motor, Revolute pair, Peristaltic pump, Rotation of movable member, Pump fluid, Drive shaft, Throttle Valve, Block and Tackle System, Cylinder block, Sator, Current leads voltage, Magnetic flux produced, Mechanical power generated, Power transmission to rotor, Rotation of rotor, Axial piston pump, Alternator Rotor, increased velocity of bird, soaring with no net gain, Elevation of albatross wing, Fuel Jet, Internal Organ Protection, Release of acetylcholine.
- View Models? (Select any one and click "OK")** with a dropdown menu (SELECT ANY SYSTEM) and an OK button.

Fonte: CHAKRABARTI (2017).

Figura 24 – Ideia Inspire 3.0.



Fonte: CHAKRABARTI (2017).

O modelo SAPPiRE busca perceber a funcionalidade de sistemas que utilizam fenômenos físicos. O software é mostrado nas figuras (23) e (24). Originalmente, foi desenvolvido como auxílio ao design de produto, fornecendo informações de sistemas biológicos e técnicos para inspirar o processo projetual. Os seguintes constructos são apresentados (SARTORI; PAL; CHAKRABARTI, 2010):

**Partes:** componentes e/ou interfaces que constituem um sistema.

**Fenômeno físico:** interação entre o sistema e ambiente.

**Estado:** propriedade do sistema que está interagindo de certa forma.

**Princípio físico:** PSN que conduz uma interação.

**Dispositivo:** propriedades de um sistema necessárias para realizar interação com o cenário que está contido.

**Entrada:** variável física que cruza o limite do sistema e é essencial para uma interação entre o sistema e seu ambiente;

**Ação:** descrição abstrata de uma interação entre o sistema e cenário.

Essas são as relações estabelecidas entre eles: As partes de um sistema em conjunto formam um dispositivo, que são requisitos estruturais de um princípio físico; o

princípio físico é ativado por várias entradas e cria um fenômeno, que gera mudança de estado; por sua vez, a mudança de estado são interpretadas como ações, como entradas, ou como mudanças que ativam partes (SARTORI; PAL; CHAKRABARTI, 2010).

O método SAPPHERE utiliza o SBF, *Structure-Behaviour-Function* — estrutura, comportamento e função —, de maneira lógica. Também organiza funções hierarquicamente. Há a proposição de duas diretrizes para a abordagem com uso de PSN. A diretriz genérica atende as etapas essenciais do processo projetual inspirado em PSN. Já a segunda atende diretrizes mais específicas conjuntamente com as essências, já tratadas na primeira (SARTORI; PAL; CHAKRABARTI, 2010).

### 5.3.5 Matriz Morfológica Bioinspirada

A matriz morfológica é um método de geração de alternativas bastante disseminado no design, porém por vezes é um método pouco flexível; dessa forma, Kandra (2018) propôs uma matriz morfológica bioinspirada com o objetivo de obter soluções bioinspiradas, contendo eixo somente voltado para PSN. A matriz opera em três eixos com a finalidade de haver mais variedade de alternativas e confronto de características (KANDRA, 2018), figura (25) e (26).

Figura 25 – Proposta de matriz morfológica bioinspirada.

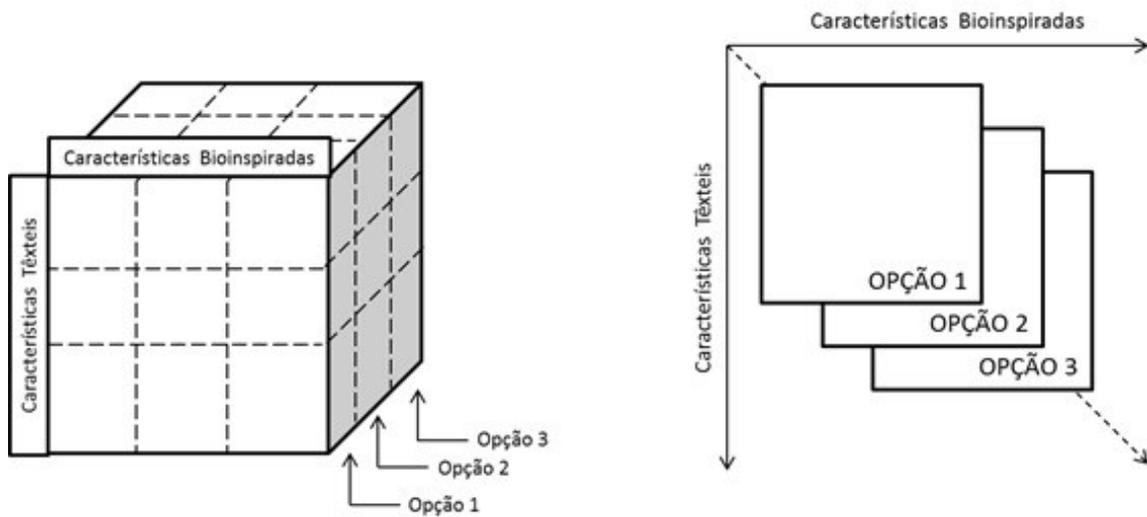
		Características Bioinspiradas		
		Variável 1	Variável 2	Variável 3
Características Têxteis	Variável 1	Opção 1	Opção 2	Opção 3
	Variável 2	Opção 1	Opção 2	Opção 3
	Variável 3	Opção 1	Opção 2	Opção 3

		Características Bioinspiradas		
		Variável 1	Variável 2	Variável 3
Características Têxteis	Variável 1	Opção 1	Opção 1	Opção 1
		Opção 2	Opção 2	Opção 2
		Opção 3	Opção 3	Opção 3
Variável 2	Variável 2	Opção 1	Opção 1	Opção 1
		Opção 2	Opção 2	Opção 2
		Opção 3	Opção 3	Opção 3
Variável 3	Variável 3	Opção 1	Opção 1	Opção 1
		Opção 2	Opção 2	Opção 2
		Opção 3	Opção 3	Opção 3

Fonte: KANDRA (2018).

Figura 26 – Matriz morfológica tridimensional.



Fonte: KANDRA (2018).

### 5.3.6 Modelos Funcionais

O método proposto por Nigel (2010), busca integrar domínios da biologia com a engenharia, através de abstração funcional. Tem o objetivo de identificar soluções de PSN, traduzir sistemas biológicos, utilizar a representação funcional dos PSN para transpor para projetos de engenharia e conceituar projetos.

A representação e abstração reduz tendências de ideias, fazendo com que o projetista saia da zona de conforto. Para Nigel (2010) os sistemas biológicos operam de maneira similar aos sistemas de engenharia — isso converge bastante com os apontamentos de Mancuso (2020) vistos no segundo capítulo.

Nigel (2010) estruturou um sistema chamado Tesouro Engenharia-para-Biologia, que consiste resumidamente em um banco de termos biológicos que são “traduzidos” para engenharia, ou seja, uma forma de facilitar a compreensão do projetista aos PSN. São propostas quatro categorias biológicas, são elas: fisiologia; morfologia; comportamento, estratégia (NIGEL, J. K. S. *et al.*, 2010). Essas categorias auxiliam na transposição de PSN para produto, pois objetivam mais as buscas, figura (27).

Figura 27– Funções do Tesouro Engenharia-para-Biologia.

Primary	Secondary	Tertiary	Biological Function Correspondents	
Branch	Separate		Bleaching, meiosis, <i>react</i> , flower, replicate, segment, <i>electrophoresis</i> , dialysis, denature, free, detach, release	
		Divide	Division, prophase, anaphase, cleave, cytokinesis, mitosis	
		Extract		
		Remove	Deoxygenate, filtrate, deamination, liberate, expulsion, evacuate, shed	
	Distribute		Circulate, diffusion, exchange, disperse, scatter, spread, spray	
Channel	Import		<i>Absorb</i> , attract, consume, inhale, intake	
	Export		<i>Bind</i> , block, breakdown, excrete, inactivate, <i>repel</i>	
	Transfer		Migrate, transfer	
		Transport	Circulate, conduct, diffuse, pump, shift, displace, fly, swim, jump, bounce	
		Transmit	Communicate, <i>transduce</i>	
	Guide		Orient, position, slide, tunnel	
		Translate	<i>Synthesize</i> , transcribe	
		Rotate	Oscillate, spin, turn, swivel, roll	
Allow DOF		Articulate		
Connect	Couple		Recombination, mate, build, phosphorylate, bond, synthesis, latch, lock, extend, link, overlap, <i>stretch</i>	
		Join	<i>Bind</i> , adhere, bond, fuse	
		Link	Clamp, <i>activate</i> , <i>bind</i> , project	
	Mix		Blend, <i>contract</i> , exchange, fragment	
Control	Actuate		<i>Activate</i> , induce, trigger	
Magnitude	Regulate		<i>Electrophoresis</i> , gate, organogenesis, respire, sustain, preserve, remain, stabilize, maintain, regulate, metaphase	
		Increase	<i>Pinocytosis</i> , <i>grow</i> , expand, multiply	
		Decrease	Compress, coil, divide, fold, shorten, <i>wrap</i> , hyperpolarize	
	Change		<i>Pinocytosis</i> , <i>degrade</i> , alter, <i>bind</i> , catalyze, <i>contract</i> , hydrolysis, inflammation of, twist, <i>mutate</i> , radiate, charged, slip, acclimatize, alternate, fluctuate	
		Increment		
		Decrement	Decarboxylation, <i>constrict</i>	
		Shape	Elongate, <i>stretch</i> , attach, <i>spread</i>	
		Condition		Osmosis, <i>constrict</i>
		Stop		Clog, extinguish, halt, interphase, seal, suspend
			Prevent	Constrain, obstruct
Inhibit		Cover, destroy, inhibit, repress, <i>repel</i> , <i>surround</i>		
	Convert		Polymerize, <i>synthesize</i> , burn, gluconeogenesis, metabolize, <i>grow</i> , <i>transduction</i> , fermentation, glycolysis, hydrolyze, hydrolysis, respiration, ionize, decompose, <i>degrade</i> , <i>develop</i> , <i>mutate</i> , <i>photosynthesize</i> , digest	
		Provision		Conserve, <i>hold</i> , <i>convert</i> , deposit, <i>photosynthesize</i>
	Store	Contain	<i>Absorb</i>	
		Collect	<i>Absorb</i> , catch, breakdown, concentrate, digest, reduce	
	Supply		Feed, lactate	
Signal	Sense	Detect	Detect, locate, see, smell	
		Measure	Observe, monitor, gauge, watch	
	Indicate		Fluoresce, communicate, <i>react</i> , mark	
		Track		
	Display			
Process		Learn		
Support			<i>Develop</i> , <i>wrap</i>	
	Stabilize		Homeostasis, cling, <i>hold</i> , <i>bind</i> , <i>connect</i>	
	Secure		<i>Surround</i> , envelope	
	Position			
Overall increasing degree of specification ↗				

Fonte: NAGEL (2010).

