



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO E DESIGN
GRADUAÇÃO EM DESIGN**

VITORIA FERREIRA TAVORA

**DESIGN ESPECULATIVO E BIOMIMÉTICA: CONCEITO DE UM OBJETO
POLINIZADOR PARA UM CENÁRIO DE COLAPSO AMBIENTAL**

FORTALEZA

2026

VITORIA FERREIRA TAVORA

DESIGN ESPECULATIVO E BIOMIMÉTICA: CONCEITO DE UM OBJETO
POLINIZADOR PARA UM CENÁRIO DE COLAPSO AMBIENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Design do
Instituto de Arquitetura e Urbanismo e
Design da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do título
de Bacharel em Design.

Orientador: Prof. Dr. Emílio Augusto
Gomes de Oliveira

FORTALEZA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

T237d Tavora, Vitoria Ferreira.

Design especulativo e biomimética: Conceito de um objeto polinizador para um cenário de colapso ambiental / Vitoria Ferreira Tavora. – 2026.

91 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Arquitetura e Urbanismo e Design, Curso de Design, Fortaleza, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Emílio Augusto Gomes de Oliveira.

1. Design especulativo. 2. Biomimética. 3. Polinização. 4. Design fiction. I. Título.

CDD 658.575

VITORIA FERREIRA TAVORA

DESIGN ESPECULATIVO E BIOMIMÉTICA: CONCEITO DE UM OBJETO
POLINIZADOR PARA UM CENÁRIO DE COLAPSO AMBIENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Design do
Instituto de Arquitetura e Urbanismo e
Design da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do título
de Bacharel em Design.

Aprovada em: ___/___/___.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Emílio Augusto Gomes de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Me. Lia Alcântara Rodrigues
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Roberto Cesar Cavalcante Vieira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Ma. Lya Brasil Calvet
(Membro externo)

RESUMO

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um artefato biomimético, inserido em um cenário especulativo de colapso ecológico, causado pelo desaparecimento dos polinizadores naturais. A pesquisa tem como finalidade refletir sobre o papel do design diante das crises ambientais e explorar caminhos projetuais sustentáveis inspirados pela natureza. Para isso, adota uma adaptação dos métodos *Biomimicry Thinking* e *Design Fiction*. O processo metodológico é dividido em etapas que envolvem a definição do tema crítico, construção de um mundo especulativo plausível (*worldbuilding*), análise de projetos biomiméticos similares e aplicação de estratégias biológicas inspiradas em agentes polinizadores, especialmente abelhas. Como resultado, será elaborada uma narrativa especulativa, composta por um prólogo, uma linha do tempo (2025 a 2105) e documentação gráfica, para ambientar o artefato conceitual (*diegetic prototypes*), projetado com funcionalidade de vibração polinizadora. Conclui-se que o design pode atuar como agente criativo, reflexivo e colaborativo na busca por futuros ecologicamente equilibrados, contribuindo para a regeneração dos ecossistemas e a importância da preservação da biodiversidade.

Palavras-chave: Design especulativo, biomimética, polinização, *design fiction*.

ABSTRACT

This study proposes the development of a biomimetic artifact set within a speculative scenario of ecological collapse caused by the disappearance of natural pollinators. The research aims to reflect on the role of design in the face of environmental crises and to explore sustainable design paths inspired by nature. To achieve this, it adopts an adaptation of the Biomimicry Thinking and Design Fiction methodologies. The methodological process is divided into stages involving the definition of a critical theme, the construction of a plausible speculative world (worldbuilding), the analysis of similar biomimetic projects, and the application of biological strategies inspired by pollinating agents, especially bees. As a result, a speculative narrative will be developed, consisting of a prologue, a timeline (2025 to 2105), and graphic documentation to contextualize the conceptual artifact (diegetic prototypes), designed with pollinating vibration functionality. The study concludes that design can act as a creative, reflective, and collaborative agent in the pursuit of ecologically balanced futures, contributing to ecosystem regeneration and highlighting the importance of biodiversity preservation.

Keywords: Speculative design, biomimicry, pollination, design fiction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	13
Figura 2 – Cone de Futuros Preferíveis.....	17
Figura 3 – Abordagens do design em relação às intenções e modos de atuação.....	18
Figura 4 – Foragers, Anthony Dunne e Fiona Raby, 2009.....	19
Figura 5 – Pôster do filme Blade Runner 2049, de 2017.....	20
Figura 6 – Capa da edição de 2014 de Admirável Mundo Novo.....	21
Figura 7 – Pôster da série Black Mirror, de 2011.....	22
Figura 8 – Framework do Método Biomimético.....	24
Figura 9 – Diagrama de DesignLens: Essential Elements.....	25
Figura 10 – Efeito hidrofóbico na pintura de fachadas.....	26
Figura 11 – Aparência do vidro ORNILUX.....	27
Figura 12 – Sistema Solar Ivy.....	28
Figura 13 – Esquema do fluxo de ventilação no Eastgate Center.....	28
Figura 14 – Visão microscópica de um carrapicho e velcro.....	29
Figura 15 – Metodologias da Biônica.....	30
Figura 16 – Benefícios dos polinizadores (FAO).....	32
Figura 17 – O parte à esquerda é a cesta de pólen (corbícula).....	34
Figura 18 – Escopa basitarsal na pata dianteira (Melissodes rivalis).....	34
Figura 19 – Clípeo de uma abelha fêmea.....	35
Figura 20 – Escopa basitarsal na pata dianteira.....	36
Figura 21 – Cabeça de uma fêmea de Agapostemon splendens.....	37
Figura 22 – Abelha-das-orquídeas da espécie Euglossa viridissima.....	38
Figura 23 – Diagrama de DesignLens: Biomimicry Thinking.....	40
Figura 24 – Detalhamento do módulo do Disco D'água Nucleário.....	47
Figura 25 – Processo de montagem do Disco D'água Nucleário.....	47
Figura 26 – Detalhamento do RoboBee.....	48
Figura 27 – Dispositivo Robee.....	50
Figura 28 – Painel de conceito do cenário caótico.....	53
Figura 29 – Painel público-alvo.....	54
Figura 30 – Painel de conceito do futuro preferível.....	54
Figura 31 – Representação gráfica da linha do tempo especulativa.....	56
Figura 32 – Relatório Ano IX em 2033.....	60
Figura 33 – Relatório Ano XLIV em 2068.....	62
Figura 34 – Relatório Ano LXV em 2085.....	63
Figura 35 – Relatório Ano LXI ambientado em 2085.....	64

Figura 36 – Painel de conceito.....	65
Figura 37 – Anotações das primeiras ideias.....	66
Figura 38 – Vista superior da Ideia I.....	67
Figura 39 – Vista lateral da Ideia I.....	68
Figura 40 – Vista superior do FloBorbo.....	69
Figura 41 – Vista lateral do FloBorbo.....	69
Figura 42 – Conjunto de sketches com replicação e montagem de peças.....	70
Figura 43 – Vista superior e referência principal do Spei Fuga.....	71
Figura 44 – Libélula, espécie Orthethrum.....	71
Figura 45 – Vista superior do primeiro sketch do VOOLEN.....	72
Figura 46 – Detalhamento visual do VOOLEN.....	72
Figura 47 – Modelo 3D do VOOLEN.....	75
Figura 48 – Renderização digital do VOOLEN.....	75
Figura 49 – Movimento das asas superiores do VOOLEN.....	76
Figura 50 – Interação do ser humano com o VOOLEN.....	76
Figura 51 – Posição dos componentes: Câmera, botão PUSH e painéis solares.....	77
Figura 52 – Vista superior do VOOLEN.....	79
Figura 53 – Vista explodida do VOOLEN.....	79
Figura 54 – Aplicação do VOOLEN em ambiente de atuação.....	80
Figura 55 – Relatório Ano LXXXI em 2105.....	81
Figura 56 – Aplicação do VOOLEN no futuro preferível.....	82
Figura 57 – Polinização por meio do VOOLEN em 2105.....	83
Figura 58 – Diagrama de DesignLens: Life's Principles.....	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estratégias biológicas das abelhas na polinização.....	38
Quadro 2 – Separação das fases da metodologia.....	41
Quadro 3 – Diagrama de Gantt.....	42
Quadro 4 – Tabela da Proposta de Valor.....	44
Quadro 5 – Síntese dos critérios de análise.....	45
Quadro 6 – Análise comparativa de similares (Parte 1).....	50
Quadro 7 – Análise comparativa de similares (Parte 2).....	51
Quadro 8 – Avaliação comparativa das propostas conceituais.....	73
Quadro 9 – Síntese de aspectos do VOOLEN.....	81
Quadro 10 – Avaliação do Artefato com os Princípios da Vida.....	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Árvore de problemas.....	14
Gráfico 2 – Níveis e subníveis da biomimética.....	26
Gráfico 3 – Diagrama de Ishikawa.....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Justificativa.....	10
1.2. Pergunta de pesquisa.....	10
1.3. Objetivos.....	11
1.3.1. <i>Objetivo geral</i>	11
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	11
2. CONTEXTUALIZAÇÃO	11
2.1. O desaparecimento dos polinizadores.....	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1. Design especulativo.....	15
3.1.1. <i>Design fiction</i>	19
3.2. Biomimética: A natureza como inspiração.....	22
3.2.1. <i>A diferença entre biônica e biomimética</i>	29
3.3. Polinização e a importância das abelhas.....	31
3.3.1. Estratégias biológicas.....	33
4. METODOLOGIA	39
4.1. Cronograma.....	41
5. DESENVOLVIMENTO	43
5.1. Fase 1: Imersão no projeto.....	43
5.1.1. <i>Escopo</i>	43
5.1.2. <i>Público-alvo</i>	43
5.1.3. <i>Proposta de valor</i>	44
5.1.4. <i>Análise de similares</i>	45
5.1.5. <i>Diretrizes projetuais</i>	51
5.2. Fase 2: Cenário.....	52
5.2.1. <i>Construção narrativa do cenário futuro</i>	55
5.2.2. <i>Linha do tempo especulativa (2025 a 2105)</i>	56
5.2.3. <i>Documentação especulativa</i>	58
5.3. Fase 3: Artefato.....	65
5.3.1. <i>Geração de ideias</i>	66
5.3.2. <i>Proposta escolhida: VOOLEN</i>	74
5.4. Fase 4: Avaliação com os Princípios da Vida.....	84
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
7. REFERÊNCIAS	88

1. INTRODUÇÃO

A crescente crise ambiental e a aceleração da perda de biodiversidade têm levantado questões urgentes sobre os limites do modelo de desenvolvimento vigente e os impactos das ações humanas sobre os ecossistemas. Dentre os diversos sinais de colapso, o desaparecimento de polinizadores naturais — como abelhas, borboletas e outros insetos — representa uma ameaça direta à segurança alimentar global, à preservação de espécies vegetais e ao equilíbrio ecológico do planeta. Estima-se que mais de 75% das culturas alimentares do mundo dependem, ao menos em parte, da polinização animal¹ (Nations, 2025), o que torna essa perda um fator crítico para a sobrevivência dos ecossistemas e da humanidade.

Nesse cenário, o campo do design é convocado a assumir um papel mais ativo e reflexivo, extrapolando os limites da funcionalidade tradicional para imaginar futuros alternativos, éticos e sustentáveis. Abordagens como o design especulativo e o design fiction oferecem metodologias capazes de projetar cenários possíveis e provocar debates críticos sobre os caminhos que estamos construindo como sociedade. Ao incorporar elementos ficcionais, narrativos e provocativos, essas abordagens permitem a materialização de artefatos e mundos futuros que questionam as implicações sociais, ecológicas e políticas do presente.

Ao mesmo tempo, a biomimética surge como uma estratégia projetual fundamentada na observação profunda da natureza, buscando inspiração em formas, processos e sistemas biológicos para desenvolver soluções regenerativas e resilientes. Dentro desse contexto, a biomimética não atua apenas como uma fonte de inovação técnica, mas como um convite à reconexão com a inteligência dos ecossistemas.

Esta pesquisa parte da intersecção entre esses três campos — design especulativo, design fiction e biomimética — para explorar como o design pode contribuir com narrativas críticas e soluções simbióticas diante do colapso ambiental. Por meio da construção de um cenário especulativo, propõe-se projetar um artefato físico inspirado na natureza, voltado à simulação de um agente polinizador, como resposta imaginativa e provocativa à crise da polinização.

¹ Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2025/05/1848611>

1.1. Justificativa

A presente pesquisa se justifica inicialmente pelo interesse da autora no gênero de ficção científica e suas vertentes fantásticas, que exploram futuros distópicos marcados pela busca humana por sobrevivência, ciência e recursos naturais. Durante o curso de Design da Universidade Federal do Ceará, tive oportunidade de participar do Programa de Iniciação à Docência (PID), como monitora na disciplina de Projeto Gráfico 3, onde pude aprofundar a compreensão sobre a metodologia do design especulativo.

A possibilidade de ampliar o repertório teórico e crítico acerca do papel do design na proposição de futuros possíveis, combinando com os conhecimentos obtidos sobre a biomimética, que se fez presente na disciplina optativa de Design e Natureza, se tornou aspiração para a intersecção entre design, natureza e tecnologia, promovendo a reflexão sobre como o ser humano poderia sobreviver, em um cenário catastrófico, por meio dos ensinamentos da natureza.

Além disso, a pesquisa responde à crescente instabilidade ambiental causada pela ação humana, evidenciada pelo esgotamento dos recursos naturais, perda de biodiversidade e mudanças climáticas. Ao longo do levantamento bibliográfico desta pesquisa, foi constatada a carência de trabalhos acadêmicos que agregam o design especulativo à biomimética, o que evidencia uma oportunidade de articular uma inovação conceitual, reforçando a relevância da abordagem interdisciplinar aplicada, ao mesmo tempo em que fortalece as possibilidades de atuação do design contemporâneo.

Em suma, por meio da criação de um cenário fictício, em que a polinização depende de dispositivos tecnológicos, este projeto busca fomentar a reflexão crítica sobre as consequências da intervenção humana nos ecossistemas naturais e sobre a viabilidade de soluções tecnológicas por meio do design, em contextos de crise ambiental.

1.2. Pergunta de pesquisa

Como o design biomimético pode atuar na projeção de um objeto físico, considerando um cenário especulativo de colapso ambiental, devido a ausência de polinização?

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo geral*

Projetar um artefato biomimético polinizador, inserido em um panorama futurista onde ocorre o desaparecimento de polinizadores naturais.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Pesquisar sobre os animais polinizadores existentes no planeta e a importância dos mesmos para a preservação da natureza;
- Aplicar a metodologia do design especulativo, para elaboração de um futuro alternativo com colapso ambiental, obtendo a necessidade de uma coexistência entre sistemas tecnológicos e ecológicos;
- Elaborar uma narrativa ficcional, pelo método *Design Fiction*, onde será apresentada a aplicação do objeto como agente inovador — no contexto de colapso ambiental — além de reforçar a compreensão sobre a possibilidade de um futuro sustentável;
- Analisar produtos biomiméticos, identificando seus princípios estéticos, funcionais e conceituais;
- Utilizar o método *Biomimicry Thinking*, por meio das fases operacionais, para entender como a natureza pode atuar na solução da problemática.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

A crescente ameaça ao equilíbrio ambiental tem se manifestado de forma alarmante na perda de biodiversidade, no avanço das mudanças climáticas e na degradação de processos ecológicos fundamentais, como a polinização. Esse processo é fundamental não apenas para a produção de alimentos, mas também para o equilíbrio das cadeias ecológicas, ameaçando a estabilidade dos ecossistemas e a subsistência humana. Nos capítulos seguintes, será apresentado e detalhado o processo de polinização, abordando sobre sua importância para o equilíbrio dos ecossistemas.

Diversos estudos apontam que polinizadores como abelhas, mariposas, borboletas, besouros, aves e morcegos são indispensáveis para a reprodução de milhares de espécies vegetais, impactando diretamente a segurança alimentar

global e a estabilidade dos ecossistemas. Como destaca a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO):

As abelhas e outros polinizadores, criaturas pequenas, trabalhadoras e aliadas valiosas para a saúde do planeta e para a vida dos seres humanos, desempenham um papel vital na manutenção dos ecossistemas. Elas são fundamentais para a produção de alimentos e meios de subsistência e ligam diretamente os ecossistemas selvagens aos sistemas de produção agrícola. (FAO, 2022)².

Um alerta divulgado em março de 2025 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) aponta que 2024 foi o ano mais quente desde o início dos registros há 175 anos, superando pela primeira vez o limiar de 1,5 °C de aquecimento global em relação ao período pré-industrial. O relatório também destaca que os impactos climáticos extremos — como secas, inundações, ciclones e ondas de calor — geraram o maior número de deslocamentos por eventos climáticos já registrados nos últimos 16 anos, além de provocar crises alimentares e devastadoras perdas econômicas. Esses efeitos evidenciam que "o planeta está emitindo mais sinais de socorro", nas palavras do secretário-geral António Guterres. (ONU, 2025)

Diante essa condição, em 2015 foram adotados os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como parte da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, representando um conjunto de 17 metas interdependentes que buscam orientar a humanidade rumo a um desenvolvimento equilibrado, inclusivo e sustentável, contemplando as dimensões social, econômica e ambiental. (ONU, 2024) Entre esses objetivos, destacam-se o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), que visa garantir segurança alimentar e promover práticas agrícolas regenerativas, e o ODS 15 (Vida Terrestre), que foca na proteção, restauração e uso sustentável dos ecossistemas terrestres, incluindo a preservação da biodiversidade.

² Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1529993>

Figura 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

Por conseguinte, torna-se necessário explorar alternativas que permitam refletir e projetar novas possibilidades de convivência entre sistemas naturais e artificiais. O desenvolvimento de tecnologias inspiradas na natureza, aliado a estratégias de conservação ambiental, é um caminho emergente para mitigar esses impactos. Nesse cenário, o design emerge como ferramenta de solução e proposição crítica. Este trabalho propõe a criação de um artefato biomimético especulativo, inserido em uma narrativa de futuro onde a polinização natural entra em colapso, com o objetivo de estimular o pensamento crítico e discutir caminhos possíveis para a relação entre seres humanos e meio ambiente.

2.1. O desaparecimento dos polinizadores

Abelhas, borboletas, vespas, mariposas, moscas, besouros e até vertebrados como morcegos, aves e pequenos mamíferos compõem a diversidade de agentes polinizadores, essenciais para a reprodução das plantas com flores. Esses organismos sustentam aproximadamente 35% da produtividade agrícola mundial, contribuindo com cerca de US\$ 54 bilhões anuais em serviços ecossistêmicos (FAO, 2023).

De acordo com o IPBES (2016), o declínio global dos polinizadores já afeta diretamente a estabilidade dos ecossistemas e a segurança alimentar,

configurando-se como um dos principais desafios socioambientais contemporâneos. A perda de habitats, o uso intensivo de pesticidas, a agricultura em larga escala, as mudanças climáticas e a disseminação de espécies invasoras compõem o conjunto de fatores que aceleram o declínio alarmante das populações polinizadoras.

Para visualizar de forma sintética a complexidade dessa problemática, foi elaborado um gráfico de árvore de problemas (Gráfico 1), ferramenta utilizada no reconhecimento de situações-problema. Essa ferramenta organiza logicamente os elementos de um problema central, identificando suas causas (raízes ou parte superior) e consequências (ramos ou parte inferior), o que permite compreender as relações de causa e efeito que sustentam uma situação crítica. No caso apresentado, a árvore de problemas evidencia os fatores ecológicos, sociais e econômicos associados ao desaparecimento dos polinizadores, reforçando a urgência de ações integradas.

Gráfico 1 – Árvore de problemas



Fonte: Elaborado pela autora

Essa conjuntura configura uma ameaça não apenas ambiental, mas também social e econômica, pois compromete a produção de alimentos e o equilíbrio dos ecossistemas. Reconhecendo essa urgência, a Organização das Nações Unidas declarou em 2022 o direito a um meio ambiente limpo, saudável e

sustentável como um direito humano universal e instituiu o Dia Mundial das Abelhas, comemorado em 20 de maio desde 2018, para ampliar a conscientização sobre a importância dos polinizadores. (United Nations, 2022; United Nations, 2017)

Diante desse cenário emergente, torna-se indispensável refletir sobre o papel do design na construção de futuros mais equilibrados. Para isso, a presente pesquisa fundamenta-se em abordagens que exploram a narrativa crítica, a inovação inspirada pela natureza e a especulação projetual. A seguir, são apresentados os principais conceitos que estruturam a base teórica deste trabalho, com foco no design especulativo, design fiction e biomimética.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico, serão abordados os principais conceitos que estruturam a base teórica da pesquisa: design especulativo, *design fiction* e biomimética. Essas abordagens orientam a construção de um artefato polinizador inspirado na natureza, inserido em um cenário futuro de colapso ambiental e desaparecimento de polinizadores naturais.

De acordo com Dunne e Raby (2013), o design especulativo é utilizado para projetar futuros alternativos que provoquem reflexão crítica, enquanto o *design fiction* contribui com narrativas que contextualizam o uso do artefato nesse futuro. Já a biomimética, aplicada por meio da metodologia *Biomimicry Thinking*, permite investigar estratégias da natureza para guiar o desenvolvimento do artefato, unindo função, estética e impacto ambiental.

Tais abordagens são fundamentais para a compreensão do papel do design diante de crises ambientais iminentes, como o desaparecimento dos polinizadores naturais, uma ameaça real à manutenção da biodiversidade e à segurança alimentar global.

3.1. Design especulativo

O termo “Design Especulativo” foi criado por Anthony Dunne e Fiona Raby, no livro *Speculative everything: Design, fiction and social dreaming* (2013) — com a denominação inicial de design crítico, sendo chamado de também critical

design, design futures e design fiction — tratando o design como agente propulsor de criações alternativas diante da realidade estabelecida.

A palavra “futuro” — que vem do latim *futurus*³ — significa “tempo que ainda há de vir; o porvir” (Michaelis, 2025). A criação de futuros possíveis, pelo design especulativo, abrange todo o espaço de tempo existente, desde as próximas horas até centenas de anos, com cenários que estimulam o debate, a reflexão crítica e a definição de rumos preferíveis. Segundo Dunne e Raby (2013), quando as pessoas pensam em design, surge o conceito de solução de problemas, não obstante, o design permite a especulação sobre como as coisas seriam passíveis de existir em um futuro indeterminado, ampliando a capacidade de imaginar outras realidades. Como afirmam Dunne e Raby:

Para nós, futuros não são um destino ou algo a ser alcançado, mas um meio para estimular o pensamento imaginativo — para especular com eles. Não apenas sobre o futuro, mas também sobre o presente, e é aí que eles se tornam uma forma de crítica, especialmente quando revelam limitações que podem ser superadas e afrouxam, mesmo que um pouco, o controle que a realidade exerce sobre nossa imaginação. (Dunne; Raby, 2013, p. 3, tradução nossa).

O design carrega uma potência especulativa ainda pouco explorada, como apontam Haldrup et al. (2015), ao destacarem sua capacidade de ir além da resolução de problemas imediatos, contribuindo para a construção de narrativas que questionam as estruturas vigentes da sociedade. Segundo os autores, o design pode ser entendido como um meio para imaginar “mundos futuros dentro do mundo existente”, introduzindo a noção de uma realidade assincrônica — em que o presente está permeado por múltiplos futuros possíveis, mesmo que invisíveis à primeira vista. Ao deslizar de um paradigma orientado à funcionalidade para um campo voltado à imaginação crítica, o design especulativo permite repensar normas, comportamentos e valores sociais.

Nesse contexto, Haldrup et al. (2015, p. 2) ressaltam que “os melhores casos de design especulativo fazem mais do que comunicar, eles sugerem possíveis usos, interações e comportamentos, nem sempre óbvios em uma rápida olhada”. O que se propõe, portanto, é uma mudança na prática projetual: abandona-se a

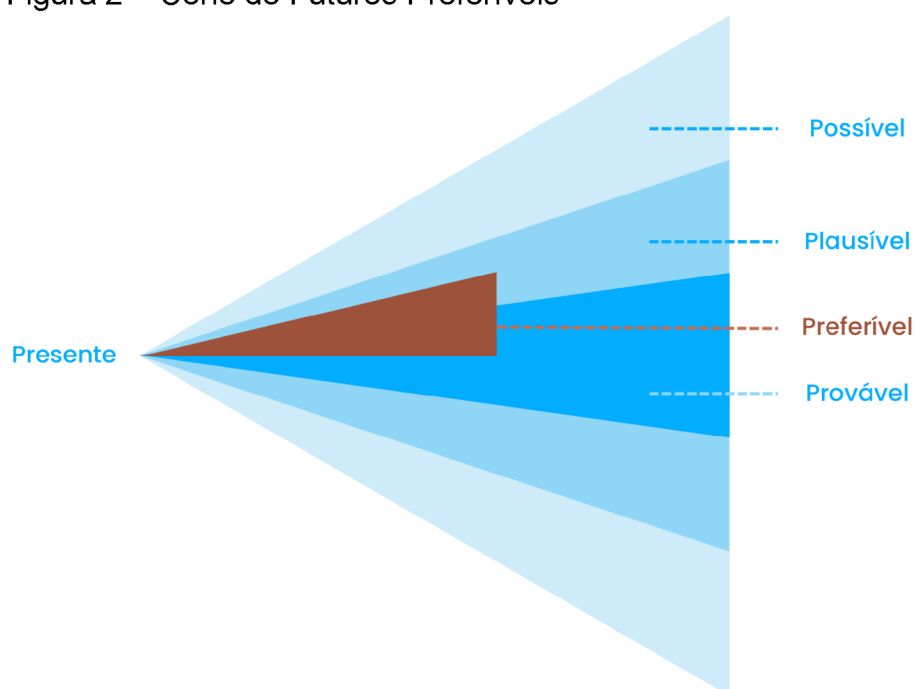
³ Fonte: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/futuro/>

pergunta “como?” em favor de “e se?”, deslocando o design de sua função tradicional para um campo de possibilidades conceituais que estimulam a imaginação e o pensamento crítico.

Sob essa perspectiva, Krippendorff (2000, p. 93) destaca que “a diferença entre escritores de ficção e designers é que as ficções dos designers devem ser realizáveis, devem introduzir mudanças em nossos mundos”. Assim, as abordagens do design crítico e especulativo buscam projetar futuros que, embora alternativos, permanecem ancorados no presente, mantendo conexões com os contextos sociais, tecnológicos e culturais atuais.

Conforme ressaltam Dunne e Raby (2013), o design especulativo atua no espaço entre o futuro provável, plausível, possível e na convergência desses, o preferível (Figura 2), operando na lacuna entre o que é real e o que é ideal, o que possibilita aos designers questionar e imaginar novas formas de existência.

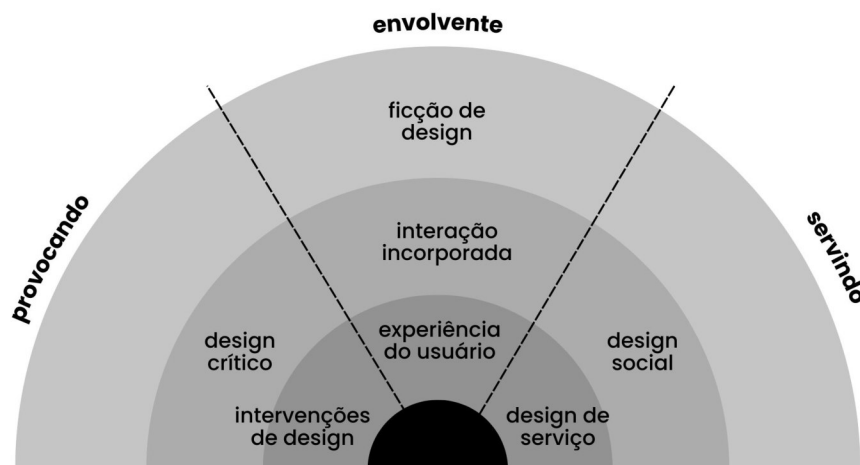
Figura 2 – Cone de Futuros Preferíveis



Fonte: *Speculative Everything* (2013), p. 5. Adaptada e traduzida pela autora.

De acordo com Sanders e Stappers (2014), o pensamento divergente e crítico é um pré-requisito fundamental para o processo de design e seus resultados. Os autores propõem diferentes tipos de intenção para o design (Figura 3) — servir, engajar ou provocar —, os quais se relacionam com distintas áreas do design, diferentes prazos e formas contrastantes de envolvimento do usuário.

Figura 3 – Abordagens do design em relação às intenções e modos de atuação



Fonte: Sanders e Stappers (2014) p. 13. Adaptada e traduzida pela autora.

Em 2010, Dunne e Raby (2013, p. 151) participaram da exposição *Between Reality and the Impossible*, que aconteceu na Bienal Internacional de Design de Saint-Etienne, com o projeto *Nº 1: Foragers* (Figura 4), que seriam grupos de pessoas que vivem em condição de vulnerabilidade social, buscando sobreviver em um mundo com escassez de alimentos, da seguinte maneira:

(...) Inspirados por esses grupos, imaginamos um grupo de pessoas que toma o destino em suas próprias mãos e começa a construir dispositivos que funcionam como sistemas digestórios externos. Eles utilizam a biologia sintética para criar bactérias estomacais microbianas e dispositivos mecânicos para maximizar o valor nutricional do ambiente urbano, compensando quaisquer deficiências na dieta cada vez mais limitada disponível comercialmente. Essas pessoas são os novos forrageadores urbanos. (Dunne; Raby, 2013, p. 151, tradução nossa)

Figura 4 – Foragers, Anthony Dunne e Fiona Raby, 2009



Fonte: Dunne & Raby, from *Designs for an Overpopulated Planet*, No. 1: *Foragers*, 2010. Photograph by Jason Evans.⁴

Em suma, o projeto *Foragers* se propõe a materializar uma narrativa alternativa sobre a sobrevivência humana. Ao projetar dispositivos que desafiam nossa biologia, Dunne e Raby utilizam o design como uma linguagem para questionar o status quo e explorar as implicações éticas da biologia sintética. Essa abordagem, em que o objeto serve como suporte para a construção de mundos possíveis e debates críticos, é a base do que se define como *Design Fiction*, conceito que será explorado a seguir.

3.1.1. *Design fiction*

A ficção de design (*design fiction*) é uma vertente do design especulativo que utiliza narrativas fictícias como instrumento para imaginar e problematizar futuros possíveis. Essa abordagem não busca prever o futuro, mas sim criar mundos narrativos em que determinadas ideias, tecnologias ou sistemas são testados, permitindo refletir criticamente sobre seus desdobramentos.

Conforme Dunne e Raby (2013), o design fiction envolve a criação de protótipos inseridos em contextos narrativos ficcionais, com o objetivo de explorar e questionar futuros possíveis. O termo foi originalmente concebido no livro *Design Fiction: A Short Essay on Design, Science, Fact and Fiction* (2009) por Julian Bleeker, esclarecendo que:

⁴ Disponível em: <https://dunneandraby.co.uk/content/projects/543/0>

(...) a ficção de design é uma prática híbrida e prática que opera em um meio-termo obscuro entre ideias e sua materialização, e entre fatos científicos e ficção científica. É uma forma de sondar, esboçar e explorar ideias. Por meio dessa prática, conecta-se a imaginação e a materialização, modelando, criando coisas e contando histórias por meio de objetos, que agora são efetivamente temas de conversa em um sentido muito real. (Bleecker, 2009, p. 11, tradução nossa)

Ao incorporar elementos ficcionais — como personagens, contextos sociais e objetos abstratos — a ficção de design permite explorar as implicações éticas, culturais e políticas de inovações que ainda não existem, mas que podem vir a existir. Tais narrativas atuam como fomento de debate, revelando tensões sociais, desigualdades, dependência tecnológica, mudanças ambientais, entre outros aspectos que muitas vezes passam despercebidos no cotidiano.

Diversas referências midiáticas ilustram essa abordagem, capazes de ampliar a percepção crítica sobre o presente ao evidenciar futuros possíveis, como o filme *Blade Runner 2049* (2017) (Figura 5), de Denis Villeneuve, que projeta um futuro distópico marcado pelo colapso ambiental, pela inteligência artificial e pela fragilidade das identidades humanas.

Figura 5 – Pôster do filme
Blade Runner 2049, de 2017

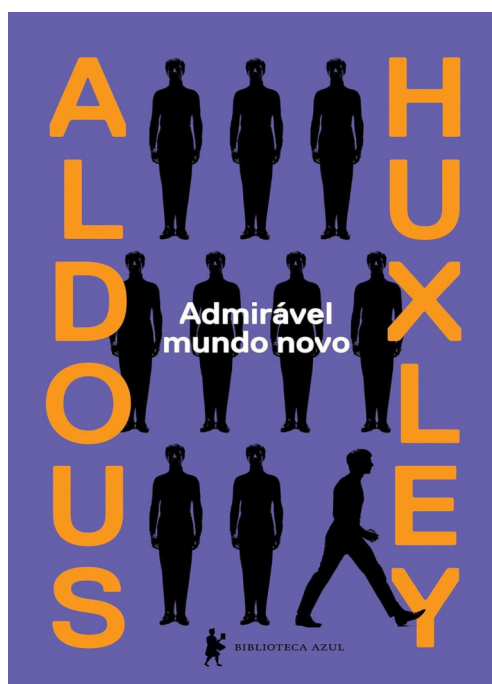


Fonte: Página oficial do filme no site IMDb.com (*Internet Movie Database*).⁵

⁵ Disponível em: <https://www.imdb.com/pt/title/tt1856101/mediaviewer/rm2677875712/>

Uma referência sobre ficção especulativa no meio literário é o livro *Admirável Mundo Novo* (1932), do escritor inglês Aldous Huxley, uma distopia crítica que discute uma sociedade movida pela engenharia genética — que é abordada como *tecnologia reprodutiva* — e a subordinação psicológica, presente no governo totalitário fictício, por meio da mecanização das atividades humanas.