Então, foi elaborada uma metodologia com o objetivo de representar funcionalmente os PSN (NIGEL, J. K. S. *et al.*, 2010), que é apresentada a seguir:

1. Identificar uma referência adequada, que seja uma fonte confiável para obter informações quanto ao PSN.
2. Buscar entender a funcionalidade principal do sistema: fazer anotações quanto ao sistema, prestar atenção às indicações referentes à categoria e escala; consultar tesouro engenharia-para-biologia para comparar fluxos biológicos com fluxos de sistemas projetados.
3. Definir uma questão do projeto.
4. Definir a categoria do modelo funcional.
5. Definir a escala desejada do modelo: modelar a caixa preta para o sistema biológico, definindo a funcionalidade geral com o léxico da *Functional Basis*; investigar o que ocorre na escala biológica desejada para obter a funcionalidade da caixa preta; ler sobre o sistema biológico, observando os eventos simultâneos e paralelos que ocorrem para obter a funcionalidade da caixa preta.
6. Desenvolver um modelo funcional do PSN usando a linguagem de modelagem da *Functional Basis*, dentro dos limites estabelecidos pela questão de projeto, categoria biológica e escala biológica: usar o tesouro engenharia-para-biologia para escolher as funções mais adequadas; certificar-se de que funções implícitas como *transferir*, *transmitir* e *guiar*, sejam adicionadas ao modelo entre as principais atividades biológicas; não misturar a função da estrutura de suporte com a principal funcionalidade de interesse dentro do modelo funcional (por exemplo, o caule de um girassol transporta nutrientes e água do solo para a cabeça para produzir frutos e não deve ser misturado com o caule como um suporte para o girassol); usar um software que permita a reorganização rápida de blocos para tornar esse processo mais rápido.
7. Verificar duplamente o modelo funcional em relação à questão do projeto e ao modelo da caixa preta.

Nigel (2010) ainda propõe duas abordagens de geração conceitual: a primeira é uma técnica de geração conceitual que começa com modelos funcionais baseados em sistemas de interesse — geralmente usado para redesenho ou melhoria de produtos —;

já a segunda abordagem é voltada para as necessidades do produto, traduzidas em funcionalidades (NIGEL, J. K. S. *et al.*, 2010).

### **Primeira abordagem**

1. Gerar um modelo funcional do PSN.
2. Consultar um repositório de PSN.
3. Revisar os componentes de engenharia selecionados pelo gerador de conceitos automatizado que responde às mesmas funções que o sistema biológico;
4. Gerar conceitos combinando PSN por meio das consultas no repositório.
5. Dar continuidade ao processo de projeto conceitual.

### **Segunda abordagem**

1. Criar um modelo funcional conceitual do sistema de engenharia desejado com base no mapeamento das necessidades para os fluxos.
2. Utilizar um gerador de conceito automatizado para verificar possíveis soluções para cada par função-fluxo no modelo funcional conceitual.
3. Revisar soluções de engenharia e biológicas.
4. Explorar PSN de inspiração para as funcionalidades.
5. Identificar novas soluções de engenharia para funções inspiradas por PSN.
6. Dar continuidade ao processo de projeto conceitual.

#### **5.3.7 Natural Language**

O Natural Language é uma ferramenta que auxilia na compreensão da linguagem natural para auxiliar a geração de conceitos (VAKILI; SHU, 2001). Foi desenvolvida por Shu e Cheong em conjunto com outros pesquisadores.

Vakili e Shu (2001) apresentam um processo para encontrar analogias em PSN. Para encontrar um sistema natural que realize uma função próxima de um sistema artificial é importante estabelecer os requisitos. Sendo que a função geral pode ser abstraída em várias subfunções (VAKILI; SHU, 2001).

Essa abordagem permite a identificação de analogias a partir de textos em linguagem natural. Foi estruturado um processo que auxilia o encontro de analogias na natureza, cujas etapas são descritas a seguir (VAKILI; SHU, 2001):

**Selecionar a fonte de informação de PSN:** Periódico, livro, etc.

**Identificar palavras-chave ou sinônimos funcionais da engenharia.**

**Identificar uma fonte:** Entre as palavras chave funcionais da engenharia e PSN.

**Procurar:** Sinônimos ou palavras-chave correspondentes no dicionário.

**Investigar mais detalhes sobre o PSN.**

### 5.3.8 BioTRIZ

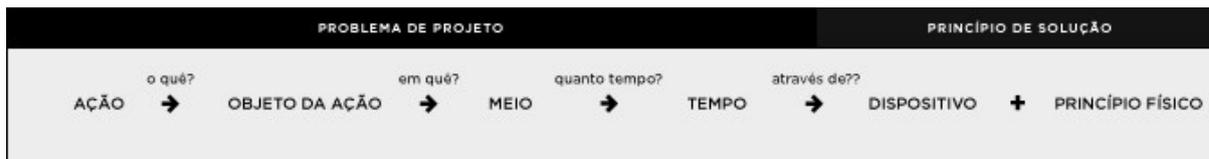
A BioTRIZ funciona como uma matriz de características contraditórias, são elas: substância, estrutura, espaço, tempo, energia e informação (VINCENT *et al*, 2006). O modelo BioTRIZ faz o uso de operadores de sistema, uma matriz 3x3 para o objeto — componente ou sistema. O operador, verticalmente, representa uma hierarquia de 'super-sistema', 'sistema', 'subsistema'. Já horizontalmente, o tempo, é representado utilizando 'antes', 'agora', 'depois' em cada nível de hierarquia. Esse modelo foi inspirado pela *Theory of Inventive Problem Solving* — TRIZ —, começou a ser desenvolvida em 1946, por Genrich Altshuller e colaboradores e trata-se de um conjunto de abordagens para a solução de problemas e redução de contradições de problemas de engenharia, que ocorre quando há o aumento de um parâmetro e diminuição de outro (BARRY *et al*, 2010; CHAKRABARTI *et al*, 2017). Define trinta e nove (39) características contraditórias que foram colocadas umas contra as outras em uma matriz de contradição, tendo assim obtido pares de conflito. Cada par é combinado com pares de outros problemas, para se ter uma analogia recuperada, ou seja, ajudaria a resolver o problema proposto (CHAKRABARTI *et al*, 2017).

### 5.3.9 BIOsign

O BIOsign é um repositório de princípios de solução da natureza e também um método de transposição de PSN. Foi proposto por Flora Detanico em 2021 em sua tese de doutorado.

Para extração de PSN e estruturação do repositório, foi desenvolvido um *template* que segue uma taxonomia, como mostrado na figura (28). É dividido em duas áreas: problema de projeto e princípio de solução. Através das questões “qual a ação?”, “sobre que objeto?”, em que meio?”, “durante quanto tempo?”, “através de que dispositivo e princípio físico?” ele deve ser preenchido (DETANICO, 2021).

Figura 28 – Template da Taxonomia.



Fonte: Adaptado de DETANICO (2021).

O repositório está estruturado de forma que o projetista consiga fazer buscas específicas de possíveis soluções para problemas (DETANICO, 2021). Ele segue uma taxonomia — também proposta por Detanico — que ajuda é utilizada para extrair PSN, como também para estruturar o repositório, figura (29).

Figura 29 – Repositório BIOsign.

PROBLEMA DE PROJETO			PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO			
QUAL A AÇÃO?	QUAL O OBJETO DA AÇÃO?	EM QUE MEIO?	DISPOSITIVO	PRINCÍPIO FÍSICO	EXEMPLO	PG
1 Vincular	CORPO SÓLIDO	gasoso	folhas com gravinhas	se enrolam e auxiliam na fixação para as folhas alcançarem mais altura e portanto terem acesso a mais sol	pepino, chuchu, etc	6
2 Fornecer	MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO	gasoso	folhas em forma de vaso que mantém água	por decomposição dos corpos dos insetos que se afogam no jarro	folhas das Plantas-jarro	6
3 Vincular	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	elétrons	por atração e compartilhamento até chegar à estabilidade	ligações químicas	25
4 Estruturar	CORPO SÓLIDO	líquido	pontes de hidrogênio	pelo movimento das moléculas de água e formação das pontes de hidrogênio	gelo	31
5 Regular densidade	LÍQUIDO PURO	líquido	pontes de hidrogênio	por esfriamento e solidificação (formação de gelo, que é menos denso que a água líquida)	gelo	31
6 Mov. Saída	ENERGIA TÉRMICA	indiferente	moléculas	por quebra de ligações moleculares através de reação química	perda de calor; resfriamento	30
7 Mov. Saída	ENERGIA ELETROMAGNÉTICA	indiferente	moléculas	por quebra de ligações moleculares através de reação química	perda de luz	30
8 Regular temperatur	CORPO SÓLIDO	gasoso	água	por evaporação	suor	32
9 Vincular	LÍQUIDO PURO	líquido	pontes de hidrogênio	por tensão superficial (força coesiva decorrente das pontes de hidrogênio)	tensão superficial da água	32
10 Dividir	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	ambientes quentes	aumento na temperatura causa aceleração dos movimentos moleculares e podem quebrar pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas	desnaturação	48
11 Dividir	PARTÍCULA SÓLIDA	indiferente	ambientes com alteração no PH	alterações no PH podem mudar o padrão de ionização dos aminoácidos, rompendo assim o padrão de atrações e repulsões iônicas	desnaturação	48

Fonte: DETANICO (2021).

O método BIOsign possui duas construções, um caminho orientado ao problema e outro orientado à solução.

Caso seja orientado ao problema (Quadro 4) existem seis etapas que o projetista deve seguir, são elas: problema de projeto; decomposição funcional do produto; *template*; filtros de pesquisa; princípios de solução e geração de alternativas.

Quadro (4) – Método BIOSign orientado ao problema.

Problema de projeto	Decomposição funcional do produto	Template	Filtros de pesquisa	Princípios de solução	Geração de alternativas
---------------------	-----------------------------------	----------	---------------------	-----------------------	-------------------------

Fonte: Adaptado de DETANICO (2021).

**Problema de projeto:** Definir o problema de projeto do produto.

**Decomposição funcional do produto:** Realizar a decomposição funcional do produto, definindo sua função e subfunções.

**Template:** Preencher *template* com as informações do PSN.

**Filtros de pesquisa:** Utilizar a planilha do repositório BIOSign e buscar os termos apropriados ao que procura e aos termos disponíveis no *template* disponibilizado.

**Princípios de solução:** Investigar mais detalhes do PSN.

**Geração de alternativas:** Fazer a transposição do PSN.

Se for orientado pela solução (Quadro 5) existem quatro etapas, são elas: palavra-chave; localizar; princípios de solução e geração de alternativas.

Quadro (5) – Método BIOSign orientado pela solução.

Palavras-chave	Localizar	Princípios de solução	Geração de alternativas
----------------	-----------	-----------------------	-------------------------

Fonte: Adaptado de DETANICO (2021).

**Palavras-chave:** Utilizar PSN para descobrir funções/situações que podem ser aplicados para resolve problemas de projeto.

**Localizar** Utilizar a planilha do repositório BIOSign, entrando no menu “Editar/Localizar e Substituir” e digitar a palavra-chave desejada.

**Princípios de solução:** Investigar mais detalhes do PSN.

**Geração de alternativas:** Fazer a transposição do PSN.

O repositório e método estão disponíveis online para serem consultados e utilizados de forma gratuita. Há também um formulário online, onde é possível sugerir PSN para serem adicionados ao repositório.

## 6. Proposição do Artefato

Com os insumos obtidos na revisão sistemática de literatura — apresentados no capítulo 5 — foi possível diagnosticar brechas em pesquisas de métodos e ferramentas que utilizam PSN. Muitos deles apresentam informações dos PSN de forma superficial, o que não facilita a compreensão completa do princípio. Há a carência de uma etapa que ajude a compreender os princípios de solução de forma aprofundada, pois somente assim o projetista terá fluência projetual utilizando PSN.

O método BIoSign não possui uma etapa voltada para a análise aprofundada dos PSN. A quinta etapa do processo, **princípios de solução**, propõe uma investigação mais aprofundada dos PSN; porém, não específica como devem ser conduzidas essas pesquisas. As informações básicas contidas no repositório (as informações extraídas de acordo com a taxonomia) são muito rasas para que o projetista possa utilizar no seu processo criativo. Sendo assim, fica evidente a necessidade do desenvolvimento dessa etapa, sendo imprescindível no processo projetual de design.

Tendo deste diagnóstico, foi identificada como a **classe de problemas sendo a etapa de análise de princípios de solução da natureza**, assim este estudo propõe potencializar o método BIoSign com a estruturação de uma etapa de análise de princípios de solução da natureza, juntamente com a proposição de técnicas de análise de PSN. As localizações dessa etapa são mostradas nos quadros (6) e (7). A estruturação da etapa irá definir melhor os procedimentos necessários para se chegar em boas soluções usando PSN, enquanto as técnicas serão uma forma de conduzir a investigação do projetista.

### 6.1 Estruturação da etapa de análise de PSN

A estrutura desta etapa se inspirou na etapa de preparação da metodologia proposta por Medeiros e Gomes (2003). Essa etapa busca reunir informações e organizá-las para que o projetista possa ter uma percepção aprofundada do problema de projeto. Ela usa métodos analíticos para extrair os insumos necessários (MEDEIROS; GOMES, 2003).

Dessa forma, a estrutura da etapa proposta nesta pesquisa apresenta a utilização de métodos analíticos para recolher e organizar as informações, ampliando o conteúdo projetual.

Quadro (6) – Proposta de etapa analítica no método BIOSign orientado ao problema.

Problema de projeto	Decomposição funcional do produto	Template	Filtros de pesquisa	Princípios de solução	Geração de alternativas
				Estruturar procedimentos e métodos analíticos para esta etapa	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro (7) – Proposta de etapa analítica no método BIOSign orientado a solução.

Palavras-chave	Localizar	Princípios de solução	Geração de alternativas
		Estruturar procedimentos e métodos analíticos para esta etapa	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura (30) mostra a proposição de processo criativo de projeto de design integrado ao método BIOSign.

Figura 30 – Proposta de estruturação das etapas do método BIOsign.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Antes do projetista utilizar o Repositório BIOsign, os requisitos de produto já devem estar definidos, pois eles são necessários para saber o que exatamente está sendo procurado. Os requisitos, por sua vez, são definidos através dos insumos obtidos nas análises de produtos.

Com os requisitos de projeto definidos, o projetista pode realizar a filtragem no repositório e escolher quais princípios são mais aptos para o projeto. Com os princípios definidos (pode ser mais de um), o projetista irá realizar a etapa de análise de PSN. Com essa etapa será possível reconhecer os princípios de função, a estrutura e a forma do PSN de maneira aprofundada. Isso irá garantir que ele tenha mais confiança em escolher um PSN e também ajudará com a fluência de ideias no momento da geração de alternativas.

Tendo o PSN escolhido, podem ser acrescentados requisitos que o projetista percebeu durante as análises de PSN (seja formal ou funcional); assim serão criados os requisitos do produto bioinspirado. A seguir, o projetista poderá montar painéis imagéticos para inspiração (sejam de produtos ou com fotos do PSN) e então partirá para geração de alternativas, na qual irá buscar transpor o PSN para o produto por meio do pensamento por analogias.

## **6.2 Construção dos requisitos das técnicas de análise de PSN**

Pensando em facilitar o entendimento do projetista, compreendeu-se que a melhor forma de favorecer a compreensão dessas análises seria a utilização de uma linguagem projetual — ou seja, utilizar da estrutura e características de métodos de análise de produto, contidos em metodologias de design, para construir os requisitos das técnicas de análise de princípios de solução da natureza.

Assim, partiu-se para uma segunda revisão de literatura, examinando literaturas voltadas para o processo de desenvolvimento de produto, metodologias e métodos de design. Foram identificados os métodos de análise e então foram estruturados critérios de qualidade das técnicas, buscando avaliar quais delas seriam úteis analisar de forma detalhada.

No terceiro capítulo foram apresentadas sete técnicas de análise de produtos, recolhidas através da segunda revisão. Com a análise dos métodos foi possível visualizar que três técnicas se mostraram mais compatíveis para analisar PSN, sendo elas: análise funcional, análise estrutural e análise morfológica.

Como dito anteriormente, três métodos demonstraram possuir uma racionalização ideal para aplicar em PSN. Sendo assim, essas três técnicas darão embasamento para a construção dos métodos propostos.

### **Requisitos**

**Linguagem projetual:** Os métodos devem possuir uma linguagem voltada para projeto de design, a fim de facilitar a aplicação dos PSN no processo projetual.

**Fácil compreensão:** Devem ser de fácil compreensão e assimilação dos resultados.

**Fácil aplicação:** Deve ser possível a aplicação em qualquer cenário.

**Estrutura Visível:** Ter uma estrutura visível (facilitando a compreensão dos resultados).

**Forma e Função:** Devem apresentar resultados voltados para forma e função, já que são fundamentos básicos do design.

**Desenho:** Deve propor ao projetista que desenhe o princípio, a fim de estimular a capacidade motora, facilitando a compreensão da forma do PSN, com o objetivo de ajudar na geração de ideias.

**Informação:** Deve proporcionar a organização de conteúdo informacional.

**Relacionar resultados:** Os resultados das três técnicas devem possibilitar o relacionamento entre si.

A partir desses requisitos, serão desenvolvidos três métodos de análise de PSN — um voltado para o processo funcional, outro para a estrutura e outro com foco formal. O quadro 8 mostra os três métodos propostos.

Quadro (8) – Proposta de métodos de análise.

MÉTODOS DE ANÁLISE DE PSN		
<b>ANÁLISE DE FUNÇÃO</b> Compreender como o mecanismo realiza sua função.	<b>ANÁLISE DE ESTRUTURA</b> Reconhecer elementos, conexões, subsistemas, ou seja, analisar como o “corpo” é estruturado.	<b>ANÁLISE DE FORMA</b> Entender a morfologia: seus princípios de composição, geometrização, leis de simetria e etc.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 7. Desenvolvimento

Nesta etapa de desenvolvimento é apresentada a construção do artefato (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Foi estruturado um escopo de projeto para nortear o desenvolvimento do artefato. Sendo assim, o desenvolvimento das técnicas segue as seguintes etapas: (a) **construção da racionalização**, em que será construída a lógica do artefato, ou seja, como ele irá “operar”; (b) **estruturação do artefato**, esboçando possíveis estruturas, esquemas, diagramas, etc.; (c) **testes**, para experimentar a lógica e as estruturas esboçadas; (d) **refinamento do artefato**, no qual são feitos ajustes necessários.

### 7.1 Lógica das Técnicas de Análise de PSN

Aqui são apresentadas a (a) **construção da racionalização** e (b) **estruturação do artefato** de forma conjunta, pois foi assim que as lógicas das técnicas foram construídas. Assim sendo, é apresentada a lógica de como o artefato irá operar e as estruturas e diagramas das técnicas.

Para cada uma das três técnicas de análise de princípio de solução da natureza — funcional, estrutural e morfológica — foi desenvolvida uma lógica de construção. As lógicas buscaram atender aos requisitos de projeto, seguindo os parâmetros das técnicas de análise de produtos estudadas.

Outro conceito que foi imprescindível para a organização e estruturação das técnicas é o de rede. Ele se mostrou como um ótimo modelo para a construção das lógicas das técnicas, pois sua flexibilidade permite que o usuário relacione elementos de forma mais dinâmica, autônoma, sequencial, hierárquica e fluída.

Desse modo, no item 7.1.1 é apresentado o conceito de rede e, nos itens seguintes, são apresentadas as lógicas das três técnicas de análise de PSN.

### 7.1.1 Rede

O presente item tem como intuito apresentar os principais conceitos e significados de rede. Para isso, buscou-se na literatura autores que abordam essa temática, possibilitando formular e refletir acerca desses conceitos.

O autor Capra (2018), um dos percursores nos estudos das redes, utiliza os conceitos da biologia para explicar o que é rede e apresenta uma visão ecológica do mundo, na qual a dependência de todas as ocorrências é identificada. De acordo com o autor, a rede pode ser definida como organismos independentes e incluídos no funcionamento do todo. A rede é constituída de entrelaçamentos, fenômenos interdependentes e inter-relações (CHIAPINOTTO, 2022). Capra (2018) afirma que uma rede dialoga com outras, criando sistemas de redes. Nesse sentido, o autor considera a rede como a “teia da vida”, como o “padrão da vida”. Por “padrão”, entende-se uma configuração de relações, enquanto teia denota um tecido construído de maneira orgânica e entrelaçada.

Nessa linha, Castells (2009) também utiliza a metáfora da teia para falar em rede, a qual, de acordo com o autor, é um ponto central nas características da sociedade da informação, sendo caracterizada por um conjunto de nós interconectados (sendo o nó o ponto onde uma curva se encontra). Para Castells (2009), o formato da rede é ajustável à crescente possibilidade de comunicações, auxiliando a estruturar o não estruturado, mantendo sua flexibilidade, uma vez que o que diferencia esse novo padrão tecnológico é a sua alta capacidade de reconfiguração. Logo, para o autor, a flexibilidade é um dos atributos mais importantes das redes diante da necessidade de mudanças constantes na sociedade.

Conforme Capra (2018), as redes têm relações multidirecionais, não lineares, e atuam em uma lógica de realimentação (em que tudo retorna para a fonte) e autorregulação (em que os fluxos e mudanças são contínuos, formando um equilíbrio dinâmico). Em relação ao atributo de rede auto-organização, o autor comenta que essa característica representa a existência de um modelo de organização. Chiapinotto (2020) complementa que a auto-organização constituiu a *“a essência da visão sistêmica da vida*

*e uma forma de auto-organização é a autopoiese, em que as redes criam suas próprias estruturas”* (CHIAPINOTTO,2020, p. 48). Ainda nesse âmbito, Castells (2018) destaca que as redes têm grande capacidade de estar em constante adaptação às complexidades das interações; logo, a flexibilidade é uma das características mais importantes das redes, pois viabiliza sua constante reconfiguração em uma sociedade que está em sucessivas transformações.