Figura 6 – Capa da edição de 2014 de *Admirável Mundo Novo*



Fonte: Página do livro no Google Livros⁶

A série *Black Mirror* (2011–2019), criada por Charlie Brooker, pode ser compreendida como uma forma audiovisual de *design fiction*, ao construir narrativas especulativas que extrapolam os usos e impactos da tecnologia no cotidiano. Cada episódio é autônomo e funciona como um protótipo ficcional de realidades distorcidas, em que a tecnologia atua como estímulo para conflitos humanos. Assim como propõe o design especulativo, *Black Mirror* não oferece soluções, mas provoca questionamentos sobre os rumos da sociedade, tornando-se um exemplo eficaz de como a ficção pode operar como método projetual crítico.

⁶ Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/Admirável_mundo_novo/FfX-AgAAQBAJ
Acesso em: 15 de Julho de 2025

Figura 7 – Pôster da série
Black Mirror, de 2011



Fonte: Página oficial do filme no site
IMDb.com © Netflix⁷

Dessa forma, a ficção de design se consolida como uma ferramenta para expandir os limites do pensamento projetual, ao propor narrativas provocativas que nos permitem experienciar, ainda que simbolicamente, possíveis cenários futuros — funcionando como uma ponte entre o imaginário e a prática crítica do design.

3.2. Biomimética: A natureza como inspiração

Segundo o Dicionário Webster, o termo biomimética⁸ foi utilizado pela primeira vez em 1970, equivalente ao estudo de formas, funções, estruturas e processos biológicos, com o intuito de projetar peças imitando sistemas naturais. Essa área se popularizou com a publicação do livro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*⁹, da bióloga norte-americana e uma das fundadoras do Biomimicry Institute, Janine Benyus — que considera a biomimética como "*the conscious emulation of life's genius*"¹⁰ (1997).

⁷ Disponível em: <https://www.imdb.com/pt/title/tt2085059/mediaviewer/rm1585480194/>
Acesso em: 15 de Julho de 2025

⁸ Disponível em: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/biomimetics>

⁹ Tradução livre: Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza

¹⁰ Tradução livre: a emulação consciente da genialidade da vida.

A partir da observação dos organismos vivos e de seus mecanismos adaptativos, a biomimética propõe a tradução dessas estratégias naturais em tecnologias, produtos e sistemas aplicáveis às necessidades humanas, sem romper com os princípios ecológicos que regem o equilíbrio dos ambientes naturais. Diferente do uso metafórico da natureza no design, a biomimética se baseia na compreensão funcional e sistêmica dos fenômenos naturais, considerando aspectos como eficiência energética, simbiose, interdependência e resiliência. Benyus (1997) determina os três pilares principais da biomimética:

A natureza como modelo. A biomimética é uma nova ciência que estuda os modelos da natureza e depois os imita ou se inspira nesses projetos e processos para resolver problemas humanos, por exemplo, uma célula solar inspirada em uma folha.

A natureza como medida. A biomimética usa um padrão ecológico para avaliar a “correção” de nossas inovações. Após 3,8 bilhões de anos de evolução, a natureza aprendeu: o que funciona, o que é apropriado e o que perdura.

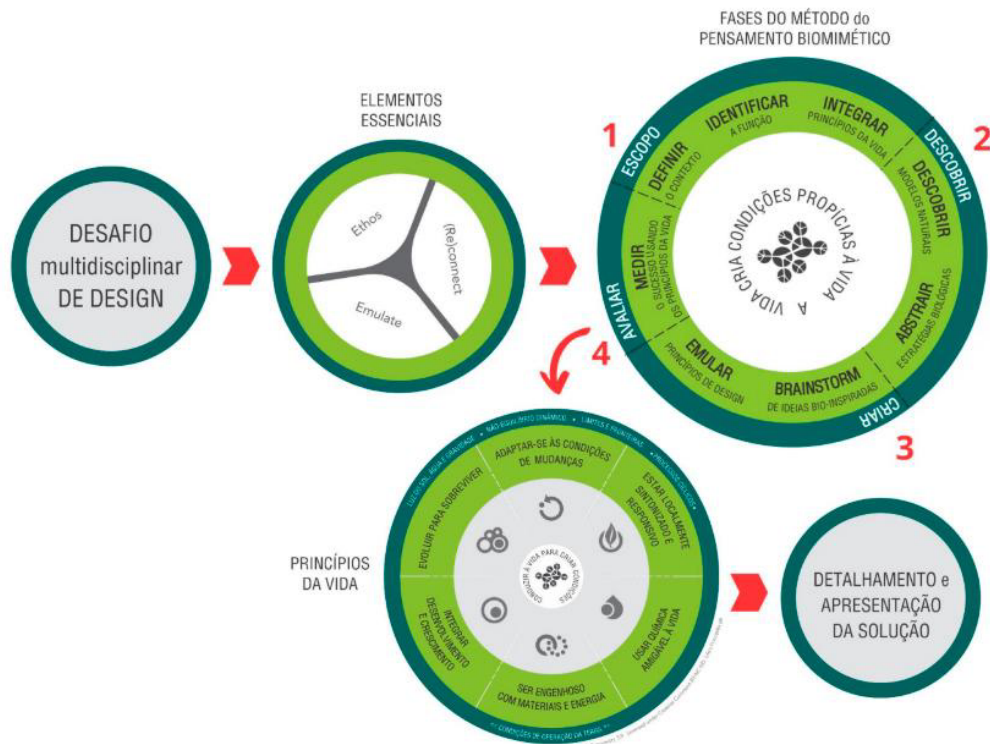
A natureza como mentora. A biomimética é uma nova forma de ver e valorizar a natureza. Ela introduz uma era baseada não no que podemos extrair do mundo natural, mas no que podemos aprender com ele. (Benyus, 2002, p. 2, tradução nossa)

No presente trabalho, a biomimética será utilizada como fundamento metodológico complementar, orientando a concepção de um artefato que simula os processos de polinização em um cenário futuro. Inspirado em estratégias biológicas como a reprodução floral, a dispersão por agentes externos e a comunicação ecológica entre espécies, o projeto busca não apenas representar simbolicamente a natureza, mas incorporar seus ensinamentos funcionais e regenerativos, promovendo uma resposta projetual enraizada na lógica da vida.

Além de propor a natureza como modelo, medida e mentora, Benyus (1997) organiza nove princípios da vida que foram abordados nos capítulos de seu livro, onde a natureza opera com base nas seguintes diretrizes fundamentais: funcionamento pela luz solar, utilizar apenas a energia necessária, adaptar a forma à função, reciclar tudo, recompensar a cooperação, valorizar a diversidade, exigência de conhecimento local, moderar os excessos e entender o poder os limites.

Nesse sentido, o *Biomimicry Institute 3.8* têm desenvolvido desde 1998, um conjunto de diagramas metodológicos — denominado *Biomimicry DesignLens*¹¹ — que representa visualmente as três bases da abordagem de design alinhado à natureza (Figura 8).

Figura 8 – Framework do Método Biomimético



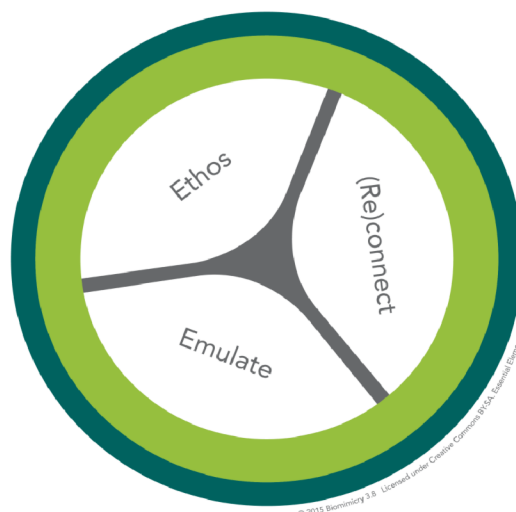
Fonte: Biomimicry Institute 3.8, traduzido e organizado por Dr. Emílio Augusto Gomes de Oliveira

Esses esquemas podem ser aplicados em ciclos contínuos, aumentando gradualmente a complexidade conforme suas propriedade e progresso das etapas, constituídos em:

- **Elementos Essenciais:** Através da combinação (Figura 9) desses componentes, o projeto de design bioinspirado se torna biomimético;
 - **Ethos:** representa a ética, gratidão e responsabilidade humana;
 - **(Re)Conectar:** reforça o pertencimento do ser humano;
 - **Emular:** traz os princípios, estratégias, padrões, e funções encontradas na natureza, permitindo a visão sobre a permanência sustentável no planeta.

¹¹ Disponível em: <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/biomimicry-designlens/>.

Figura 9 – Diagrama de *DesignLens: Essential Elements*



Fonte: Biomimicry 3.8

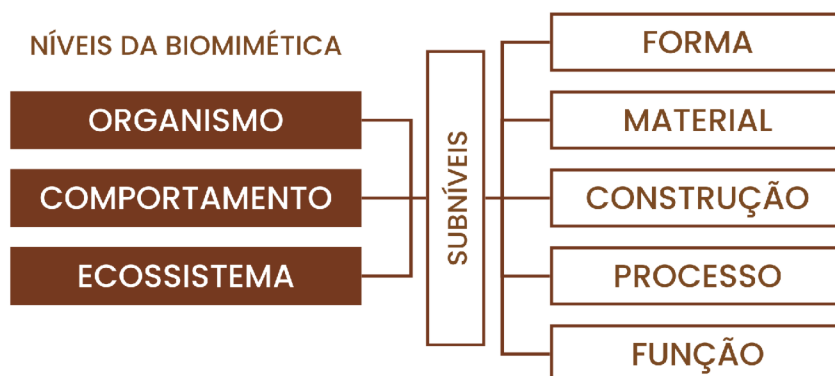
- **Princípios da Vida:** Lições de design da natureza, que permitem formar estratégias inovadoras pelos fatores sustentáveis;
- **Pensamento Biomimético:** É um método que fornece contexto para a aplicação da biomimética no processo de design.

Os três níveis da biomimética na arquitetura sustentável (El Ahmar, 2011) determinam quais atributos podem ser aplicados em uma problemática de design, sendo estes:

- **Organismo:** Imitar o todo ou uma parte de um organismo;
- **Comportamento:** Reproduzir um comportamento de sobrevivência ou replicação de um organismo dentro de uma ocasião;
- **Ecossistema:** Simular um ecossistema, de acordo com seu funcionamento, pelos princípios e elementos.

A cada um desses níveis correspondem cinco dimensões (Gráfico 2) imitáveis: forma, material, construção, processo e função.

Gráfico 2 – Níveis e subníveis da biomimética



Fonte: Biomimicry as a Tool for Sustainable Architectural (2011).
Adaptado e traduzido pela autora.

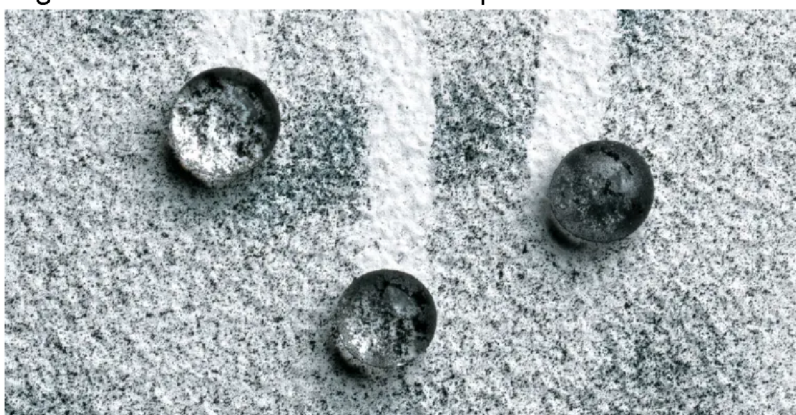
Como exemplos de projetos realizados em cada nível apresentado anteriormente, pode-se apresentar os seguintes produtos e projetos inovadores disponíveis na atualidade, inspirados pela biomimética.

I. Nível organismo

A. Tinta StoColor Lotusan

Em 1999, a empresa multinacional Sto lançou seu primeiro produto biônico¹² — a tinta de fachada Lotusan® (Figura 10) — em que apresenta um revestimento com tecnologia *Lotus-Effect*, inspirado no efeito hidrofóbico e de autolimpeza da flor de lótus, além de ser resistente à retenção de sujeira.

Figura 10 – Efeito hidrofóbico na pintura de fachadas



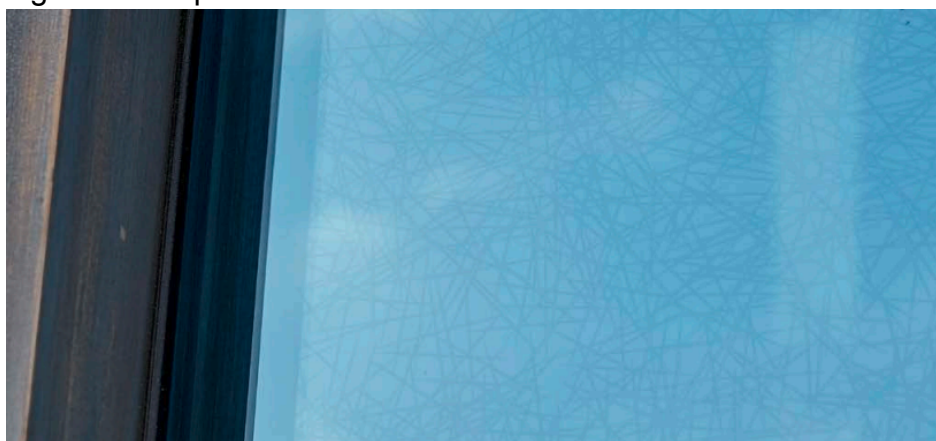
Fotografia: © Sto SE & Co. KGaA

¹² STO. *Lotusan: fachada que repele a sujeira graças ao efeito lótus*. Disponível em: <https://www.sto.es/s/inspiracion-e-informacion/productos-bionicos/lotusan>. Acesso em: 22 jul. 2025.

B. Vidro ORNILUX Mikado

A empresa alemã Arnold Glass, desenvolveu o vidro ORNILUX® Mikado (Figura 11), que possui um padrão de linhas ultrafinas que refletem a luz ultravioleta (UV), tornando o vidro visível para as aves — que foi identificado em um estudo sobre florestas, percebendo a ausência de colisão das aves com as teias de aranha — e evitando possíveis colisões com as superfícies. O fato pode ser identificado pelo fato de que os pássaros conseguem enxergar um espectro de comprimentos de onda mais amplo do que os humanos, facilitando a visão do revestimento em linhas ultravioleta.

Figura 11 – Aparência do vidro ORNILUX



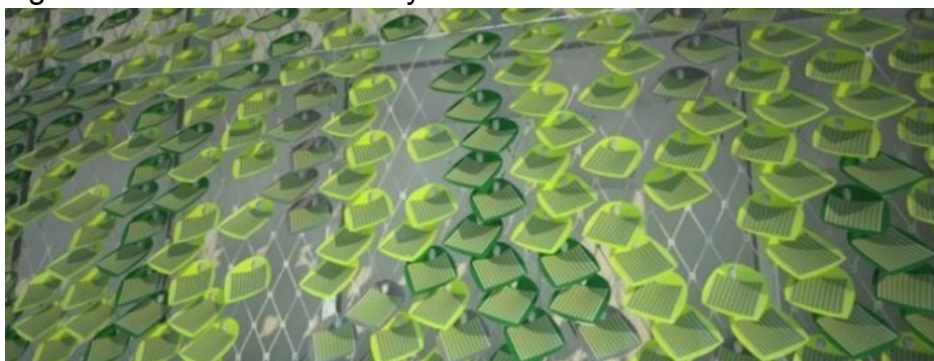
Fonte: Folheto sobre ORNILUX¹³

II. Nível comportamento: Solar Ivy

Inspirado na forma e no movimento da *Hera trepadeira*, o projeto Solar Ivy apresenta um sistema modular de painéis fotovoltaicos leves e flexíveis, que se assemelham a folhas escalando fachadas arquitetônicas (Figura 12). Desenvolvido pelo estúdio SMIT (*Sustainably Minded Interactive Technology*), o sistema combina captação de energia solar e geração de energia eólica em uma proposta estética e funcional, promovendo uma integração harmônica entre tecnologia e natureza no ambiente construído. Seu design biomimético transforma edifícios em superfícies produtivas, evocando a imagem de plantas que crescem ao longo das estruturas humanas, com suas próprias adaptações.

¹³ Disponível em: <https://www.arnold-glas.de/en/bird-protection#156047>. Acesso em: 22 jul. 2025.

Figura 12 – Sistema Solar Ivy

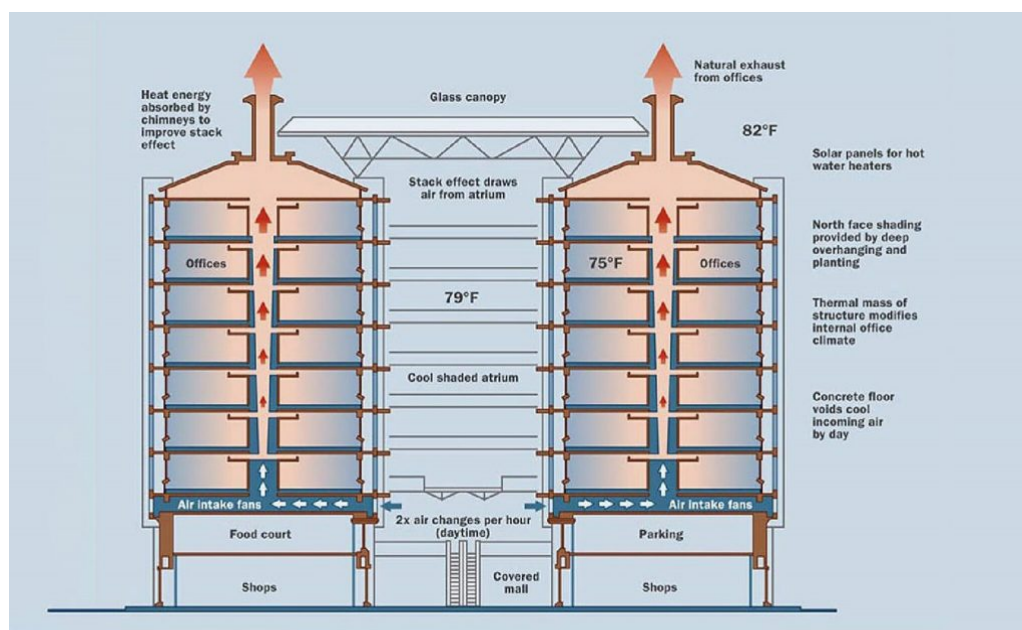


Fonte: INHABITAT, 2011

III. Nível ecossistema: Eastgate Center

O edifício Eastgate Center, projetado pelo arquiteto Mick Pearce em 1996, é um centro comercial localizado em Harare, Zimbábue. A demanda projetual foi de um sistema de ventilação auto-regulável (Figura 13) e energeticamente eficientes, inspirado em cupinzeiros, visto que “os pesquisadores haviam proposto que os cupinzeiros mantivessem climas internos estáveis por terem uma estrutura física que possibilitasse o fluxo de ar interno passivo” (Ask Nature).

Figura 13 – Esquema do fluxo de ventilação no Eastgate Center



Fonte: Hidden Architecture¹⁴

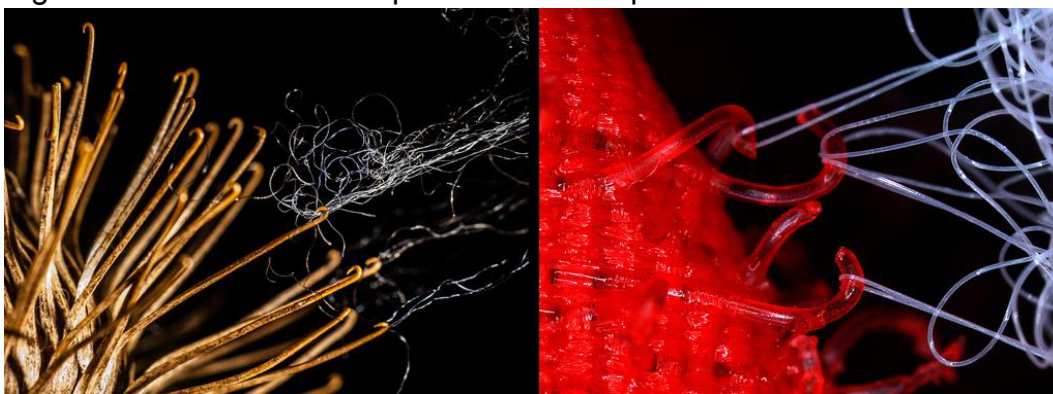
¹⁴ Disponível em: <https://hiddenarchitecture.net/eastgate-centre/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

3.2.1. A diferença entre biônica e biomimética

Ao longo das últimas décadas, a natureza tem sido cada vez mais reconhecida não apenas como fonte de recursos, mas como referência estratégica para o desenvolvimento de soluções projetuais no campo do design, orientando processos de inovação fundamentados em princípios ecológicos (Benyus, 1997). Nesse contexto, conceitos como biônica e biomimética surgem como abordagens que buscam inspiração em sistemas naturais.

O engenheiro eletrônico suíço George de Mestral, inspirado na observação do carrapicho (*Arctium lappa*), identificou a possibilidade de criar um sistema de fixação flexível, capaz de ser conectado e desconectado repetidamente sem a necessidade de ajustes ou apertos. Após oito anos de aperfeiçoamento para viabilizar sua produção industrial, o Velcro consolidou-se como uma solução amplamente utilizada em bolsas, roupas, calçados, bolsas e na fixação de objetos. Seu funcionamento baseia-se na interação entre duas superfícies complementares, compostas por pequenos ganchos e laços (Figura 14) que, ao serem pressionadas, formam uma área de forte aderência, reproduzindo o mecanismo natural observado na planta (Ramos, 1993).

Figura 14 – Visão microscópica de um carrapicho e velcro



Fonte: Imagem retirada da página Marine Ecology HSU¹⁵

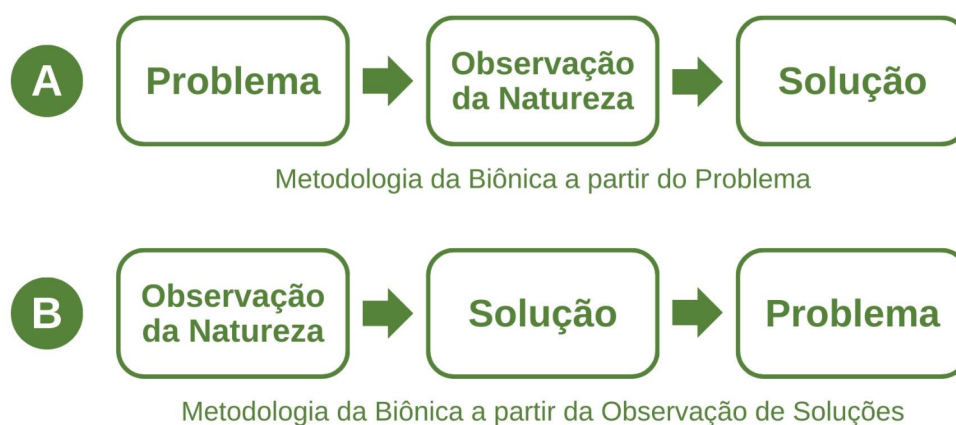
Conforme apontam Oliveira e Landim (2011), “biônica e biomimética, consideradas por muitos autores como sinônimas, são na verdade complementares e representam dois tipos distintos de abordagens entre ‘design e natureza’, baseados em concepções diferentes da relação entre natureza, tecnologia,

¹⁵ Disponível em: <https://marineecologyhsu.wordpress.com/tag/steel-is-real-but-limpets-are-realer/>

produção industrial e cultura” (p. 885). Essa distinção revela que, apesar de compartilharem a observação da natureza como ponto de partida, cada abordagem opera a partir de objetivos e níveis de aprofundamento distintos.

Ainda segundo Munari (2008), a biônica pode ser compreendida como uma estratégia criativa no design, na qual a observação da natureza auxilia na resolução de problemas projetuais de forma lógica. Sua metodologia pode ser compreendida a partir de dois percursos principais (Figura 15): um orientado pela resolução de um problema técnico, que conduz à observação da natureza em busca de princípios funcionais (A), e outro que parte da observação de soluções naturais, posteriormente traduzidas em aplicações técnicas (B).

Figura 15 – Metodologias da Biônica



Fonte: Costa et al., (2010). Adaptado pela autora.

De acordo com Costa et al. (2010), ambos os percursos caracterizam a abordagem biônica ao enfatizar a natureza como repositório de soluções eficientes, passíveis de abstração e adaptação tecnológica. No entanto, em ambas as metodologias, a natureza é compreendida como referência funcional, sendo desconectado dos sistemas ecológicos complexos e das dinâmicas ambientais mais amplas nas quais tais soluções emergem.

Segundo Benyus (1997), a biomimética propõe que a natureza seja entendida simultaneamente como modelo, medida e mentora, orientando o processo de projeto a partir de parâmetros ecológicos consolidados ao longo de milhões de anos de evolução. Nesse sentido, a biomimética desloca o foco da mera eficiência funcional para uma lógica de compatibilidade ecológica, alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável.

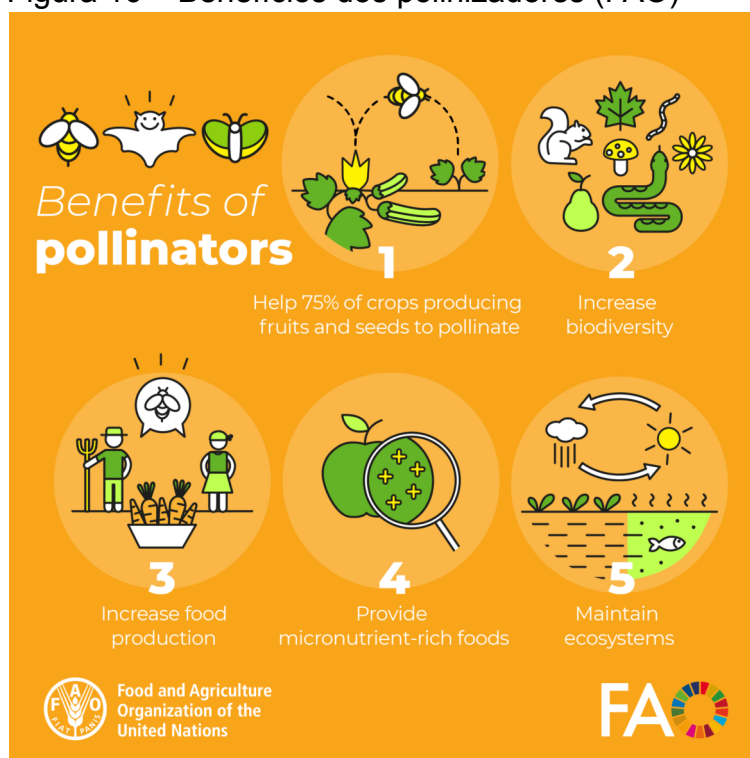
O *Biomimicry Institute* sistematiza a biomimética como uma metodologia projetual orientada por princípios da vida, estruturada em ciclos contínuos de observação, abstração e aplicação, visando soluções que sejam ambientalmente responsáveis, socialmente justas e economicamente viáveis. Essa abordagem reforça o caráter integrador da biomimética, posicionando-a como estrutura ética e metodológica para o desenvolvimento de projetos alinhados à sustentabilidade.

Dessa forma, enquanto a biônica tende a operar no âmbito da replicação funcional e da inovação tecnológica, a biomimética se configura como uma abordagem integradora, voltada à sustentabilidade e à construção de sistemas estabilizados. No contexto deste trabalho, a biomimética é adotada como fundamento teórico e metodológico por sua capacidade de articular design, natureza e tecnologia, alinhado às dinâmicas ecológicas e ambientais.

3.3. Polinização e a importância das abelhas

A polinização é o processo biológico responsável pela transferência dos grãos de pólen das anteras (órgãos reprodutivos masculinos) ao estigma (estrutura feminina) das flores, possibilitando a fecundação e a formação de sementes e frutos. Entre esses agentes, as abelhas destacam-se por sua alta eficiência e especialização. A imagem divulgada pela FAO (Figura 16) destaca os cinco principais benefícios dos polinizadores para o equilíbrio ambiental e a produção de alimentos. Em primeiro lugar, esses agentes naturais são responsáveis por auxiliar na polinização de cerca de 75% das culturas que produzem frutas e sementes. Em segundo, contribuem diretamente para o aumento da biodiversidade, ao promover a reprodução de diversas espécies vegetais. Também elevam a produção de alimentos, desempenhando um papel essencial no cultivo agrícola.

Figura 16 – Benefícios dos polinizadores (FAO)



Fonte: <https://www.un.org/en/observances/bee-day/background>

Outro ponto importante é sua contribuição para a oferta de alimentos ricos em micronutrientes, fundamentais para a saúde humana. Por fim, os polinizadores mantêm os ecossistemas funcionando de forma equilibrada, favorecendo processos como o ciclo da água, o sequestro de carbono e a regeneração das plantas. Esses benefícios evidenciam a importância de proteger os polinizadores diante das ameaças ambientais atuais (FAO, 2024).

Segundo a RBMA (2025), “o Brasil abriga uma diversidade única de abelhas nativas, que desempenham papel vital na polinização de cultivos essenciais como maracujá, açaí e castanha-do-brasil”. Essa diversidade inclui principalmente espécies sem ferrão, conhecidas por sua relevância ecológica e cultural. A conservação dessas espécies, portanto, não é apenas uma medida ambiental, mas também estratégica para a segurança alimentar e o fortalecimento de práticas agrícolas sustentáveis.

Portanto, compreender o papel ecológico das abelhas na polinização é reconhecer sua influência direta sobre a biodiversidade, a estabilidade dos ecossistemas e a segurança alimentar. Mais do que produtoras de mel, as abelhas representam um elo vital entre a diversidade biológica e o funcionamento sustentável dos sistemas naturais. A preservação dessas espécies é, assim, um

compromisso indispensável para a manutenção do equilíbrio ambiental e para a garantia da sustentabilidade do planeta.

3.3.1. Estratégias biológicas

Para fundamentar o desenvolvimento do artefato biomimético proposto, foi realizada uma investigação das estratégias biológicas presentes em agentes polinizadores, especialmente as abelhas, por meio da coleção de morfologias funcionais¹⁶, organizada pela Universidade de Calgary. A observação dessas adaptações naturais permite compreender como a natureza solucionou, ao longo da evolução, desafios relacionados à coleta, transporte e liberação de pólen. Tais estratégias fornecem subsídios funcionais e estéticos que poderão ser abstraídos e aplicados no projeto.

- **Coleta de pólen e vibração**

O pólen é uma fonte essencial de proteína e nutrientes para as abelhas, sendo coletado exclusivamente pelas fêmeas, que possuem estruturas corporais especializadas nas patas traseiras — como escopas (pelos organizados) ou corbículas (placas com pelos curvos) — para armazenar o pólen durante o forrageamento. A escopa geralmente localiza-se nas patas traseiras ou na parte inferior do abdômen (como nas abelhas da família *Megachilidae*), e sua estrutura varia conforme o tipo e tamanho do pólen. Esses pelos variam em comprimento, forma e espaçamento, sendo organizados em camadas: uma superior com pelos longos e rígidos que retêm o pólen, e uma inferior com pelos curtos e flexíveis que absorvem óleos.

A atração eletrostática entre o pólen (carga negativa) e o corpo da abelha (carga positiva) facilita a coleta. Além da escopa, algumas abelhas possuem a corbícula — ou cesta de pólen (Figura 17) — uma versão especializada que também transporta néctar. Já espécies cleptoparasitas não possuem escopa, pois não coletam pólen, e algumas abelhas armazenam o pólen ingerido em uma parte interna chamada papo.

¹⁶ Disponível em: <https://biodiversity.ucalgary.ca/bio-inspired-design/>

Figura 17 – O parte à esquerda é a cesta de pólen (corbícula)



Fonte: Gilles San Martin / CC BY SA. Disponível em: <https://flic.kr/p/a6iuNo>

Abelhas que coletam grãos menores apresentam escopas mais densas e ramificadas. A abelha rival de chifres longos — *Melissodes rivalis* da família *Apidae*¹⁷ — é uma espécie de abelha que possui uma escopa protuberante na perna traseira (Figura 18), conhecida como calças de pólen.

Figura 18 – Escopa basitarsal na pata dianteira (*Melissodes rivalis*)



Fonte: Rob Alexandre / CC BY NC¹⁸

¹⁷ Fonte: https://explorer.natureserve.org/Taxon/ELEMENT_GLOBAL.2.840947/Melissodes_rivalis

¹⁸ Disponível em: <https://asknature.org/strategy/charged-electrostatic-hairs-collect-pollen-granules>

O tamanho e a textura dos grãos de pólen variam entre as flores, e muitas abelhas se especializaram em tipos específicos. Outras espécies são mais flexíveis, misturando o pólen com néctar ou óleos florais, o que permite compactar os grãos em pacotes, facilitando o transporte mesmo com estruturas menos especializadas. Nessas abelhas, os pelos podem ser curtos e esparsos ou apresentar camadas diferenciadas que absorvem óleo e retêm pólen de forma eficiente.

O cílipeo, região localizada entre as antenas e a boca das abelhas¹⁹, também participa ativamente no forrageamento, retendo pólen quando as abelhas esfregam o rosto nas flores, sendo utilizado como critério de identificação por seu formato e tipo de pelos. Posteriormente, esse pólen é transferido para as escovas com o auxílio das patas dianteiras, como podemos observar no detalhamento do cílipeo (Figura 19) de uma fêmea *Hériades carinatus*.

Figura 19 – Cílipeo de uma abelha fêmea



Fonte: Laboratório de Inventário e Monitoramento de Abelhas do USGS²⁰

Essa parte é extremamente relevante na polinização por vibração, técnica usada por algumas espécies, como a *Osmia inspergens*, em que a abelha vibra

¹⁹ Disponível em: <https://biodiversity.ucalgary.ca/designs/clypeus>

²⁰ Disponível em: <https://flic.kr/p/eWUoS8>. Acesso em: 24 jul. 2025

contra flores com pólen de difícil acesso, fazendo com que os grãos se desprendam e fiquem presos nos pelos do clípeo. Em algumas espécies, como a *Osmia lignaria* usam seus clípeos para construir ninhos em buracos ou aberturas naturais, construindo pequenas bolsas dentro deles para cada um de seus ovos.