Para Horlle (2022), as redes possuem a possibilidade de crescer exponencialmente devido ao seu número de conexões, e os processos podem ser reversíveis, como terem também seus elementos modificados. Observa-se que as redes têm capacidade de integrar os nós, desde que compartilhem dos mesmos códigos de comunicação. Portanto, o funcionamento da rede depende de dois atributos essenciais: conectividade (capacidade estrutural que torna possível a comunicação entre os atores da rede) e coerência (o compartilhamento de interesses em comum entre os objetivos autônomos dos atores em rede) (HORLLE, 2022).

Diante do exposto, a rede de atributos pode ser compreendida como um conjunto integrado de elementos distintos que se relacionam entre si. As relações que se estabelecem entre os atributos da rede fazem com que eles se modifiquem mutuamente. Num mundo que se transforma constantemente, onde as redes são fluídas, os atributos só podem ser elementos que se alteram (CHIAPINOTTO, 2020).

A partir de diferentes interpretações, entende-se que os autores corroboram a ideia de que a rede é uma poderosa simbologia que norteia nosso cotidiano, possuindo qualidades morfológicas relacionadas com uma nova visão de mundo, menos focada em divisões e mais voltada para abundância e relações entrelaçadas que regem o mundo moderno (HORLLE ,2022).

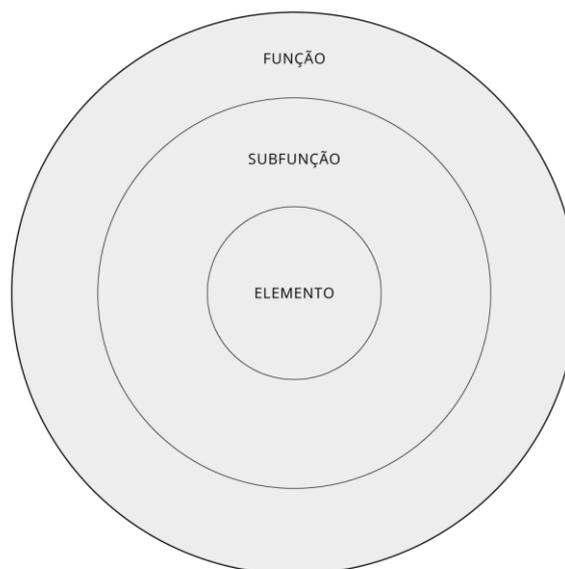
### **7.1.2 Lógica da Técnica de Análise de Função de PSN**

A análise funcional de princípios de solução da natureza é um diagrama de relações hierárquicas de funções, subfunções e elementos de subfunções que é

esquemático em formato de rede. A rede possibilita relacionar elementos de forma dinâmica e flexível, de forma hierárquica ou não, dependendo de como o usuário deseja interpretar as relações.

Para a técnica de análise funcional de PSN foi criado um esquema de construção que segue padrões de hierarquia e relação que facilita a fluidez das informações e possibilita visualizar a diferenciação entre função, subfunção e elemento de subfunção. A função é a função principal de um princípio de solução da natureza, enquanto a subfunção é uma prática secundária exercida para atingir a função principal. Por sua vez, o elemento de subfunção é uma parte necessária para realizar a subfunção em si, como mostrado na figura (31).

Figura 31 – Relação entre Função, Subfunção e Elemento.



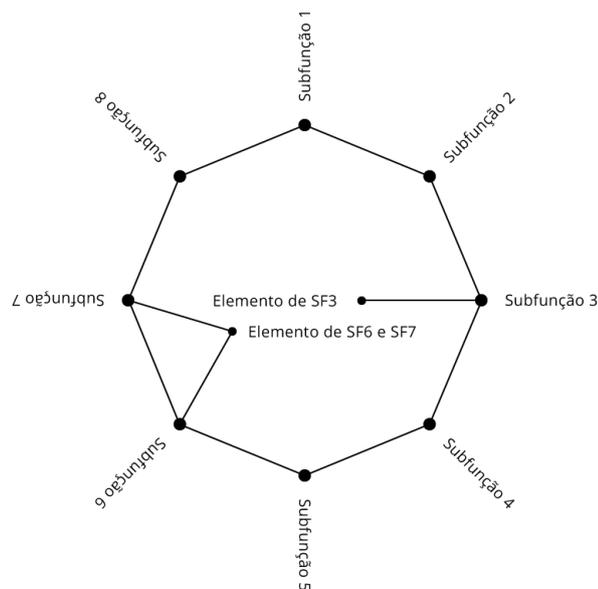
Fonte: Elaborado pelo autor.

A construção de todas as subfunções e elementos de subfunção operacionalizam a logística de funcionamento da função principal; sendo assim, a função principal é a “célula” de rede em que acontece todas as relações, enquanto as subfunções são “átomos” que dão forma à “célula”. Esses “átomos” são numerados e seguem a sequência da operacionalização necessária para se atingir a função principal. Os elementos de subfunção estão posicionados na parte interior das subfunções e conectados com a

respectiva subfunção a qual ele pertence. Caso um elemento de uma subfunção necessite de um elemento que está conectado a outra subfunção, eles podem ser conectados a fim de criar essa interrelação. Segue abaixo a descrição da construção e sequência da técnica de análise funcional de PSN:

1. Escolher o PSN;
2. Definir a função principal;
3. Analisar as relações hierárquicas da função principal;
4. Elencar as subfunções e suas relações hierárquicas;
5. Dispor as subfunções de acordo com a sequência de realização da função, fazendo conexões com linhas e numerando as subfunções;
6. Elencar os elementos de subfunção de acordo com sua respectiva subfunção;
7. Dispor os elementos de acordo com a sequência de realização da subfunção, fazendo conexões com linhas e numerando os elementos;
8. Conectar subfunções ou elementos que não sejam próximos, mas que tenham alguma relação de dependência.

Figura 32 – Diagrama da Técnica de Análise de Função de PSN.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura (32) mostra como o diagrama deve ser organizado. O diagrama completo é um princípio de solução, ou seja, uma função. As subfunções são os círculos externos numerados de acordo com a sequência de operacionalização da função principal. Os círculos menores internos são os elementos de subfunção e eles podem ser ligados a uma ou mais subfunções.

### 7.1.3 Lógica da Técnica de Análise de Estrutura de PSN

A análise estrutural de princípios de solução da natureza é uma forma de elencar os componentes que compõem o PSN e como eles se relacionam entre si. É importante apontar e detalhar cada componente, encaixe, e tudo o que seja pertinente para compreender a estrutura do princípio de solução.

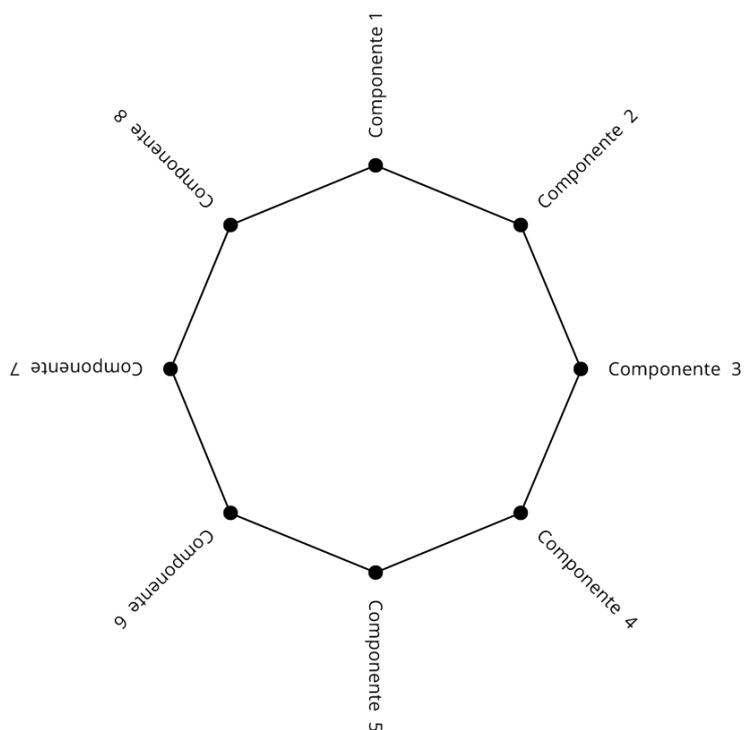
A proposta é analisar de forma micro cada elemento e compreender como o mecanismo funciona como um todo. Também é importante que essa técnica seja realizada após análise funcional para identificar o que é realmente necessário para o funcionamento do PSN, compreendendo assim a necessidade de cada componente

A organização dos elementos deve ser esquematizada em formato de rede, assim será possível fazer as conexões necessárias entre os elementos. Abaixo a descrição da construção e sequência da técnica de análise estrutural de PSN:

1. Elencar os componentes que compõem o PSN;
2. Relacionar os componentes;
3. Dispor os componentes de acordo com a sequência de relação dos mesmos, fazendo conexões com linhas e numerando os elementos;

Na figura (33) é demonstrado como o diagrama deve ser organizado. O diagrama completo é a estrutura completa do princípio de solução, ou seja, é o mecanismo completo. Os componentes são as partes que formam essa estrutura.

Figura 33 – Diagrama da Técnica de Análise de Estrutura de PSN.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 7.1.4 Lógica da Técnica de Análise Morfológica de PSN

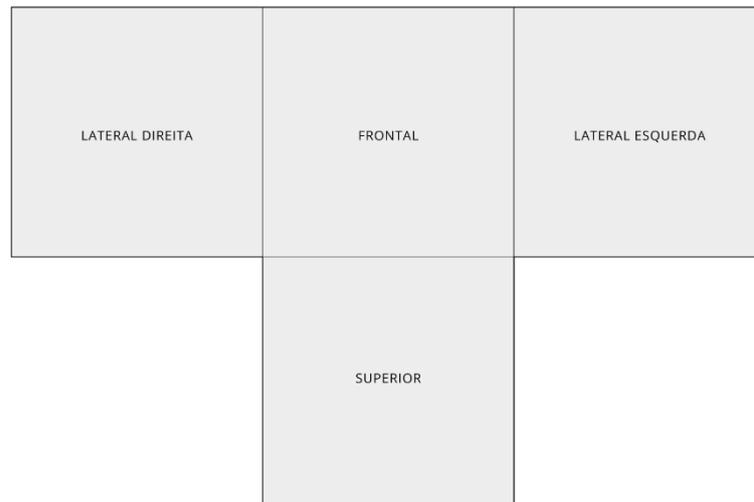
A análise de forma de princípios de solução da natureza tem a finalidade de perceber as relações estético-formais do PSN. Assim, é analisada a forma do PSN em relação à simetria, harmonia, equilíbrio e o posicionamento dos elementos.

Para a organização da estrutura visível dessa técnica foi escolhido um diagrama que segue a sequência de vistas de um objeto — lateral, frontal e superior —, assim é possível realizar um estudo das simetrias e construção estrutural do PSN. Eis a descrição da construção e sequência da técnica de análise de forma de PSN:

1. Dispor o PSN em vistas — lateral, frontal e superior;
2. Realizar estudos quanto à forma do PSN, realizando assim a geometrização do PSN e compreendendo as relações estético-formais;
3. Posteriormente, construir um diagrama com a lógica de rede com os resultados obtidos na análise.