- **Limpeza de pólen com as escopas basitarsal**

A escopa basitarsal é um conjunto de pelos localizados no segmento final da pata dianteira das abelhas (Figura 20), utilizada durante a polinização, para remover o pólen acumulado na cabeça e transferi-lo para estruturas de transporte, como a escopa ou a corbícula. Diferente dos pentes de pólen (organizados em fileiras), as escopas são formadas por pelos agrupados de forma menos estruturada. Escopas semelhantes também podem ser encontradas no tarso e fêmur das patas traseiras e médias, com variações no tamanho, densidade e forma, dependendo do tipo de substância coletada, como néctar ou óleo.

Figura 20 – Escopa basitarsal na pata dianteira



Fonte: *USGS Bee Inventory and Monitoring Lab*. Disponível em: <https://flic.kr/p/oqNpdY>

- **Cor estrutural nas abelhas**

Existem duas maneiras principais pelas quais um animal pode obter sua coloração: pigmentos com cor única ou microestruturas presentes na cutícula do

exoesqueleto, que causam a dispersão da luz. A cor do pigmento sempre terá a mesma aparência, mas a cor estrutural interage com a luz por meio de fenômenos ópticos como interferência, refração e difração, produzindo uma aparência cintilante que muda conforme o ângulo de observação.

As *Agapostemon splendens* são abelhas solitárias conhecidas por sua deslumbrante cor verde metálica²¹ (Figura 21). Essa iridescência é um sinal revelador de que a cor é criada por nanoestruturas e microestruturas que espalham a luz. A cor interfere na capacidade de reconhecer formas, o que pode prejudicar a capacidade do predador de distinguir sua presa como alimento.

Figura 21 – Cabeça de uma fêmea de *Agapostemon splendens*



Fonte: Laboratório de Inventário e Monitoramento de Abelhas do USGS²²

Outro exemplo notável de coloração estrutural ocorre nas abelhas do grupo Euglossini (Figura 22), conhecidas como abelhas das orquídeas. Nessas espécies, a coloração metálica e iridescente, com tonalidades que variam entre o verde, azul, roxo e dourado, além de desempenhar um papel importante para a camuflagem, para evitar possíveis predadores e na comunicação entre os parceiros.

²¹ Referência: https://pictureinsect.com/pt/wiki/Agapostemon_splendens.html

²² Disponível em: <https://flic.kr/p/nZou6n>

Figura 22 – Abelha-das-orquídeas da espécie *Euglossa viridissima*



Fonte: Foto via Wikimedia Commons²³

Com base na análise das estratégias utilizadas por diferentes espécies de abelhas, foi elaborada uma tabela de síntese (Quadro 1) que reúne as partes anatômicas e suas respectivas funções relevantes para o processo de polinização. Entre essas estratégias, destacam-se a coleta e manipulação do pólen por meio da escopa basitarsal, a vibração das flores (polinização por zumbido), a presença de estruturas com cor estrutural que auxiliam na comunicação visual com as flores e mecanismos de limpeza eficientes que evitam o desperdício de pólen. A organização comparativa desses elementos fornece subsídios para o desenvolvimento de artefatos bioinspirados, ao evidenciar soluções adaptativas que promovem eficiência, simbiose e sustentabilidade no contexto ecológico.

Quadro 1 – Estratégias biológicas das abelhas na polinização

Estratégias biológicas	
Abelhas na polinização	
Função	Parte anatômica
Coleta de pólen	Escopas (pelos organizados) ou corbículas (placas com pelos curvos) nas patas traseiras
Retenção de pólen	Clípeo (Localizado entre as antenas e a boca)
Limpeza de pólen no clípeo	Escopa basitarsal na pata dianteira
Vibração para liberação de pólen	Batimento das asas em frequência

²³ Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orchid_Bee_hovering.jpg

Cor estrutural	Microestruturas presentes na cutícula do exoesqueleto
----------------	---

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da revisão realizada, torna-se evidente que a crise na preservação dos polinizadores naturais representa não apenas um desafio ecológico, mas também um ponto crítico para a sobrevivência humana. A interdependência entre espécies, a eficiência das estratégias biológicas das abelhas e a importância da polinização como serviço ecossistêmico essencial foram aspectos centrais que nortearam este estudo.

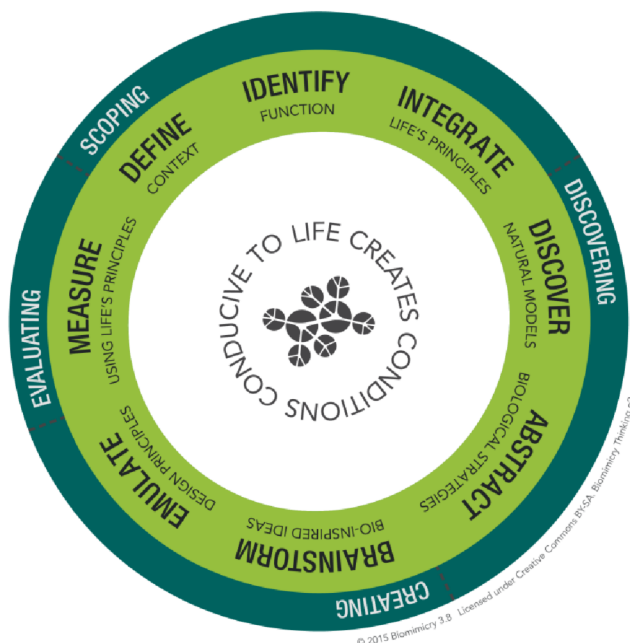
Como *insights* relevantes, destacam-se: a urgência de propor soluções que integrem sistemas artificiais e naturais, o potencial da biomimética como ferramenta projetual, e a capacidade do design especulativo em provocar reflexões críticas sobre futuros possíveis. Tais conclusões parciais reforçam a necessidade de desenvolver um artefato polinizador biomimético, que vá além da funcionalidade — sendo também simbólico, narrativo e provocativo diante da emergência ambiental especulativa. Estes pontos servirão de base para a abordagem metodológica apresentada a seguir, guiando a construção do projeto dentro de um cenário de colapso ambiental e coexistência entre tecnologia e natureza.

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para encaminhar as etapas de desenvolvimento deste projeto foi resultado de uma adaptação do método *Biomimicry Thinking*, com o método *Design Fiction*.

O *Biomimicry Thinking*, segundo o *Biomimicry Institute*, é uma metodologia estruturada que orienta o processo de design com base nas estratégias pela natureza ao longo de 3,8 bilhões de anos de evolução, organizada em quatro etapas: Escopo, Descobrir, Criar e Avaliar (Figura 23), sempre com o intuito de alinhar a solução projetual com princípios ecológicos e sustentáveis.

Figura 23 – Diagrama de *DesignLens: Biomimicry Thinking*



Fonte: Biomimicry 3.8²⁴

Segundo o *Biomimicry 3.8*, “seguir os passos específicos dentro de cada fase ajuda a garantir a integração bem sucedida das estratégias da vida nos desígnios humanos”, permitindo uma coerência ecológica no projeto, mesmo dentro de um contexto ficcional, ao se inspirar diretamente em soluções que a própria natureza desenvolve ao longo da evolução.

Sob a perspectiva metodológica, Dunne e Raby (2013) não propõem um método único e sistematizado para a aplicação do design especulativo, permitindo maior liberdade e adaptação conforme o contexto. Para isso, a construção de futuros possíveis será realizada por meio do *Design Fiction* — parte da abordagem do Design Especulativo (Dunne e Raby, 2013) — com a construção de cenários, narrativas e artefatos ficcionais: os chamados *diegetic prototypes* (Bleecker, 2009). Protótipos diegéticos são objetos ficcionais inseridos em universos narrativos, projetados para parecerem reais dentro do mundo fictício. O conceito foi desenvolvido por David A. Kirby (2010) ao analisar como filmes e obras especulativas influenciam o desenvolvimento tecnológico na vida real.

²⁴ Disponível em: <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-biomimicry-thinking/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

As duas abordagens complementares permitem explorar o papel do design diante de crises ecológicas e sociais, ao mesmo tempo em que propõem um exercício projetual inovador, capaz de articular imaginação criativa, tecnologias inspiradas na natureza e sistemas ecológicos interdependentes. O percurso metodológico adaptado (Quadro 2) será dividido em quatro fases principais: Imersão no projeto → Cenário → Artefato → Avaliação.

Quadro 2 – Separação das fases da metodologia

FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
Imersão no projeto	Cenário	Artefato	Avaliação
Escopo	Prólogo narrativo	Analogia biônica e geração de ideias	Modelagem 3d e renderização
Público-alvo	Linha do tempo do colapso ambiental	Emular estratégias biológicas no design de produto	
Proposta de valor	Documentação especulativa	Finalização do objeto conceitual	Avaliação com os Princípios da Vida
Análise de similares			
Diretrizes projetuais			

Fonte: Elaborado pela autora.

4.1. Cronograma

Considerando a necessidade de organização e controle das etapas de pesquisa e desenvolvimento projetual, o presente cronograma (Quadro 3) foi construído pelo Gráfico de Gantt, uma ferramenta prática para exibir o cronograma de um projeto, de maneira estratégica (Pazmino, 2015). Segundo Pazmino (2015), o Diagrama de Gantt — desenvolvido por Henry Laurence Gantt — é um eficiente gráfico de barras, onde as datas são apresentadas no eixo horizontal, enquanto no eixo vertical são descritas as etapas a serem realizadas.

Quadro 3 – Diagrama de Gantt

Etapas principais	Detalhes das atividades	Período do projeto							
		ABR	MAI	JUN	JUL	SET	OUT	NOV	DEZ
Fase inicial	Pergunta de projeto	■	■						
	Objetivo geral e específicos	■	■						
	Justificativa	■	■						
	Fundamentação teórica		■	■	■				
	Metodologia			■	■				
Fase 1: Imersão no projeto	Escopo			■	■				
	Público-alvo				■				
	Proposta de valor				■				
	Análise de similares			■	■				
	Diretrizes projetuais				■				
Fase 2: Cenário	Painéis semânticos					■	■		
	Prólogo narrativo					■	■		
	Linha do tempo do colapso ambiental						■	■	
Fase 3: Artefato	Analogia biônica e geração de ideias							■	
	Emular estratégias biológicas no design de produto							■	
	Finalização do objeto conceitual								■
Fase 4: Avaliação e Comunicação Especulativa	Avaliação do produto conceitual com os Princípios da Vida								■
	Renderização 3D								■
	Documentação especulativa								■

Fonte: Elaborado pela autora

5. DESENVOLVIMENTO

Com base na metodologia apresentada no capítulo anterior, o desenvolvimento do projeto teve início na fase de imersão, contemplando a definição do público-alvo, a proposta de valor e a análise de similares, a partir das quais foram estabelecidas as diretrizes projetuais. Em seguida, foi elaborado o cenário futuro que contextualiza o protótipo diegético — por meio de uma construção narrativa — com prólogo, linha do tempo e documentação especulativa. Logo, deu-se início a fase de ideação/geração de alternativas (técnicas criativas da biônica e desenhos via sketching) e seleção do conceito (com base no Diagrama de Ishikawa). Na etapa final houve a finalização e avaliação do produto a partir dos Princípios da Vida.

5.1. Fase 1: Imersão no projeto

Nessa etapa inicial, houve a definição do contexto crítico, público-alvo e proposta de valor do produto conceitual, além da análise de similares biomiméticos, por fim, afirmar os elementos estratégicos que orientarão o projeto.

5.1.1. Escopo

A principal função que o artefato deverá desempenhar no cenário especulado será: colaborar com o processo de polinização em um ambiente colapsado, apresentando estratégias biológicas presentes nos agentes polinizadores naturais, como coleta e retenção de pólen ou vibração.

5.1.2. Público-alvo

Considerando o contexto ambiental apresentado nos capítulos iniciais, o público-alvo foi determinado com base nos grupos mais impactados pela perda da biodiversidade e pela crescente insegurança alimentar decorrente da escassez de agentes polinizadores, em um cenário de intensificação das alterações climáticas.

Segundo a *World Meteorological Organization*²⁵ (2024), há 80% de probabilidade de que a temperatura média global anual exceda 1,5 °C em relação aos níveis pré-industriais em pelo menos um dos próximos cinco anos, comprometendo a estabilidade dos sistemas ecológicos e produtivos. Nesse contexto, o artefato é destinado a agricultores resilientes²⁶, comunidades agroecológicas e técnicos ambientais, que atuam ativamente na restauração ecológica e produção de alimentos em um futuro marcado pelo colapso ambiental e pela escassez de polinizadores naturais.

Inseridos em uma sociedade que passou a priorizar a coexistência com a natureza, esses agentes representam os novos modelos de interação entre tecnologia e ecossistemas. O artefato propõe apoiar essa produção sustentável, promovendo a continuidade da vida, por meio do design inspirado na biomimética e voltado ao equilíbrio entre função, ecologia e inovação.

5.1.3. Proposta de valor

A definição do público, das dores, dos ganhos e da proposta de valor foi estruturada por meio da utilização da ferramenta Canva da Proposta de Valor, que permitiu sistematizar as estratégias do projeto e explicitar seus diferenciais, suas dimensões inovadoras e a relação estabelecida com o público-alvo.

A proposta de valor do projeto (Quadro 4) está fundamentada na criação de um artefato biomimético capaz de responder a um cenário de colapso ambiental caracterizado pela escassez de agentes polinizadores naturais e pela consequente insegurança alimentar.

Quadro 4 – Tabela da Proposta de Valor

Perfil do usuário	Proposta de valor
Tarefas	Produto projetado
Sobreviver em um cenário de colapso ambiental sem agentes polinizadores naturais e sem produção alimentar.	Artefato físico inspirado na natureza, voltado à simulação da polinização
Dores	Propostas para as dores

²⁵ Tradução: Organização Meteorológica Mundial (OMM). Relatório disponível em: <https://library.wmo.int/idurl/4/68910>

²⁶ Os agricultores resilientes são aqueles que desenvolvem capacidade de adaptação frente às mudanças ambientais, que afetam diretamente a produção agrícola.

Escassez de recursos naturais, perda de biodiversidade e insegurança alimentar	Atua como agente polinizador, inspira estabilidade e contribui para os ciclos ecológicos
Ganhos	Criadores de ganhos
Retomada equilibrada com o meio ambiente, integrando humano, tecnologia e natureza	Conecta pessoas à natureza e propõe futuros sustentáveis

Fonte: Adaptação do *Value Proposition Canvas*, proposto Osterwalder et al. (2014)
Elaborada pela autora.

O público-alvo enfrenta dores relacionadas à perda de biodiversidade, redução da produtividade agrícola e instabilidade dos ciclos ecológicos, agravadas pelas alterações climáticas. Nesse contexto, o artefato propõe atuar como um produto polinizador artificial inspirado em estratégias biológicas, contribuindo para a restauração dos ecossistemas e para a continuidade da produção de alimentos.

O caráter inovador da proposta reside na articulação entre tecnologia, ecologia e narrativa especulativa, posicionando o artefato não apenas como ferramenta funcional, mas como mediador simbólico entre humanos e natureza. Assim, a proposta de valor se estende à criação de novos modos de relação com os ecossistemas, promovendo consciência ecológica e a imaginação de futuros nos quais design, tecnologia e natureza atuam de forma integrada.

5.1.4. Análise de similares

A análise de produtos similares tem como objetivo investigar os seguintes projetos de design já existentes, que dialogam — por meio da sustentabilidade e aplicação de estratégias biológicas via biomimética — com a proposta deste projeto: Disco D'água Nucleário, RoboBee e RoBee. Para isso, foram considerados os seguintes critérios: material utilizado, presença de tecnologias, modo de uso, dimensões, função principal, estratégia biológica e composição visual. Esses fatores (Quadro 5) possibilitam uma avaliação comparativa que contribui para a fundamentação técnica e conceitual do artefato a ser desenvolvido.

Quadro 5 – Síntese dos critérios de análise

Critérios	Funções
-----------	---------

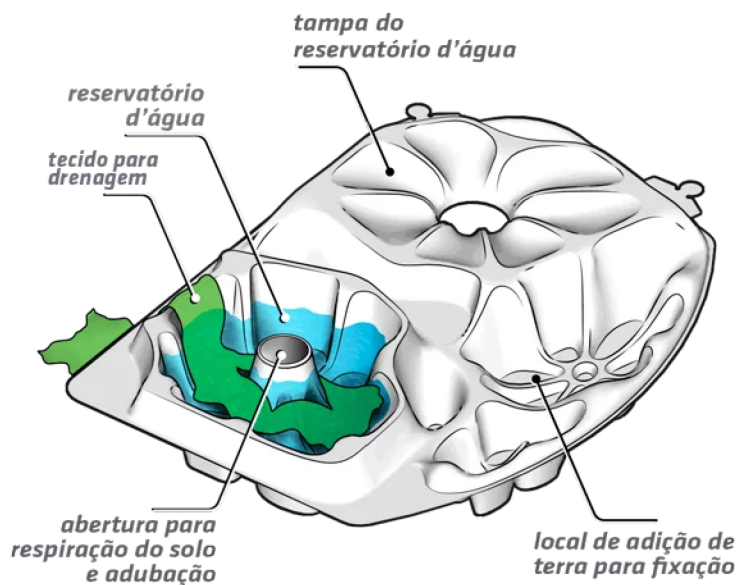
Material	Avaliar a sustentabilidade e adequação do produto ao contexto ecológico e tecnológico
Presença de tecnologias	Identificar o grau de inovação e complexidade técnica incorporada
Modo de uso	Interação entre usuário e objeto, importante para compreender a funcionalidade e usabilidade
Dimensões	Contextualizar a escala do objeto em relação ao ambiente e à aplicabilidade
Função principal	Define o propósito central do objeto
Estratégia biológica	Esclarece os princípios biomiméticos aplicados
Composição visual	Abrange os aspectos estéticos e simbólicos que reforçam a comunicação conceitual do artefato

Fonte: Elaborada pelo autora

A. Disco D'água Nucleário

Em 2018, a *startup* fluminense Nucleário, tornou-se a primeira empresa brasileira a ganhar o prêmio Ray of Hope, concedido pelo Biomimicry Institute, graças ao desenvolvimento do dispositivo tecnológico: Disco D'água Nucleário (Figura 24), para plantio de mudas em larga escala — vigente em projeto de reflorestamento e proteção de árvores — com design inspirado nos princípios das bromélias tanque e serrapilheira, que acumulam água entre as folhas e uma camada orgânica, que mantém os nutrientes e a umidade do solo, respectivamente. Sua composição é composta por plástico PP (polipropileno) e tecido 100% poliéster, que possibilita a reciclagem e reutilização.

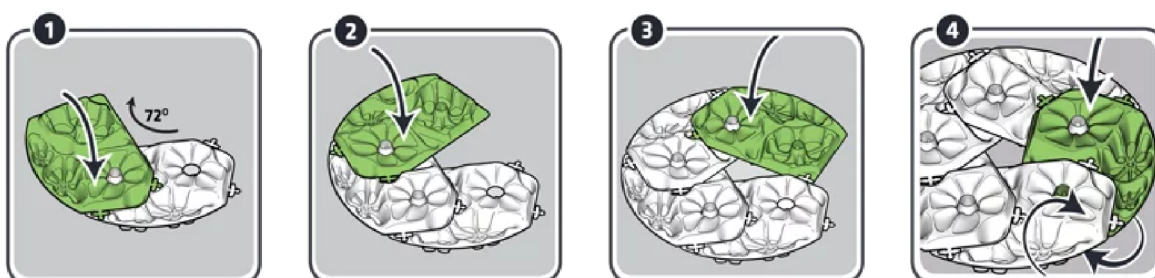
Figura 24 – Detalhamento do módulo do Disco D'água Nucleário



Fonte: NUCLEÁRIO²⁷

O equipamento possui um sistema de capilaridade, inspirado na serrapilheira das florestas, que cria um bolsão de umidade, criando um microambiente mais favorável e resistente, aumentando a eficiência nos plantios de árvores e otimizando a manutenção pós-plantio das mudas. Outro fator inovador é a possibilidade de desmontagem (Figura 25) e reutilização, apresentando um sistema de encaixe FlatSnap®, permitindo maior acessibilidade.

Figura 25 – Processo de montagem do Disco D'água Nucleário



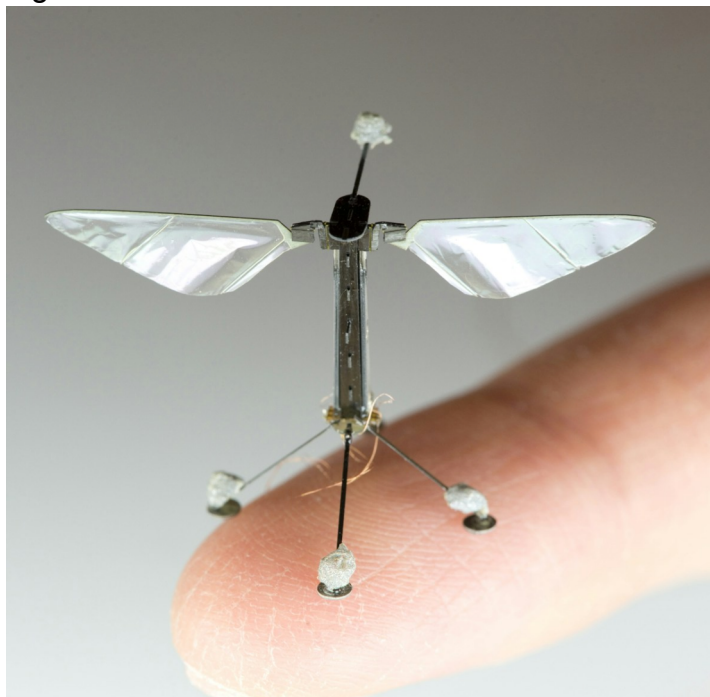
Fonte: NUCLEÁRIO

²⁷ Disponível em: <https://www.nucleario.com/discodagua/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

B. RoboBee

Os RoboBees são microrrobôs voadores autônomos, desenvolvidos pelos pesquisadores do Instituto Wyss, com o objetivo de realizar variadas funções em casos de desastres ou na agricultura. Conforme o Ask Nature²⁸, um RoboBee “mede cerca de metade do tamanho de um clipe de papel e pesa menos de um décimo de grama”²⁹. Ele consiste em três componentes principais: o corpo, as asas e o cérebro. O corpo é feito de fibra de carbono, abriga os sensores e contém juntas às quais as asas se conectam. As asas são extremamente finas e controladas independentemente por atuadores piezoelétricos — dispositivos que possibilitam movimento com exatidão, quando acionados por campo elétrico³⁰ — movimentando a cerâmica por expansão e contração. O cérebro é uma série de sensores inteligentes que monitoram continuamente o ambiente, permitindo que o dispositivo (Figura 26) evite obstáculos e trabalhe em colaboração com outros RoboBees.

Figura 26 – Detalhamento do RoboBee



Fonte: Instituto Wyss da Universidade de Harvard³¹

²⁸ O AskNature.org é um banco de dados digital criado pelo Biomimicry Institute, que apresenta uma coleção de estratégias biológicas, projetos inovadores e recursos educacionais sobre a biomimética.

²⁹ Disponível em: <https://asknature.org/innovation/tiny-flying-microrobot-inspired-by-bees/>

³⁰ Vídeo sobre RoboBee e seu funcionamento. Disponível em: <https://youtu.be/hEZ7rHRifVc>

³¹ Disponível em: <https://wyss.harvard.edu/technology/robobees-autonomous-flying-microbots/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

C. Robee

A BloomX, empresa israelense fundada em 2019 por Thai Sade³², desenvolveu um dispositivo de polinização por vibração para arbustos de mirtilo, chamado Robee (Figura 27), que se assemelha a um cortador de grama robusto, com braços vibratórios. Além disso, na página oficial da empresa BloomX, há uma descrição sobre a aplicação de algoritmos preditivos, para determinar o momento ideal de polinização, considerando dados ambientais:

(...) desenvolvemos um algoritmo preditivo que informa aos produtores exatamente quando é o melhor momento para polinizar, com base em dados ambientais e outros fatores. Com essa tecnologia, não há perda de tempo e o processo de polinização é o mais eficaz possível. Usando receptores GPS integrados em cada dispositivo, os produtores ganham controle total e rastreiam e gerenciam facilmente as áreas polinizadas diariamente, com todos os dados facilmente acessíveis em um painel intuitivo. (BloomX)

O fundador da BloomX, percebeu que um dispositivo de polinização precisava apenas funcionar como uma abelha, não parecer visualmente. De acordo o site oficial da empresa, já foram polinizadas mais de 1.750.000 plantações de mirtilo, em decorrência do dispositivo polinizador desenvolvido.

³² Informação disponível em: <https://nocamels.com/2022/05/bee-tech-world-startups/>

Figura 27 – Dispositivo Robee



Fonte: Site oficial da BloomX³³

Em resumo, cada projeto foi escolhido por um critério diferente: o Disco D'água Nucleário pela sua capacidade desmontável, durável e resistente; os Robobee pelas aplicações de duas estratégias integrativas e materiais específicos para suas funções; e por fim, o Robee pela sua excelente execução característica das abelhas — a vibração — em uma ampla escala de atuação. Os quadros a seguir (Quadro 6 e 7) sintetizam a análise comparativa dos produtos, evidenciando os aspectos destacados nos critérios definidos.

Quadro 6 – Análise comparativa de similares (Parte 1)

Nome	Função	Estratégia biológica	Material	Tamanho
Disco D'água Nucleário	Plantio de mudas em larga escala	Bromélias tanque (acúmulo de água) e serrapilheira (Camada orgânica)	Plástico PP (polipropileno) e tecido 100% poliéster	Módulo: 69 cm de comprimento, 48 cm de largura e 9 cm de altura
RoboBee	Polinização artificial e monitoramento ambiental	Moscas (Voo e controle neural) e abelhas (Navegação aérea).	Tiras de cerâmica, dobradiças finas de plástico e fibra de carbono	Envergadura das asas: aprox. 3 cm. Comprimento do corpo: aprox. 2 cm

³³ Disponível em: <https://www.bloomx.ag/#products>

Robee	Polinização por vibração	Abelhas mamangavas (do gênero <i>Bombus</i>)	Componentes metálicos ou compósitos e na estrutura, alumínio ou polímero reforçado	Não há especificações exatas do tamanho
-------	--------------------------	---	--	---

Fonte: Elaborada pela autora.

Quadro 7 – Análise comparativa de similares (Parte 2)

Nome	Uso	Presença de tecnologia	Composição visual
Disco D'água Nucleário	Manual e desmontável	Não	Módulo com formato de bromélia e cor branca
RoboBee	É controlado por meio de algoritmos com coordenação múltipla e sensores	Sim	Forma mecânica miniaturizada de abelhas
Robee	Utiliza algoritmos preditivos, receptores GPS e cobre grandes áreas agrícolas	Sim, especialmente circuitos elétricos	Assemelha-se a um cortador de grama robusto, com braços vibratórios

Fonte: Elaborada pela autora.

5.1.5. Diretrizes projetuais

Antes de apresentar as diretrizes projetuais, torna-se necessário reforçar as definições feitas até o momento. Considerando um cenário especulativo de colapso ecossistêmico, o problema central está em como o design pode contribuir para restaurar o equilíbrio com a natureza, com um objeto que possui viés simbólico, narrativo e provocativo diante da emergência ambiental.

O público-alvo principal são agricultores resilientes e técnicos ambientais com atuação regenerativa, que poderão atuar em comunidades agroecológicas do futuro. Com isso, a proposta de valor está no conceito de um artefato inspirado na biomimética, que simula o processo de polinização. Como referência comparativa, destacam-se três projetos: Disco D'água Nucleário, RoboBee e RoBee, que oferecem contribuições relevantes para pensar a interface entre ecologia e design.

A partir dessa fixação, torna-se possível organizar os requisitos do projeto de forma mais estratégica e visual com o Diagrama de Ishikawa — também conhecido como Diagrama Espinha de Peixe — que consiste em uma ferramenta proposta por Kaoru Ishikawa, podendo ser aplicada no design para “sintetizar dentro do processo de projeto” (Pazmino, 2015, p. 156), permitindo estruturar e hierarquizar os componentes necessários para a formulação das diretrizes.

No presente trabalho, o diagrama (Gráfico 3) foi utilizado para sistematizar as diretrizes de projeto a partir do problema da perda de polinizadores, considerando os seguintes fatores-chave previamente levantados e alinhados com a proposta de valor, o público-alvo e a análise dos similares: Inspiração biomimética, narrativa especulativa, materialização, público-alvo, estética e simbologia; e documentação especulativa.

Gráfico 3 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2. Fase 2: Cenário

O cenário futuro foi desenvolvido a partir da abordagem do *design fiction*, sendo utilizado como estratégia projetual para contextualizar o artefato biomimético proposto. Essa construção especulativa permitiu estabelecer as condições ambientais e tecnológicas nas quais o artefato se insere, servindo como base para a

definição de suas funções, significados e relações com o público. Para estruturar conceitual e visualmente esse cenário, foram elaborados três painéis semânticos, empregados como ferramentas de apoio no contexto do design especulativo.

Segundo Pazmino (2015), os painéis semânticos consistem em instrumentos de apoio ao processo criativo, destinados à organização de referências visuais e conceituais que auxiliam na definição de significados, valores e diretrizes estéticas do projeto. Esses painéis possibilitam a tradução de conceitos abstratos em linguagem visual, contribuindo para a coerência entre a proposta conceitual e a materialização projetual.

O painel de conceito do cenário (Figura 28) tem como finalidade representar graficamente o contexto ambiental e tecnológico no qual o projeto se insere. Ele reúne referências visuais que auxiliam na construção da atmosfera do futuro especulativo, evidenciando as consequências ambientais e sociais decorrentes do agravamento da crise climática e da perda da biodiversidade.

Figura 28 – Painel de conceito do cenário caótico



Fonte: Elaborado pela autora, com imagens do Canva³⁴ e Pexels³⁵.

³⁴ Canva é uma plataforma digital de design gráfico, criada em 2013, que permite a criação de materiais visuais por meio de modelos editáveis. Disponível em: www.canva.com/pt_br/about/

³⁵ Pexels é um banco de imagens e vídeos livres de direitos autorais para uso pessoal e comercial. Disponível em: www.pexels.com/pt-br/about/

Em seguida, foi elaborado o painel público-alvo (Figura 29), que representa os agricultores resilientes inseridos em comunidades agroecológicas, funcionando como uma ancoragem humana dentro do cenário especulativo.

Figura 29 – Painel público-alvo



Fonte: Elaborado pela autora, com imagens do Canva e Pexels.

Por fim, desenvolveu-se o painel do futuro preferível (Figura 30), que projeta um horizonte desejável a partir do cenário apresentado, propondo possibilidades de reequilíbrio entre tecnologia e natureza, após a inserção do produto conceitual polinizador.

Figura 30 – Painel de conceito do futuro preferível



Fonte: Elaborado pela autora, com imagens do Canva e Pexels.

A partir da articulação entre o cenário colapsado, o público-alvo e o futuro preferível, foi construída uma narrativa especulativa que integra esses elementos e permite situar o artefato conceitual em um contexto de uso, significado e coexistência ambiental.

5.2.1. Construção narrativa do cenário futuro

Com o intuito de aprofundar o cenário futuro proposto e tornar explícitas suas dinâmicas temporais, foi desenvolvido um prólogo especulativo³⁶ acompanhado de uma linha do tempo. Esses elementos atuam como ferramentas projetuais de *worldbuilding*³⁷, compreendidas como estratégias de construção de cenários especulativos e universos narrativos coerentes, conforme as abordagens de *design fiction* e *speculative design* discutidas por Dunne e Raby (2013).

“O ano é 2085. O mundo carrega as cicatrizes de um colapso ambiental irreversível. O ar é pesado, as estações perderam o compasso, e os campos outrora férteis tornaram-se extensões áridas ou encharcadas por tempestades imprevisíveis. Os polinizadores desapareceram quase por completo e com eles, se foram flores, frutos e parte da diversidade que sustentava a vida.

Para sobreviver, a humanidade construiu um frágil equilíbrio entre tecnologia e os últimos resquícios da natureza. Nas cidades, estufas fechadas e jardins artificiais alimentam a população com o auxílio de artefatos polinizadores que cultivam algas e fungos. As comunidades aprenderam a reaproveitar cada gota d’água e a nutrir plantas geneticamente adaptadas a solos empobrecidos.

Ainda assim, persiste um desejo profundo de reconexão: não basta manter a vida, é preciso reencontrar a natureza perdida. Nesse cenário, surgem artefatos biomiméticos, frutos da cooperação entre design e ecologia, que não substituem a natureza, mas buscam restaurar laços interrompidos. São símbolos de esperança em meio a um mundo marcado pela escassez.” (Elaborado pela autora)

³⁶ Em conjunto com o prólogo, foi desenvolvido uma edição de vídeo com ambientação. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/DOI-4gXDgGv/>

³⁷ Tradução: Construção de mundo. Consiste na criação de um mundo ficcional, que seja plausível com o contexto, utilizado em projetos de design especulativo e design fiction. Disponível em: www.merriam-webster.com/dictionary/world%20building

Para compreender como esse cenário se consolidou, é necessário olhar para o processo — não como um evento isolado, mas como uma sucessão de escolhas, rupturas e adaptações ao longo das décadas. A linha do tempo a seguir delinea os principais acontecimentos ambientais, sociais e tecnológicos que conduziram o mundo ao frágil equilíbrio observado em 2085.

5.2.2. Linha do tempo especulativa (2025 a 2105)

Uma linha do tempo especulativa (Figura 31) foi elaborada para evidenciar, que o colapso ambiental não ocorre de forma abrupta, mas como um processo gradual, marcado por eventos críticos, respostas adaptativas e tentativas de reequilíbrio entre tecnologia e natureza. Ao longo desse percurso, torna-se evidente a fragilidade dos sistemas naturais, em especial no que se refere à perda dos polinizadores.