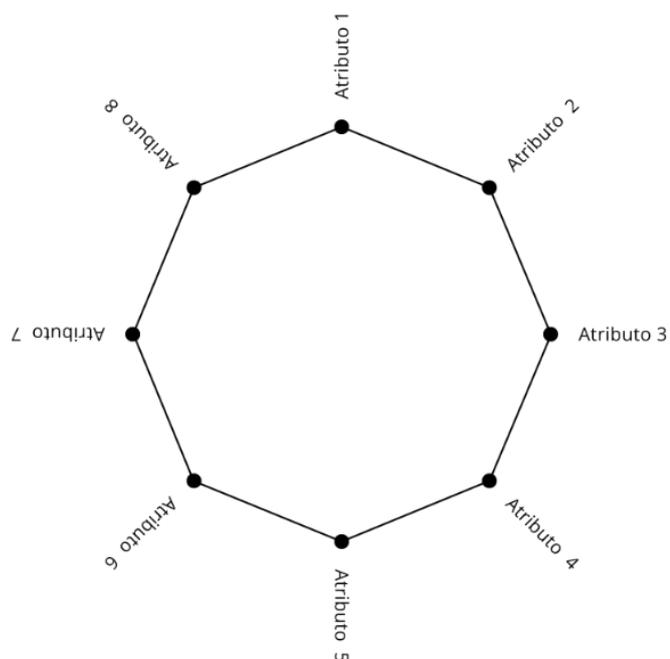
Na figura (34) é demonstrada a organização visual da técnica de análise morfológica de PSN: as vistas laterais (caso as laterais sejam idênticas, não é necessária a visualização de ambas), a vista frontal e a superior.

Figura 34 – Vistas da Técnica de Análise Morfológica de PSN.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35 – Diagrama da Técnica de Análise Morfológica de PSN.



Fonte: Elaborado pelo autor.

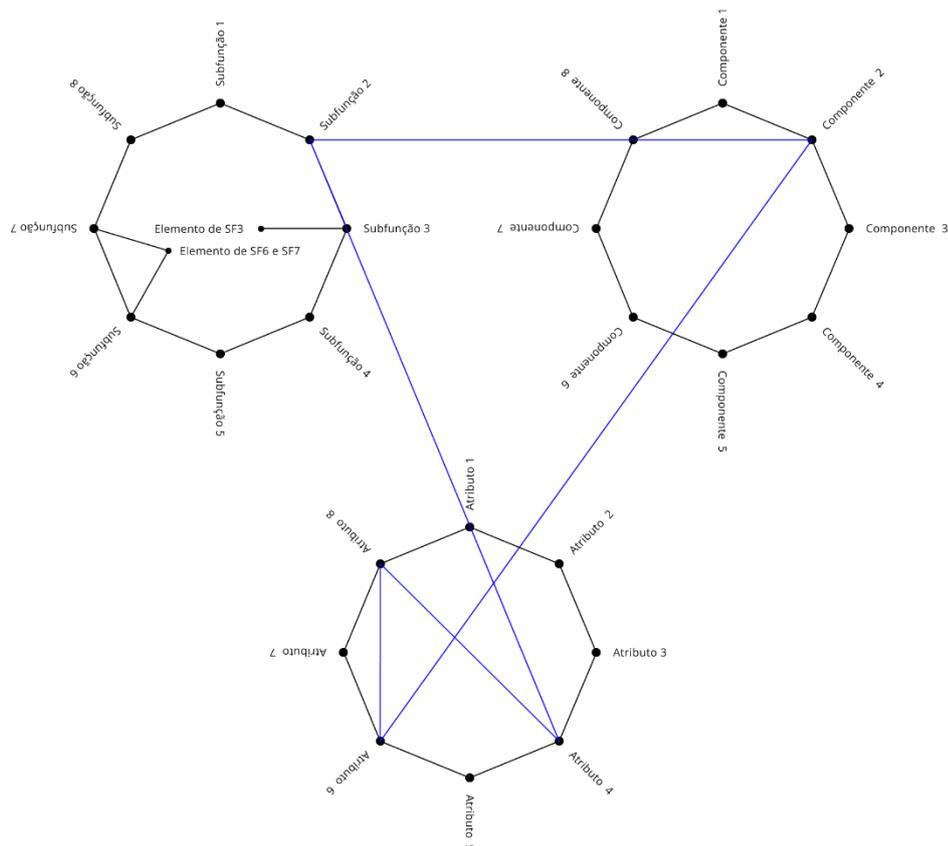
Já a figura (35) mostra o diagrama em rede com os atributos extraídos da técnica de análise morfológica.

### 7.1.5 Lógica para relacionar os resultados das técnicas

O porquê da escolha de utilizar redes como esquema para os diagramas é justamente a possibilidade de relacionar os elementos. Abaixo é mostrada a construção das relações entre os resultados das técnicas:

1. Dispor os diagramas das três técnicas;
2. Fazer conexões entre os elementos das técnicas.

Figura 36 – Diagrama Geral das Técnicas de Análise de PSN.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura (36) mostra o diagrama geral em rede das técnicas de análise de PSN. Os resultados da técnica funcional, estrutural e morfológica foram dispostos e

relacionados. É possível ver que a subfunção 2 tem relação com o componente 2 e com os atributos 4, 6 e 8.

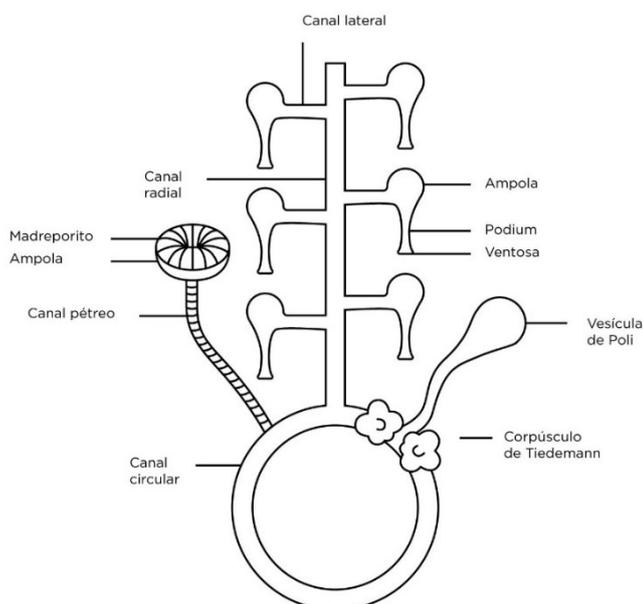
É interessante seguir uma sequência; primeiro, a subfunção 1 se relaciona com pelo menos um componente e com um atributo no mínimo. É muito importante estabelecer as relações e compreender os processos de forma macro, para, assim, obter-se uma visão sistêmica.

## 7.2 Testes das Técnicas de Análise de PSN

Essa etapa compreende as etapas de desenvolvimento: (c) **testes**, para experimentar a lógica e as estruturas esboçadas; (d) **refinamento do artefato**, em que são feitos os ajustes necessários.

Para a realização dos testes das técnicas de análise de princípio de solução da natureza, foi escolhido um PSN a fim de testar a eficiência das lógicas criadas.

Figura 37 - Desenho esquemático do sistema ambulacrário de uma estrela-do-mar.



Fonte: Adaptado de HICKMAN *et al.* (2016).

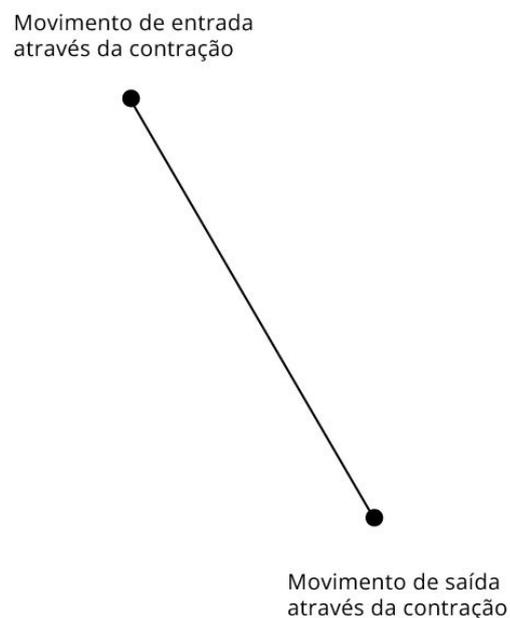
A escolha do PSN foi feita a partir de informações retiradas do repositório BIOsign e são apresentadas no quadro (9). O princípio escolhido foi um princípio de locomoção, em específico o mecanismo presente nos equinodermos. As estrelas-do-

mar se locomovem por meio líquido utilizando pés-ambulacrais. Os pés-ambulacrais são uma parte do sistema hidrovascular desses organismos, como é mostrado na figura (37). O sistema ambulacrário é uma rede de canais que, quando preenchidos de água, promovem o movimento dos pés-ambulacrais. A entrada de água ocorre na placa madreporita que fica no dorso do animal, assim a água tem acesso aos canais pétreos, circular (centro do corpo) e radiais, onde a água acessa as extremidades do corpo, promovendo assim uma variação de pressão que leva à contração dos pés-ambulacrais. Como o foco é compreender o princípio de locomoção em si, somente o funcionamento dessa parte do sistema será analisada.

### Análise Funcional

Aqui será demonstrada como a função principal de locomoção ocorre através de outras subfunções extremamente importantes.

Figura 38 - Diagrama da função de locomoção dos pés-ambulacrais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

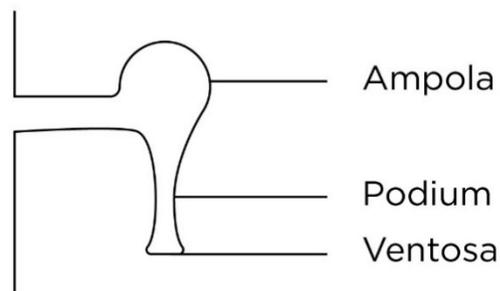
A função principal do mecanismo é a locomoção e as subfunções necessárias para a locomoção ocorrer são contrações em dois momentos: a primeira é quando, através da contração das ampolas musculares, ocorre o movimento de entrada da água

nos pés-ambulacrais; assim, eles são preenchidos e ficam eretos para que a ventosa se fixe no substrato. Já o segundo momento ocorre através da contração da musculatura dos pés-ambulacrais realizando um movimento de saída da água dos pés-ambulacrais, voltando novamente para ampola, permitindo que os pés se soltem do substrato. Assim acontece a locomoção dos equinodermos, através de duas subfunções de contração em diferentes regiões de musculatura. Na figura (38) é apresentado o diagrama dessa análise.

### **Análise Estrutural**

A Estrutura é composta pela ampola, podium e a ventosa, exatamente nessa sequência. O desenho esquemático da estrutura do mecanismo é representado pela figura (39).

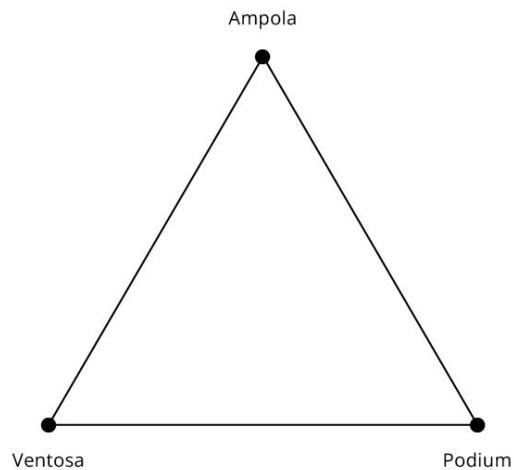
Figura 39 - Estrutura dos pés-ambulacrais.



Fonte: Adaptado de HICKMAN *et al* (2016).

O diagrama da análise da estrutura desse princípio é apresentado na figura (40). O diagrama tem formato triangular e sua ordem de sequência é no sentido horário.

Figura 40 - Diagrama da análise estrutural dos pés-ambulacrais.

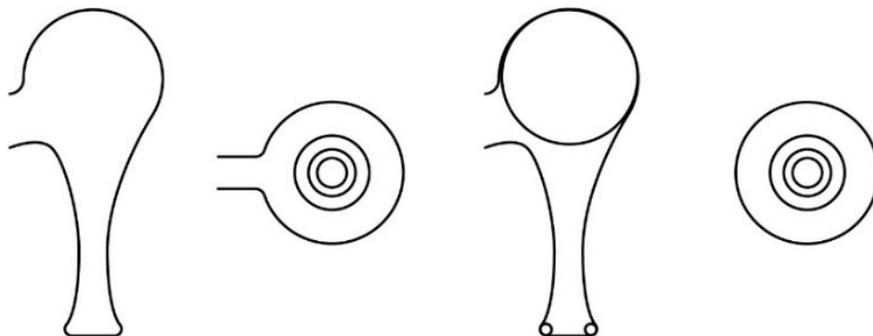


Fonte: Elaborado pelo autor.

### Análise Morfológica

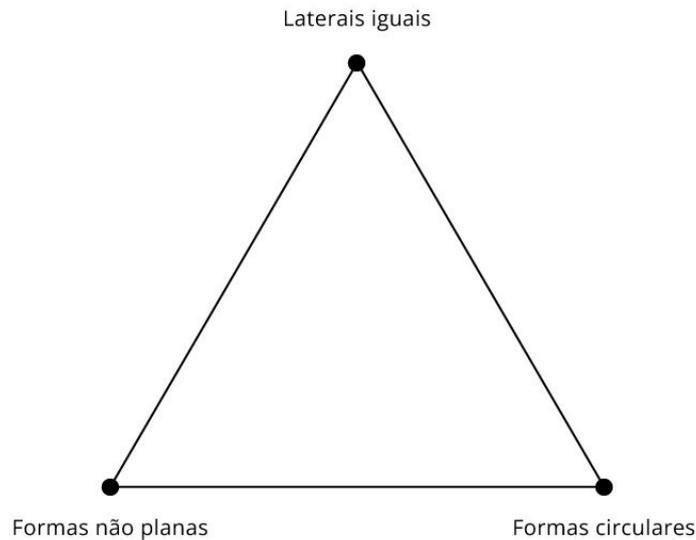
Abaixo é mostrada as vistas dos pés-ambulacrais e a geometrização dos elementos formais presentes no princípio de solução, na figura (41). Nota-se que são formas não planas e circulares e que todos as laterais são iguais. O diagrama da análise morfológica mostra exatamente as características percebidas, na figura (42).

Figura 41 - Vistas e geometrização dos pés-ambulacrais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 42 - Diagrama da análise morfológica dos pés-ambulacrais.

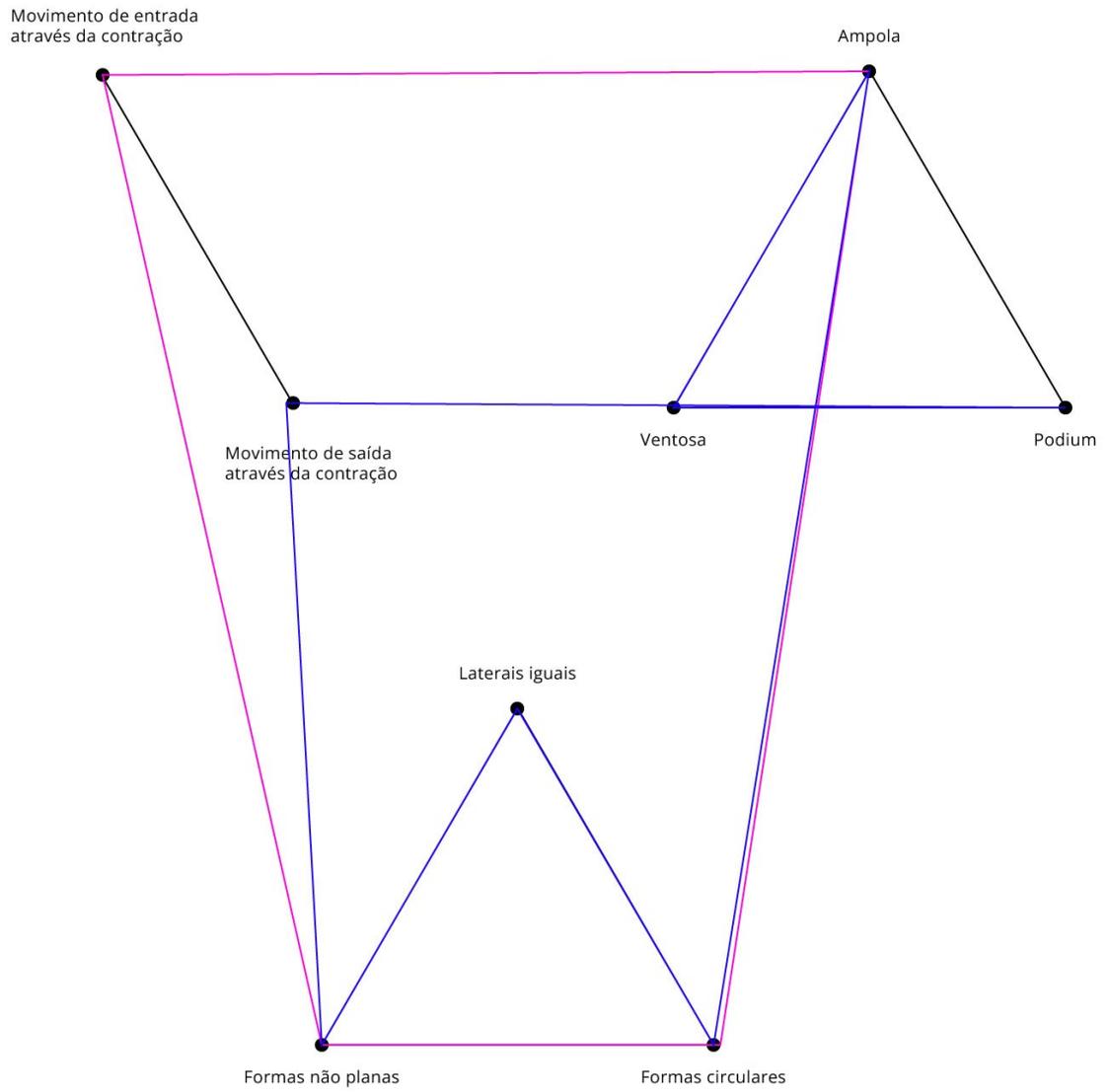


Fonte: Elaborado pelo autor.

### Diagrama geral das análises

Aqui é apresentado o diagrama geral das análises, ou seja, são dispostos os três diagramas e os elementos de cada um foram relacionados entre si, como é mostrado na figura (43). É possível visualizar no diagrama geral que o movimento de entrada através da contração do diagrama de função se relaciona com a ampola do diagrama de estrutura e com as formas circulares e não planas do diagrama de morfologia. Já o movimento de saída (através da contração dos pés em si) no diagrama de função se relaciona com o podium e a ventosa, e por último, a ampola do diagrama estrutural se relaciona com todos elementos do diagrama da análise morfológica. Assim, existem duas linhas: uma rosa, representando o primeiro movimento e uma roxa, representando o segundo movimento, o que ocasiona a locomoção dos equinodermos.

Figura 43 - Diagrama geral das análises dos pés-ambulacrais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro (9) – Princípio de solução da natureza apresentado de acordo com a taxonomia proposta por Detanico (2011).

AÇÃO	OBJETO DA AÇÃO	MEIO	TEMPO	DISPOSITIVO	PRINCÍPIO FÍSICO	EXEMPLO
Transladar	Corpo	Líquido	X	Pés Ambulacrais - pequenos túbulos com ventosas/ampolas musculares	Quando as ampolas musculares contraem-se, forçam a entrada de água para o interior dos pés ambulacrários. Eles então se tornam eretos em função da força da água, ajudando a ventosa a fixar-se no substrato. Após algum momento, ocorre a contração da musculatura dos pés e a água volta para o interior da ampola, que está agora relaxada. Isso permite que os pés se soltem do substrato e que ocorra a locomoção. Parte da água que chega aos pés ambulacrários perde-se através da parede dessas estruturas. Sendo assim, é fundamental que ocorra sempre a entrada de água nesse sistema.	Equinodermos (estrelas do mar)

Fonte: Adaptado de DETANICO (2021).

## **8. Avaliação**

A avaliação da pesquisa ocorre de acordo com o atendimento dos requisitos do artefato apresentados no item 6.2 deste estudo. A seguir são elencados os requisitos de projeto:

**Linguagem projetual:** Os métodos devem possuir uma linguagem voltada para projeto de design, a fim de facilitar a aplicação dos PSN no processo de desenvolvimento de produto. Esse requisito é muito importante pois ele está relacionado de forma direta com a lacuna que esse trabalho pretende preencher.

**Fácil compreensão:** Devem ser de fácil compreensão e assimilação dos resultados, pois assim qualquer projetista conseguirá aplicar os métodos de forma eficiente.

**Fácil aplicação:** Deve ser possível a sua aplicação em qualquer cenário e de maneira simples, a fim de facilitar a absorção do conteúdo.

**Estrutura Visível:** Ter uma estrutura visível (a fim de facilitar a compreensão dos resultados). Essa estrutura pode ser um diagrama, uma matriz, etc.

**Forma e Função:** Devem analisar forma e função, os quais são fundamentos básicos do design, engenharia, arquitetura e outras áreas de projeto.

**Desenho:** Deve propor ao projetista que desenhe princípio, a fim de estimular a capacidade motora, facilitando a compreensão da forma do PSN, com o objetivo de ajudar na geração de ideias.

**Informação:** Deve proporcionar a organização de conteúdo informacional favorecendo a interpretação e compreensão dos resultados.

**Relacionar resultados:** Os resultados das três técnicas devem ser possíveis de serem relacionados entre si a fim de ressaltar estruturas micro e macro.

No quadro (10) é apresentada a relação de quais requisitos foram atendidos ou não. Os requisitos atendidos estão sinalizados na coluna “CUMPRE” com ou “NÃO CUMPRE”.