Figura 31 – Representação gráfica da linha do tempo especulativa



Fonte: Elaborado pela autora

● 2025–2044: Aceleração e negação

Nesta primeira fase, a crise ambiental se intensifica de forma progressiva, impulsionada pelo uso extensivo de recursos naturais e pela dependência de tecnologias orientadas prioritariamente à eficiência econômica. O aumento da temperatura global (+1,5 °C)³⁸, a recorrência de eventos climáticos extremos e a

³⁸ Esse dado faz referência ao relatório publicado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) em 2024. Disponível em: <https://library.wmo.int/idurl/4/68910>

degradação de ecossistemas tornam-se cada vez mais evidentes. De forma síncrona, tecnologias digitais de monitoramento ambiental e agricultura de precisão avançam rapidamente, porém são majoritariamente aplicadas para maximizar a produção, sem reverter de forma significativa os impactos ecológicos. A perda gradual de habitats e o declínio das populações de polinizadores passam a ser reconhecidos como sinais de alerta, ainda tratados como problemas passíveis de correção futura.

- **2045–2071: Colapso e resposta emergencial**

Entre 2045 e 2070, o desequilíbrio ambiental atinge um ponto crítico, caracterizado pela perda acelerada da biodiversidade, pela extinção local de espécies polinizadoras e pela ruptura de cadeias alimentares. A crise deixa de ser abstrata e passa a afetar diretamente a segurança alimentar, a estabilidade social e a organização das cidades. Nesse contexto, a tecnologia assume um papel emergencial: surgem sistemas artificiais de polinização, biotecnologias agrícolas, estufas fechadas e automatizadas, desenvolvidas como respostas rápidas à escassez. No entanto, essas soluções revelam-se fragmentadas e insuficientes, reforçando a percepção de que a substituição da natureza por sistemas artificiais não é sustentável a longo prazo.

- **2072–2085: Reconfiguração e coexistência frágil**

No período entre 2070 e 2085, consolidou-se uma fase de reconfiguração dos modos de vida humanos. Comunidades resilientes passam a combinar saberes tradicionais, práticas agroecológicas e tecnologias adaptativas de baixo impacto, buscando formas de coexistência com os ecossistemas remanescentes. A produção de alimentos depende majoritariamente de sistemas controlados, enquanto a polinização natural torna-se insuficiente para sustentar a biodiversidade existente. Nesse cenário, intensifica-se o desenvolvimento de tecnologias biomiméticas e artefatos híbridos, concebidos como mediadores ecológicos, capazes de atuar em cooperação com plantas, solo e microrganismos. Apesar dos avanços, o equilíbrio entre tecnologia e natureza permanece instável e constantemente ameaçado.

- **2105: Equilíbrio da vida**

No ano de 2105, após décadas de experimentação e adaptações, estabelece-se um novo paradigma de convivência entre seres humanos, tecnologia e natureza. A inovação tecnológica passa a ser orientada por princípios ecológicos e biomiméticos, priorizando a cooperação com os sistemas vivos em vez de sua exploração. Artefatos biomiméticos integram-se aos ecossistemas como extensões cuidadosas da natureza, auxiliando na regeneração da biodiversidade e na estabilidade dos sistemas ecológicos. Nesse contexto, a tecnologia deixa de ser um agente de controle e passa a atuar como parceira dos processos naturais, refletindo uma compreensão amadurecida de que o avanço humano só é possível quando alinhado aos limites e à inteligência da vida.

Por isso, emerge a necessidade de soluções que não apenas mitiguem os impactos da crise ambiental, mas que também proponham novas formas de coexistência entre seres humanos e ecossistemas. Assim, a construção do artefato parte diretamente das condições estabelecidas no cenário especulativo e de seus marcos temporais, atuando como mediador entre tecnologia, natureza e práticas agroecológicas, incorporando princípios da biomimética e do design especulativo.

5.2.3. Documentação especulativa

No presente trabalho, a linguagem e os meios de veiculação dos pôsteres evoluem ao longo da linha do tempo de acordo com as transformações tecnológicas e socioambientais do cenário especulativo, alinhando-se aos princípios do *design fiction*, conforme proposto por Dunne e Raby (2013), ao utilizar objetos, imagens e sistemas como “protótipos discursivos”, cuja função não é oferecer soluções definitivas, mas tornar tangíveis debates complexos, como evidências narrativas de mundos possíveis, capazes de materializar cenários futuros e estimular questionamentos sobre os rumos ecológicos, sociais e tecnológicos do presente.

A numeração e a datação dos relatórios futuristas (Quadro 8) adotam um sistema contínuo e regular, no qual o ano de 2025 é definido como marco inicial — Ano I — e a publicação ocorre de forma quinzenal, totalizando duas edições mensais. Essa escolha temporal visa aferir plausibilidade ao artefato especulativo,

atuando como um dispositivo narrativo e crítico, no qual a repetição periódica das publicações evidencia a crise no cotidiano social.

Quadro 8 – Relação de datas e edições dos relatórios

DIA E MÊS	ANO	ANO DO COLAPSO	EDIÇÃO
19 de janeiro	2025	I	1
7 de março	2033	IX	197
3 de setembro	2068	XLIV	1.047
24 de dezembro	2085	LXI	1.463
5 de janeiro	2105	LXXXI	1.921

Fonte: Elaboração pela autora.

No período inicial, entre 2025 e 2044, o pôster (Figura 32) possui caráter informativo e de alerta, sendo veiculados tanto em suportes impressos analógicos quanto, predominantemente, em meios digitais convencionais, como portais de notícias, sites institucionais e jornais online. Trata-se de um contexto ainda próximo da realidade contemporânea, no qual a comunicação digital é amplamente acessível. A estética aproxima-se do jornalismo contemporâneo, com grids reconhecíveis e organização visual mais estável, reforçando a ideia de um futuro ainda percebido como controlável.

Intitulado como Prelúdio do declínio de polinizadores, a edição N.º 197 do Arquivo Comunitário Agroecológico, apresenta duas colunas de informações especulativas seguidas de imagens ilustrativas, sendo destacado a redução média de 42% nas populações de polinizadores em áreas agrícolas, ocasionado pela combinação de agrotóxicos intensivos e variações térmicas extremas.

Em seguida, há um relato de uma agricultora do interior de Minas Gerais, que afirma a queda súbita no rendimento de seu pomar de maçãs — pela ausência de abelhas — ocasionando a dependência de polinização manual, que requer mais gasto físico e financeiro. Na coluna direita, há um anúncio sobre uma reunião pública sobre redução de agrotóxicos, organizada pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Fortaleza, onde serão discutidas estratégias de transição agrícola e alternativas de manejo sustentável.

Figura 32 – Relatório Ano IX em 2033



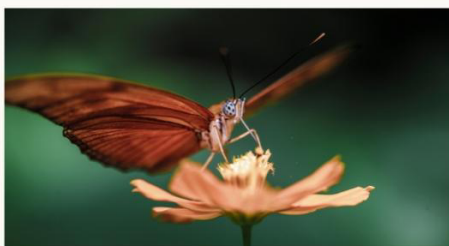
ARQUIVO COMUNITÁRIO AGROECOLÓGICO

Edição nº 197

Ano IX — Fortaleza, segunda-feira,
7 de março de 2033

PRELÚDIO DO DECLÍNIO DE POLINIZADORES

Levantamento do Instituto Nacional de Ecossistemas indica redução média de 42% nas populações de polinizadores em áreas agrícolas intensivas. A combinação de agrotóxicos sistêmicos, perda de habitat e variações térmicas extremas tem acelerado o desequilíbrio ecológico. Pesquisadores reforçam que os efeitos sobre cadeias alimentares se tornam visíveis quando a taxa de declínio ultrapassa 30%, patamar excedido em 12 das 20 regiões monitoradas.



Créditos: pkphotoscom de Getty Images



Créditos: Worleddit de Getty Images

Reunião pública sobre redução de agrotóxicos

A Secretaria Municipal de Meio Ambiente convida moradores para discutir estratégias de transição agrícola e alternativas de manejo sustentável.

- Auditório da Câmara Municipal
- Quinta-feira, 10 de março – 18h

“Meu pomar não floresce mais como antes”, diz agricultora

No interior de Minas, a produtora Neide Duarte relata a queda súbita no rendimento de seu pomar de maçãs. “Antes, era só esperar a visita das abelhas. Agora, passo dias olhando as flores e não vejo movimento nenhum.” Ela afirma que nunca imaginou depender de polinização manual. “É cansativo e caro, mas é isso ou perder tudo.” Seu relato reflete a nova realidade de pequenos agricultores em todo o país.

Autoridades admitem que a queda de abelhas e borboletas ultrapassa projeções e impacta diretamente preços de frutas e grãos.



Créditos: Djordje_Stojiljkovic de Getty Images

À medida que o colapso ambiental se intensifica, a linguagem gráfica (Figura 33 e 34) torna-se progressivamente mais agressiva e fragmentada, incorporando cores de alerta, contrastes elevados, tipografias de impacto e elementos gráficos associados a risco e emergência. Entre 2045 e 2071, com o avanço tecnológico e o agravamento da crise ambiental, a divulgação das informações passa a ocorrer por meio de tecnologias imersivas, como dispositivos holográficos, projeções espaciais e interfaces acessadas por realidade virtual ou aumentada, ampliando a dimensão sensorial e espacial da comunicação.

Na edição N.º 1074 do Arquivo Comunitário Agroecológico, a notícia em destaque consiste na consequência do desaparecimento de polinizadores na produção de alimentos, indicando colapso progressivo dos sistemas agrícolas em diversas regiões do país. O texto informa sobre relatórios divulgados por centros independentes de monitoramento ambiental, confirmando a redução crítica das populações de polinizadores naturais, afetando a estabilidade das comunidades agrícolas. Em 2068, os especialistas alertam sobre a capacidade limitada de regeneração dos ecossistemas, por causa da ausência desses animais essenciais para a sobrevivência humana e consequências diretas, como longos períodos de seca intercalados com tempestades intensas.

Em 2085, a edição N.º 1463 do Arquivo Comunitário apresenta a urgência diante ao estado crítico da biodiversidade global e crises humanitárias, após décadas de exploração e instabilidade climática, acarretando extensas áreas de solos empobrecidos, perdas imensuráveis da fauna e flora do planeta. Na parte esquerda e inferior do pôster, há quatro tópicos destacados com fatores que estão em alerta: Aumento de 3,2°C na temperatura global, redução superior a 85% de polinizadores naturais, 62% de áreas agrícolas e escassez hídrica severa em diversas regiões do planeta. Por fim, há uma lacuna nomeada como “Esperança em meio ao caos”, que comunica sobre projetos de artefatos biomiméticos polinizadores, inspirados em estruturas naturais de insetos e plantas, propondo uma atuação sensível e cooperativa com a natureza remanescente, construídos a partir de materiais orgânicos e de baixo impacto ambiental, buscando auxílio em processos de polinização, enquanto a natureza se reorganiza.

Figura 33 – Relatório Ano XLIV em 2068

ARQUIVO COMUNITÁRIO AGROECOLÓGICO Edição nº 1.047

Ano XLIV — Fortaleza, segunda-feira,
3 de setembro de 2068

DESAPARECIMENTO DE POLINIZADORES AMEAÇA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

Relatórios ambientais indicam colapso progressivo dos sistemas agrícolas em diversas regiões.

Relatórios divulgados por centros independentes de monitoramento ambiental confirmam a redução crítica das populações de polinizadores naturais em diferentes ecossistemas. A ausência desses agentes compromete diretamente culturas essenciais, afetando a produção de alimentos e a estabilidade das comunidades agrícolas.

Agricultores relatam perdas sucessivas e dificuldades para manter ciclos de plantio diante de condições climáticas instáveis, caracterizadas por longos períodos de seca intercalados com tempestades intensas. Especialistas alertam que, sem a presença dos polinizadores, a capacidade de regeneração dos ecossistemas torna-se severamente limitada.

Colapso ecológico e efeito cascata

Estudos recentes apontam que a combinação entre mudanças climáticas extremas, degradação do solo e práticas agrícolas intensivas acelerou a perda de espécies polinizadoras. A interrupção desses ciclos naturais desencadeia um efeito cascata, comprometendo a biodiversidade e a segurança alimentar em médio e longo prazo.

"Nunca atravessamos uma estação inteira sem flores. A terra parece viva, mas silenciosa."

— Agricultora de comunidade rural, região sul

Créditos de imagem: piyaset de Getty Images

Créditos de imagem: Darren Lynch de Getty Images

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 34 – Relatório Ano LXV em 2085

ARQUIVO COMUNITÁRIO AGROECOLÓGICO Edição nº 1463

Ano LXI — Fortaleza, segunda-feira,
24 de dezembro de 2085

Biodiversidade global entra em estado crítico após décadas de exploração e instabilidade climática

O ano de 2085 marca um dos períodos mais críticos da história ambiental recente. A combinação entre o colapso dos ecossistemas, a perda quase total dos polinizadores naturais e o agravamento das mudanças climáticas levou extensas regiões do planeta a estados de infertilidade permanente. Tempestades imprevisíveis, solos empobrecidos e a escassez de alimentos tornaram-se parte da rotina de inúmeras comunidades.

Relatórios ambientais indicam que mais de 70% das espécies vegetais dependentes de polinização cruzada entram em risco de extinção funcional. A perda de flores, frutos e sementes comprometeu cadeias alimentares inteiras, aprofundando desigualdades sociais e crises humanitárias.

DANGER

ESPERANÇA EM MEIO AO CAOS

Em resposta ao agravamento da crise ambiental, redes de comunidades agroecológicas e centros independentes de pesquisa iniciaram o desenvolvimento de artefatos biomiméticos polinizadores, inspirados em estruturas naturais de insetos e plantas.

Diferentemente das tecnologias artificiais invasivas do passado, esses artefatos propõem uma atuação sensível e cooperativa com os ecossistemas remanescentes. Construídos a partir de compósitos orgânicos e materiais de baixo impacto, os dispositivos buscam atuar como mediadores temporários, auxiliando processos de polinização enquanto a natureza se reorganiza.

- Aumento da temperatura global: +3,2 °C
- Polinizadores naturais: redução superior a 85%
- Áreas agrícolas improdutivas: 62%
- Escassez hídrica severa em múltiplas regiões

Fonte: Elaborado pela autora

Após a etapa de revisão da representação gráfica da linha do tempo, identificou-se que a diagramação adotada nos arquivos anteriores, apresentava uma padronização contemporânea excessiva, aproximando-se de formatos editoriais convencionais e pouco condizentes com a proposta de um futuro marcado por alta complexidade tecnológica. Diante disso, optou-se pelo desenvolvimento de uma segunda solução visual, explorando múltiplas camadas de informação, possibilidades de acesso virtual, incluindo referências à realidade aumentada, com forte influência da ambientação de *cyberpunk*. Essa reformulação reforça a coerência entre linguagem visual, narrativa de *design fiction* e o cenário futurista proposto pelo projeto.

Segundo Lemos (2004), *cyberpunk* é um subgênero da ficção científica, conectando altas tecnologias e desordem urbana, um futuro distópico no qual a tecnologia transborda pelas ruas. Nesse contexto, as notícias especulativas (Figura 35) serão incorporadas à paisagem das cidades por meio de grandes telões e superfícies digitais de larga escala, integrando-se à infraestrutura urbana.

Figura 35 – Relatório Ano LXI ambientado em 2085



Fonte: Elaborado pela autora

A produção desses materiais é atribuída a instituições responsáveis pela preservação ambiental e pela gestão da biodiversidade, como o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)³⁹, além de centros de pesquisa e organizações ambientais. Quanto aos formatos, propõe-se o uso do A2 (42 × 59,4 cm) para exposição em espaços urbanos e um tamanho aproximado de 25,5 x 47 cm para distribuição direta à população, podendo ser redimensionável para telas digitais, visto que o acesso habitual de experiências em realidade aumentada.

5.3. Fase 3: Artefato

O desenvolvimento conceitual do artefato biomimético baseou-se nas análises de similares e nas estratégias biológicas observadas ao longo da fundamentação teórica, considerando aspectos de forma, função e interação, capaz de se inserir de maneira coerente na lógica do contexto futurista proposto.

Para orientar esse processo, foi elaborado um painel de conceito⁴⁰ (Figura 36), que segundo Pazmino (2015) consiste em uma representação dos significados e das sensações que o objeto deve transmitir em primeira instância.

Figura 36 – Painel de conceito



Fonte: Moodboard desenvolvido pela autora, com imagens do Canva e Pinterest.