Quadro (10) – Avaliação do artefato segundo os requisitos de projeto.

REQUISITOS	CUMPRE
Linguagem projetual	CUMPRE
Fácil compreensão	CUMPRE
Fácil aplicação	CUMPRE
Estrutura visível	CUMPRE
Forma e Função	CUMPRE
Desenho	CUMPRE
Informação	CUMPRE
Relacionar resultados	CUMPRE

Fonte: Elaborado pelo autor.

O primeiro requisito (linguagem projetual) foi atendido, já que as técnicas seguem os parâmetros das técnicas de análise de produtos. A fácil compreensão das técnicas também foi atendida, afinal a sequência lógica facilita o entendimento do processo de construção. A aplicação é rápida, fácil e efetiva, já que são esquemas simples de construção. As três técnicas possuem estruturas visíveis, sendo essas estruturas os diagramas de redes e organização de vistas da morfológica. Elas favorecem a forma e função, já que são técnicas que analisam função, estrutura e forma. O desenho é encorajado para visualizar as informações e facilitar a esquematização das conexões entre informações. O conteúdo informacional é organizado através dos diagramas de redes. Os resultados das três técnicas — funcional, estrutural e morfológica — são relacionáveis devido ao conceito de redes que favorece a conexão de informações, sequenciação e hierarquização.

## **9. Considerações Finais**

O encerramento do presente estudo é apresentado neste capítulo e está organizado em três partes. O item 9.1 apresenta os apontamentos dos resultados obtidos, o que foi bem sucedido e o que não foi atendido. Já o item 9.2 traz a conclusão da pesquisa, verificando a confirmação da hipótese (item 1.4) e se os objetivos propostos no item 1.5. foram atendidos. A generalização para uma classe de problemas está no item 9.3 e as sugestões para trabalhos futuros é mostrada no item 9.4.

### **9.1 Resultados**

Este item tem como objetivo dissertar quanto aos sucessos e insucessos do presente estudo, bem como ponderar quanto aos resultados obtidos.

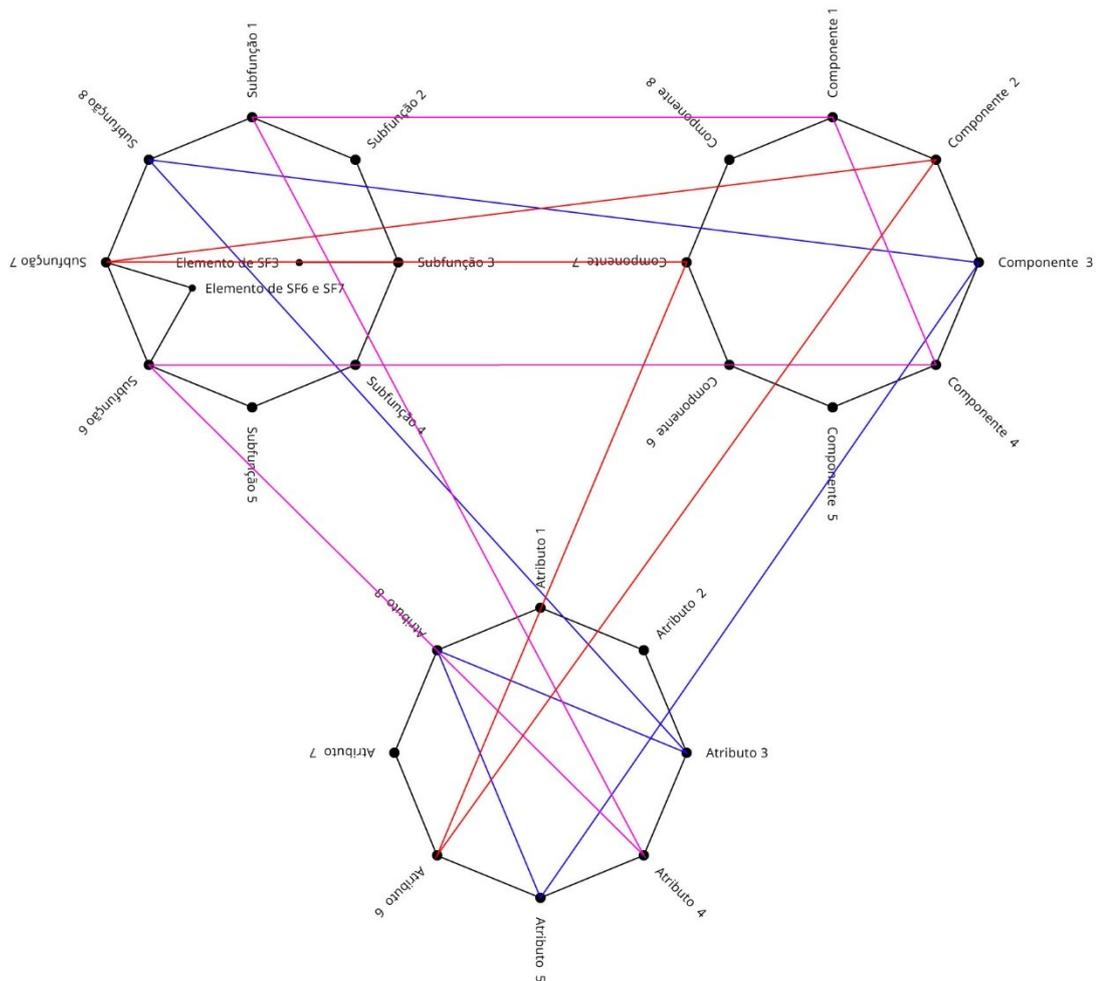
Detanico (2021) destacou como lacuna de pesquisa a dificuldade dos projetistas em relacionar as estratégias biológicas para aplicar no design. A pesquisadora então propôs uma taxonomia para os princípios de solução (DETANICO, 2011) e repositório de princípios de solução da natureza e um método, o BIOsign (DETANICO, 2021).

A fim de reforçar o preenchimento da lacuna trazida por Detanico (2021) de falta de métodos de análise de princípios de solução da natureza para projetistas, foi proposta a estruturação da etapa de aprofundamento do PSN presente no método BIOsign e criação de três técnicas de análise de princípios de solução da natureza. O atendimento dessa lacuna pode ser apontado como um sucesso da pesquisa, afinal, as técnicas possuem linguagem projetual que auxilia na compreensão das estratégias biológicas.

Uma questão que reforça o sucesso do suprimento da lacuna acima é a possibilidade de relacionar os atributos presentes nas técnicas. O diagrama de rede facilita a conexão entre os elementos, favorecendo com que o projetista visualize e compreenda as relações da informação, figura (44). O fato da rede ter fundamentação em estratégias biológicas reforça o compromisso do trabalho em ser biomimético até mesmo na solução proposta.

Outro fator é a possibilidade de uma rede dialogar com a outra, sendo um sistema de redes (CAPRA, 2018). Assim, é possível relacionar as informações das três técnicas de análise de PSN — funcional, estrutural e morfológica —, de forma que o projetista tenha uma visão não só micro, mas macro e sistêmica do PSN, como mostrado na figura (44).

Figura 44 - Diagrama de um sistema de rede das três técnicas de análise de PSN.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 9.2 Conclusões

Visando atender ao problema de como a seleção e decodificação de princípios de solução da natureza pode influenciar o processo criativo de geração de alternativas de produtos de design através da hipótese de utilização de técnicas de análise para

decodificação de princípios de solução da natureza pode tornar o processo mais assertivo e promover maior fluência criativa na geração de alternativas de projetos de design, foi proposto como objetivo geral desenvolver técnicas de análise de princípios de solução da natureza para potencializar o processo criativo de geração de alternativas de projetos de design. Para cumprimento do objetivo geral foram propostos objetivos específicos.

A (I) identificação de quais etapas do processo criativo são determinantes para a utilização de princípios de solução da natureza e a (II) compreensão da estrutura desses mecanismos e consequente análise de quais pontos podem ser aplicados para auxiliar o pensamento criativo foram realizadas através da revisão sistemática de literatura (capítulo 5) e do estudo do processo criativo de design (capítulo 2).

A investigação das características das técnicas de análise de produtos e geração de alternativas em relação aos aspectos que favorecem a utilização de PSN (III) foi apresentada no capítulo 3, satisfazendo assim a questão de trazer a linguagem projetual para o estudo.

O (IV) desenvolvimento de técnicas que auxiliem na decodificação de princípios de solução da natureza no processo projetual foi mostrado no capítulo 7. Essas técnicas e a possibilidade de relacioná-las contribuiu para suprir a lacuna da pesquisa.

Já a (V) avaliação das técnicas desenvolvidas a fim verificar sua eficiência na decodificação dos princípios de solução da natureza foi apresentada no capítulo 8, mostrando o sucesso da pesquisa em cumprir com todos os requisitos de projeto.

Com o atendimento de todos os objetivos específicos, se conclui que o objetivo geral foi atendido, assim como a hipótese para o problema foi comprovada.

A comunicação dos resultados dessa pesquisa, além da própria dissertação, pode ser realizada através de publicações parciais futuras, compartilhando o conteúdo gerado em artigos específicos, tais como:

- Artigo explicando a estruturação da fase de análise de princípio de solução da natureza no método BIOsign;

- Artigo explicando o desenvolvimento da lógica das técnicas de análise de princípios de solução da natureza — funcional, estrutural e morfológica — através do uso de diagramas de rede.

Levando em consideração que a natureza pode prover de estratégias criativas para problemas humanos (BENYUS, 2003), a utilização do método repositório e método BIoSign (DETANICO, 2021) somado ao uso das técnicas de análise de PSN apresentadas nesse estudo podem ser decisivas para a geração de projetos inovadores e sustentáveis.

### **9.3 Generalização para uma classe de problemas**

A metodologia *Design Science Research* recomenda a indicação de onde e como o artefato pode atuar. A classe de problemas foi definida no capítulo 6 desta pesquisa, sendo a análise de princípios de solução da natureza uma parte da etapa informacional de projeto extremamente importante para compreender os cenários e gerar soluções eficientes. Para Dresch, Lacerda e Júnior (2014), as classes permitem que o conhecimento gerado possa ser disseminado e acessado por outros pesquisadores.

As técnicas propostas podem ser utilizadas na indústria, em núcleos de pesquisa, escritório de projeto, em sala de aula e de forma individual ou em grupos. O resultado consiste em analisar o funcionamento de sistemas, relacionar informações, estimular a criatividade e facilitar a analogia com sistemas biológicos.

### **9.4 Sugestões para trabalhos futuros**

O desenvolvimento deste estudo revelou alguns aspectos que podem ser investigados com maior profundidade, tais como: o desenvolvimento de uma plataforma digital de acesso livre que contenha o repositório e método BIoSign, assim como as técnicas de análise de PSN de forma interativa, em que o usuário possa construir seus diagramas e compreender mais sobre os princípios de solução da natureza; o desenvolvimento de técnicas específicas para geração de alternativas inspiradas em estratégias biológicas; o uso de PSN em projetos de logística reversa. Também seria interessante a realização de estudos com grupos de pesquisadores e projetistas, visando uma melhor avaliação das técnicas de análise de PSN.

## Referências

- ALENCAR, Eunice S. **O Processo da Criatividade**. São Paulo: Markron Books, 2000.
- ARCHER, L. Bruce. **Systematic Method for Designers**. London: The Design Council, 1966.
- BAXTER, Mike. **PROJETO DE PRODUTO: Guia prático para o design de novos produtos**. 2ª Edição. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
- BENYUS, J. **Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza**. São Paulo: Cultrix, 2003.
- BONFIM, Gustavo A. *et al.* **Fundamentos de Uma Metodologia para Desenvolvimento de Produtos**. Rio de Janeiro: COPPE/URF, 1977.
- BONSIEPE, Gui. **Teoría y Práctica Del Deseño Industrial**. Barcelona: Gustavo Gili, 2078.
- BONSIEPE, Gui. **Design Cultura e Sociedade**. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.
- BONSIEPE, Gui.; KELLNER, Petra; POESSNECKER, Holger. **Metodologia Experimental: desenho industrial**. Brasília: CNPq, 1984.
- BONSIEPE, Gui. **Vivisseccção do desenho industrial**. Rio de Janeiro: PUC-RJ, s/d.
- BRITO, Andréia Bordini. **Ampliação do vocabulário em Desenho Industrial: considerações para o projeto de produto**. Santa Maria: PPGEP ,2004.
- BROD JR, M. **Desenho-de-embalagem: o projeto mediado por parâmetros ecológicos**. 2004. 211 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.
- BÜRDEK, B. E. **Diseño: história, teoria y práctica del diseño industrial**. Barcelona: Gustavo Gili, 1994.

CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. 15. Ed. São Paulo: Cultrix, 2018.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e Terra, 2009.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede**. 19. Ed. Rio de Janeiro; São Paulo: Paz e Terra, 2018.

CHIAPINOTTO, Liana Lorenzoni. **Cenários de design: a construção de visões de futuros a partir de redes e sistemas**. 2020. 202 f. Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós- Graduação em Design, 2020.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática**: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, [s. l.], v. 8, p. 12, 2011.

CROWFORD, Robert P. **The Techniques of Creative Thinking**. Burlington: Fraser, 1984.

DETANICO, F. B. **MÉTODO E REPOSITÓRIO BIOSIGN: SISTEMATIZAÇÃO BIOMIMÉTICA PARA APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**. 2021. - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2021.

DETANICO, F. B. **SISTEMATIZAÇÃO DE PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA NATUREZA PARA APLICAÇÃO NO PROCESSO CRIATIVO DO PROJETO DE PRODUTOS**. 2011. - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2011.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR., J. A. V. **Design Science Research**: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DREYFUSS, Henry. **Designing for People**. New York: Simon and Schuster, 1955.

DUALIBI, R; SIMONSEN Jr., H. **Criatividade**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil/Abril Cultural, 1971.

GOMES, Luiz V. **Criatividade e Design**. Porto Alegre, sCHDs, 2011.

GOMES, Luiz Vidal Negreiros. MEDEIROS, Ligia. BROD, Marcos. **A Canção Do Limão: 30 Juicy Salif / 48 Led Zeppelin**. Curitiba: Kotter, 2018.

GOMES, L. V. N.; BROD JÚNIOR, M. **Logogramas - Desenho para projeto**. 1. ed. Porto Alegre: Editora sCHDs, 2008. v. 500. 32p.

GOEL, A. K. *et al.* **An information-processing account of creative analogies in biologically inspired design**. *In: THE 8TH ACM CONFERENCE, 2011, Atlanta, Georgia, USA. Proceedings of the 8th ACM conference on Creativity and cognition - C&C '11*. Atlanta, Georgia, USA: ACM Press, 2011. p. 71–80. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2069618.2069632>. Acesso em: 05 set. 2021.

GOEL, A. K. *et al.* **Cognitive, collaborative, conceptual and creative** — Four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: A study in biologically inspired design. *Computer-Aided Design*, [s. l.], v. 44, n. 10, p. 879–900, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2011.03.010>

GOEL, A. K. *et al.* **Information-Processing Theories of Biologically Inspired Design**. *In: MCADAMS, D. A.; STONE, R. B. (org.). Biologically inspired design: computational methods and tools*. London; New York: Springer, 2014.

GORDON, W. J. **Synetics**. New York: Harper and Row, 1961.

HAEFELE, J. W. **Creativity and Innovation**. New York: Reinhold Publishing, 1962.

HELMS, M.; VATTAM, S. S.; GOEL, A. K. **Biologically inspired design**: process and products. *Design Studies*, [s. l.], v. 30, n. 5, p. 606–622, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.04.003>

Hickman, C.P., Roberts, L.S. and Keen, S.L. **Princípios integrados de zoologia**. Barueri: Grupo Gen-Guanabara Koogan, 2016.

HORLLE, Fernando Guimarães. **Cenários de design orientados por redes: abrindo caminhos metodológicos pela análise visual** / por Fernando Guimarães Horlle. – 2022.149 f. Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, RS, 2022.

JONES, Chistopher. **Métodos de diseño**. Barcelona: Gustavo Gili, 1978.

LOBACH, Bernd. **Design Industrial: Bases para a configuração dos produtos industriais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

MANCUSO, Stefano. **Revolução das plantas**: um novo modelo para o futuro. São Paulo: Ubu, 2019.

MAK, T. W.; SHU, L. H. **USE OF BIOLOGICAL PHENOMENA IN DESIGN BY ANALOGY**. *In*: ASME 2004 DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE, 2004, Salt Lake City, Utah USA. Proceedings of DETC '04. Salt Lake City, Utah USA: [s. n.], 2004. p. 10.

MONTENEGRO, Gildo A. **A Invenção do Projeto – A Criatividade Aplicada em Desenho Industrial, Arquitetura, Comunicação Visual**. Lisboa: Edgard Blücher, 1987.

MEDEIROS, Ligia. **Desenhística - A arte de projetar desenhando**. 1. ed. Santa Maria: SCHDS, 2004.

MUNARI, Bruno. **Das Coisas Nascem Coisas**. Lisboa: Edições 70, 1981.

MUNARI, Bruno. **Design e Comunicação Visual**. São paulo: Martins Fontes, 2006.

NAGEL, J. K. Systematic Design of Biologically-Inspired Engineering Solutions. 273 f. 2010.  
- Oregon State University, [s. l.], 2010.

NAGEL, J. K. S. **A Thesaurus for Bioinspired Engineering Design**. In: GOEL, A. K.;  
MCADAMS, D. A.; STONE, R. B. (org.). Biologically Inspired Design. London: Springer-  
Verlag London, 2014. p. 63–94.

NAGEL, J. K. S. *et al.* **Function-based, biologically inspired concept generation**. Artificial  
Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 521–  
535, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060410000375>

NAGEL, J. K. S.; STONE, R. B.; MCADAMS, D. A. **An Engineering-to-Biology Thesaurus for  
Engineering Design**. In: INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL  
CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE,  
2010, Montreal, Quebec, Canada. 22nd International Conference on Design Theory and  
Methodology; Special Conference on Mechanical Vibration and Noise. Montreal, Quebec,  
Canada: ASME, 2010. p. 117–128. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/DETC2010-28233>. Acesso em: 20 set. 2021.

OSBORN, Alex F. **O Poder Criador da Mente**. São Paulo: Ibrasa, 1975.

OSTROWER, Fayga. **O Criatividade e Processos de Criação**. São Paulo: Imago, 1977.

PAZMINO, Ana Veronica. **COMO SE CRIA: 40 MÉTODOS PARA DESIGN DE PRODUTOS**.  
São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

PEREIRA, P. Z. **O PENSAMENTO CRIATIVO NO PROCESSO PROJÉTUAL**: Proposta de um framework para auxiliar a criatividade em grupos de design. 2016. - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do Trabalho Científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2a edição. Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul - Brasil: [s. n.], 2013.

SHU, L. H. A natural-language approach to biomimetic design. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 507–519, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060410000363>

SHU, L. H. *et al.* Biologically inspired design. *CIRP Annals*, [s. l.], v. 60, n. 2, p. 673–693, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.06.001>

SHU, L. H.; CHIU, I. Biomimetic design through natural language analysis to facilitate cross-domain information retrieval. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 45–59, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060407070138>

TSCHIMMEL, K. C. **A new discipline in design education**: cognitive process in design. International Engineering and Product Design Education Conference, Delft, Holanda, 2004.

TSCHIMMEL, K. C. **Design as a Perception-in-Action process**. In: TAURA, T.; NAGAI, Y (Eds). *Design Creativity 2010*. London: Springer, 2011a.

TSCHIMMEL, K. C. **Processos criativos: a emergência de ideias na perspectiva sistêmica da criatividade**. Porto: Edições ESAD, Escola Superior de Artes e Design, 2011b.

TSCHIMMEL, K. C. **Sapiens e Demens no pensamento criativo do design**. Tese (Doutorado em Design) – Universidade de Aveiro, Departamento de Comunicação e Arte, Aveiro, 2010.

VAKILI, V.; SHU, L. H. **TOWARDS BIOMIMETIC CONCEPT GENERATION**. *In: , 2001, Pittsburgh, Pennsylvania. Proceedings of DETC'01 ASME 2001 Design Engineering Technical Conferences Design Theory and Methodology. Pittsburgh, Pennsylvania: [s. n.], 2001. p. 9.*

VATTAM, S. S.; GOEL, A. K. **Biological Solutions for Engineering Problems: A Study in Cross-Domain Textual Case-Based Reasoning**. *In: DELANY, S. J.; ONTAÑÓN, S. (org.). Case-based reasoning research and development: 21st International Conference, ICCBR 2013, Saratoga Springs, NY, USA, July 8-11, 2013: proceedings. Berlin; New York: Springer, 2013. (Lecture notes in artificial intelligence, v. 7969). p. 343–357.*

VATTAM, S. S.; GOEL, A. K. **Semantically annotating research articles for interdisciplinary design**. *In: THE SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE, 2011, Banff, Alberta, Canada. Proceedings of the sixth international conference on Knowledge capture - K-CAP '11. Banff, Alberta, Canada: ACM Press, 2011. p. 165. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1999676.1999707>. Acesso em: 10 set. 2021.*

VINCENT, J. F. V. *et al.* **Putting Biology into TRIZ: A Database of Biological Effects**. *Creativity and Innovation Management, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 66–72, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1476-8691.2005.00326.x>*

WAHL, D. C. **Bionics vs. biomimicry: from control of nature to sustainable participation in nature**. *In: COMPARING DESIGN IN NATURE WITH SCIENCE AND ENGINEERING 2006, 2006, The New Forest, UK. Design and Nature III: Comparing Design in Nature with Science and Engineering. The New Forest, UK: WIT Press, 2006. p. 289–298. Disponível em: <https://doi.org/10.2495/DN060281>. Acesso em: 15 set. 2021.*

WONG, Wucius. **Princípios de Forma e Desenho**. São Paulo:  
Martins Fontes, 2001.