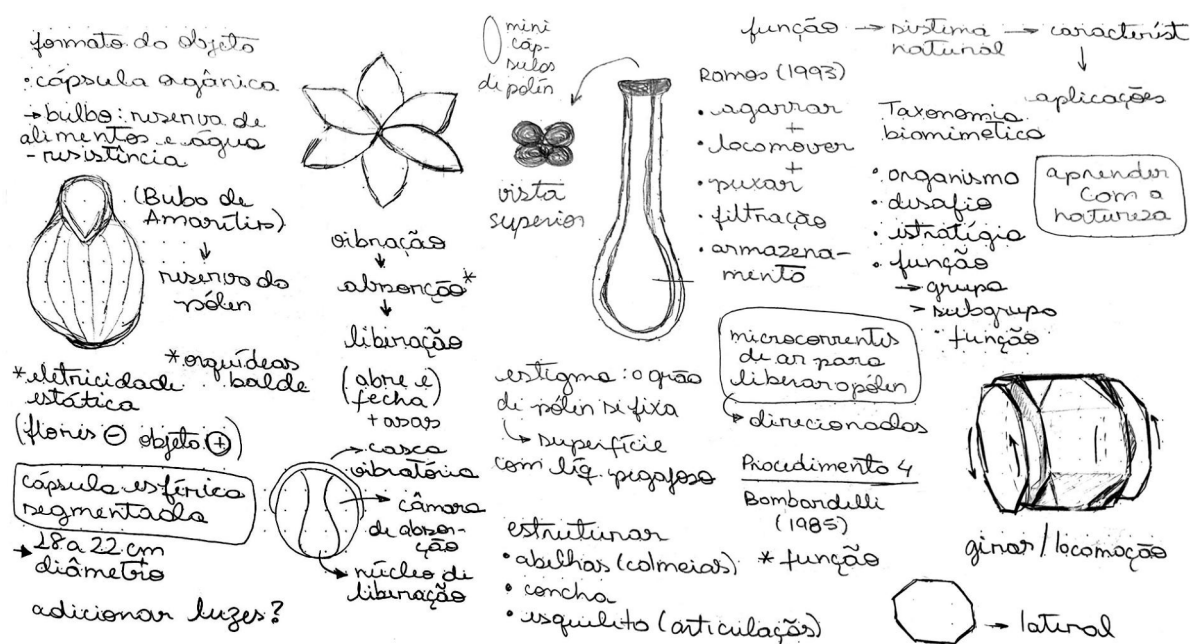
³⁹ Responsável pelo O Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Insetos Polinizadores Ameaçados de Extinção – PAN Insetos Polinizadores, em vigor desde 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/pan/pan-insetos-polinizadores>

⁴⁰ A ferramenta também é conhecida como *Concept Board*. (Pazmino, 2015. p. 166)

5.3.1. Geração de ideias

A partir dessas definições visuais, deu-se início ao processo de geração de ideias (Figura 37), com estudo sobre o armazenamento de pólen nas flores, bem como sobre funções e formas passíveis de serem aplicadas ao artefato. Nessa etapa, a técnica criativa da biônica foi empregada como instrumento de analogia projetual, orientando a interpretação de estruturas e processos naturais para a concepção do objeto. Os sketches⁴¹ desenvolvidos traduzem esse raciocínio ao explorar referências como bulbos vegetais e estruturas florais, associadas às funções de proteção, armazenamento e liberação controlada do pólen.

Figura 37 – Anotações das primeiras ideias



Fonte: Elaborado pela autora.

Aspectos como a segmentação da cápsula, a presença de uma câmara interna de retenção e os mecanismos de abertura e fechamento dialogam diretamente com estratégias naturais observadas em flores e sementes. Os desenhos investigam o uso da vibração como princípio funcional, inspirada em processos naturais de polinização vibrátil, articulando as etapas de absorção, retenção e liberação do pólen. A locomoção aérea e a integração entre asas e

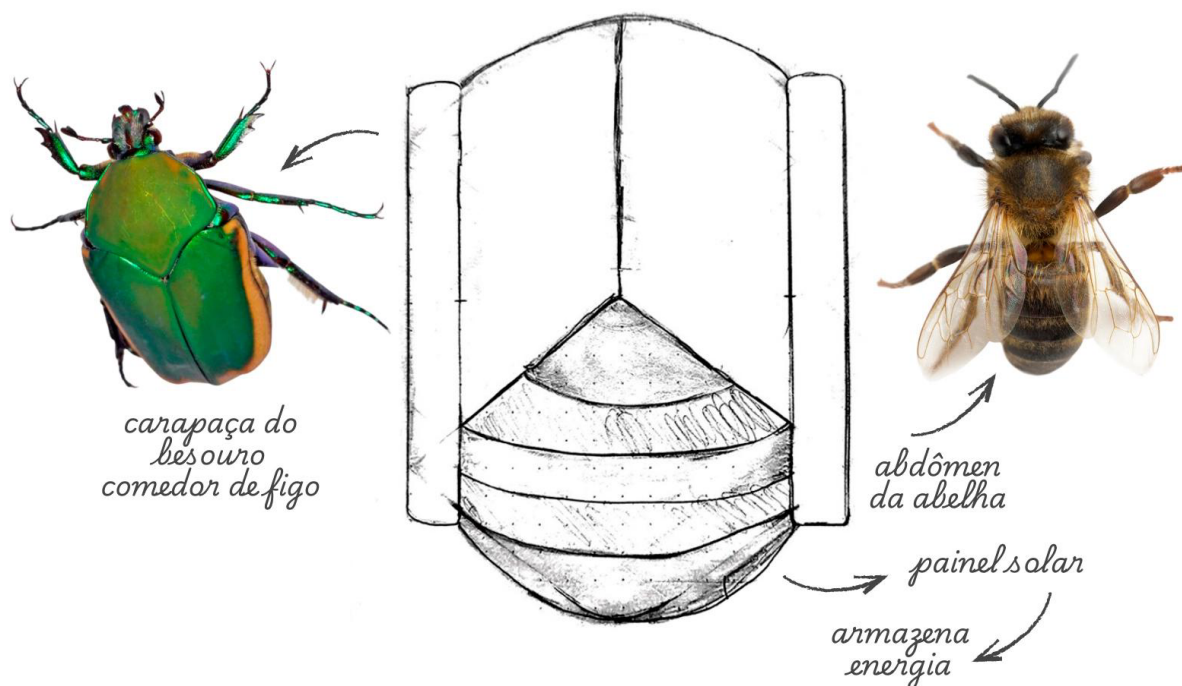
⁴¹ Segundo Silva e Nakata (2012), para os designers o sketch "constitui-se em uma ferramenta essencial e vital para transmitir conceitos e ideias sobre os produtos criados, quer sejam bidimensionais ou tridimensionais".

hélices também são exploradas por meio de formas orgânicas e estruturas articuladas, remetendo ao comportamento de insetos polinizadores.

- **Ideia I**

Nessa primeira ideia, foram observados diferentes organismos para a composição do artefato, visto sua locomoção terrestre. Na parte superior (Figura 38), temos a escolha do besouro-do-figo (*Cotinis mutabilis*) como referência biomimética, baseia-se na resistência estrutural e na coloração verde metálica de sua carapaça, características associadas à proteção, durabilidade e camuflagem no ambiente natural. Essa carapaça inspira o compartimento externo do artefato, concebido para abrigar e proteger os sistemas mecânicos e eletrônicos internos.

Figura 38 – Vista superior da Ideia I



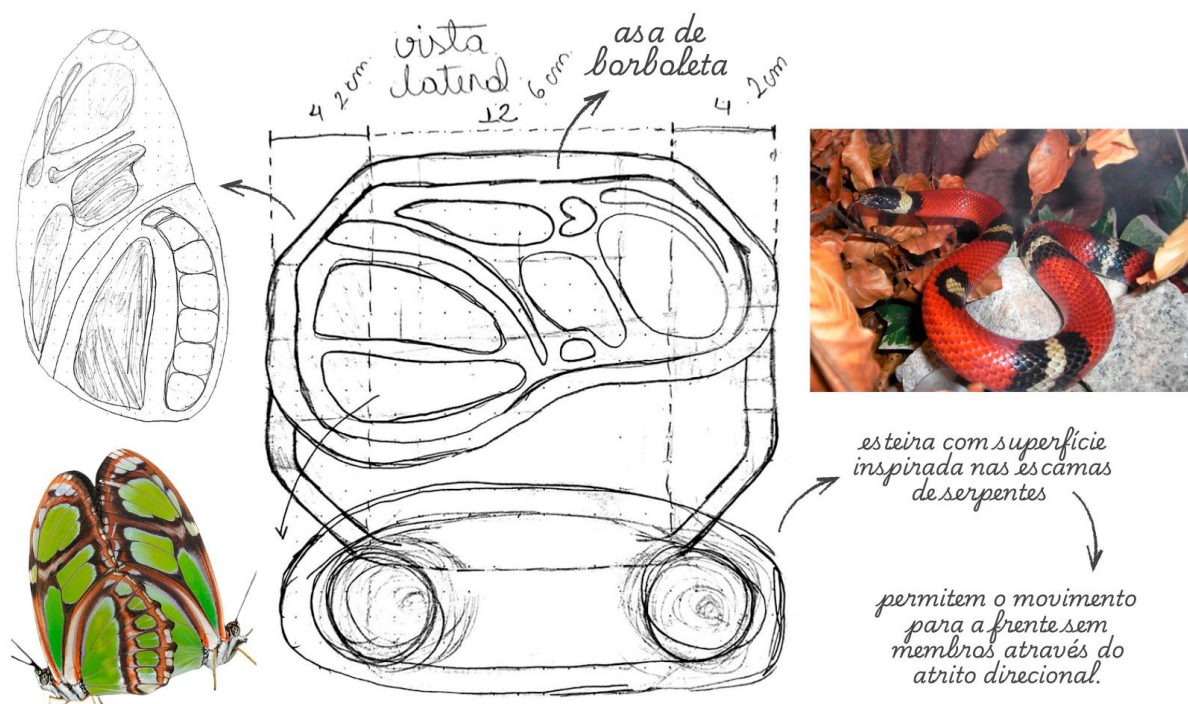
Fonte: Elaborado pela autora

Além disso, o abdômen listrado da abelha foi adotado como referência formal e funcional para a parte superior da base do artefato, devido à sua associação direta com a polinização e com a captação de energia no ecossistema. As camadas correspondentes ao abdômen da abelha foram reinterpretadas como painéis solares sobrepostos, responsáveis pela absorção energética, estabelecendo uma analogia entre a coleta de pólen e a captação de energia solar. Dessa forma, a

combinação entre besouro e abelha articula proteção, eficiência energética e simbologia ecológica em um único sistema biomimético integrado.

Na parte lateral (Figura 39), temos uma estrutura em formato de asa de borboleta, com formas orgânicas, que ao levantar irá ativar a vibração. Para a locomoção, a esteira terá uma superfície inspirada nas escamas de serpentes, que permitem o movimento através do atrito direcional.

Figura 39 – Vista lateral da Ideia I



Fonte: Elaborado pela autora

- **Ideia II: FloBorbo**

No desenvolvimento do modelo “FloBorbo” (Figura 40), foi explorada uma combinação de referências morfológicas de um Beija-flor-rajado e da Borboleta-Esmeralda, visando equilíbrio aerodinâmico e estabilidade de voo. As asas foram desenvolvidas a partir do formato das asas de borboletas, privilegiando superfícies amplas, padrões vazados e simetria bilateral, o que contribui tanto para a redução de peso quanto para a eficiência do deslocamento aéreo.

Figura 40 – Vista superior do FloBorbo



Fonte: Elaborado pela autora

O corpo central (Figura 41), por sua vez, inspira-se na anatomia do beija-flor, organismo reconhecido por sua precisão de controle, leveza e capacidade de sustentação mesmo em voo estacionário, atributos essenciais para um objeto polinizador artificial. Essa combinação permitiu investigar uma configuração em que o corpo atua como eixo de estabilidade, enquanto as asas funcionam como elementos de sustentação e controle direcional, reforçando a coerência entre forma biológica e função técnica.

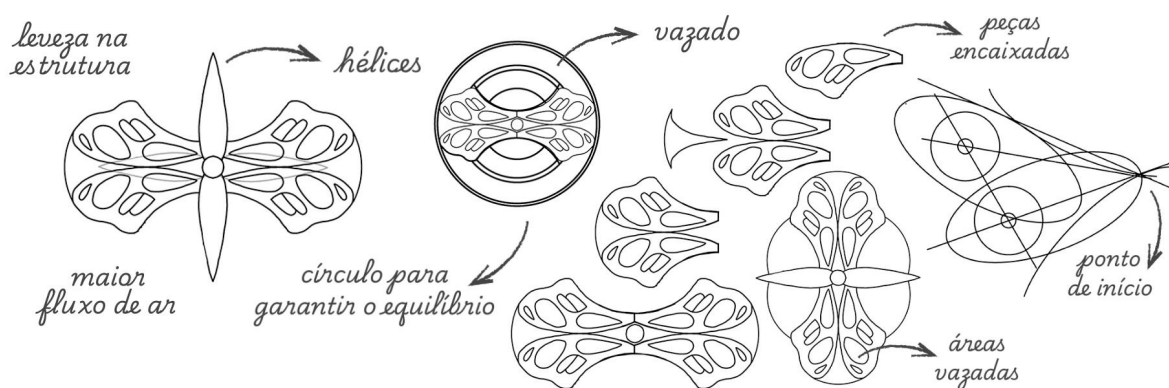
Figura 41 – Vista lateral do FloBorbo



Fonte: Elaborado pela autora

Em um segundo conjunto de sketches (Figura 42), foi investigada uma alternativa formal baseada na replicação da porção superior das asas de borboleta, explorando um sistema mais modular e construtivo. Nesse modelo, as asas são fragmentadas em peças encaixáveis, permitindo maior flexibilidade estrutural e facilitando processos de montagem, manutenção ou substituição de componentes.

Figura 42 – Conjunto de sketches com replicação e montagem de peças



Fonte: Elaborado pela autora

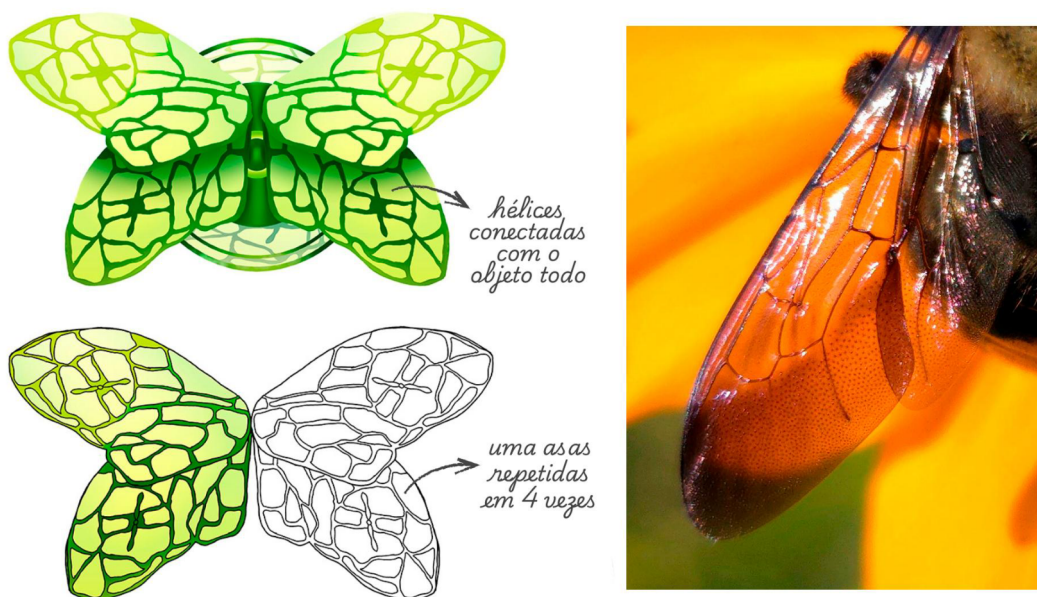
Diferente da proposta anterior, esta configuração incorpora uma hélice central, responsável pela propulsão vertical e horizontal do artefato. Para garantir a estabilidade durante o voo, foi proposta a adição de uma estrutura circular periférica, que atua como elemento de balanceamento e proteção, distribuindo melhor as forças aerodinâmicas. As áreas vazadas presentes nas asas permanecem como estratégia de otimização do fluxo de ar, mantendo a lógica biomimética associada à eficiência estrutural observada em organismos naturais.

- **Ideia III: *Spei Fuga***

Na terceira proposta conceitual — chamada *Spei Fuga*⁴² (Figura 43) — foi desenvolvido um modelo estrutural composto por quatro asas e quatro hélices, organizadas a partir de uma base circular central, complementada por duas circunferências auxiliares que atuam como pontos de apoio do artefato durante o contato com a planta. A morfologia das asas baseia-se em uma adaptação das veias das asas das abelhas, cujos padrões ramificados foram reinterpretados como estrutura funcional, integrando as hélices ao desenho de maneira orgânica.

⁴² Tradução do latim: Voo da esperança.

Figura 43 – Vista superior e referência principal do *Spei Fuga*



Fonte: Elaborado pela autora

A porção superior da base, responsável pelo encaixe das asas, foi projetada com mobilidade relativa, permitindo que o artefato realizasse curvas e ajustes de trajetória sem comprometer seu equilíbrio dinâmico. A disposição simétrica das asas no eixo vertical baseia-se na morfologia das libélulas (Figura 44), conferindo maior estabilidade durante o voo. Além disso, o espaçamento foi ajustado para funcionar como sistema de contrapeso, otimizando a estabilidade e a eficiência aerodinâmica das hélices, especialmente em operações de aproximação e permanência junto às flores.

Figura 44 – Libélula, espécie *Orthethrum*



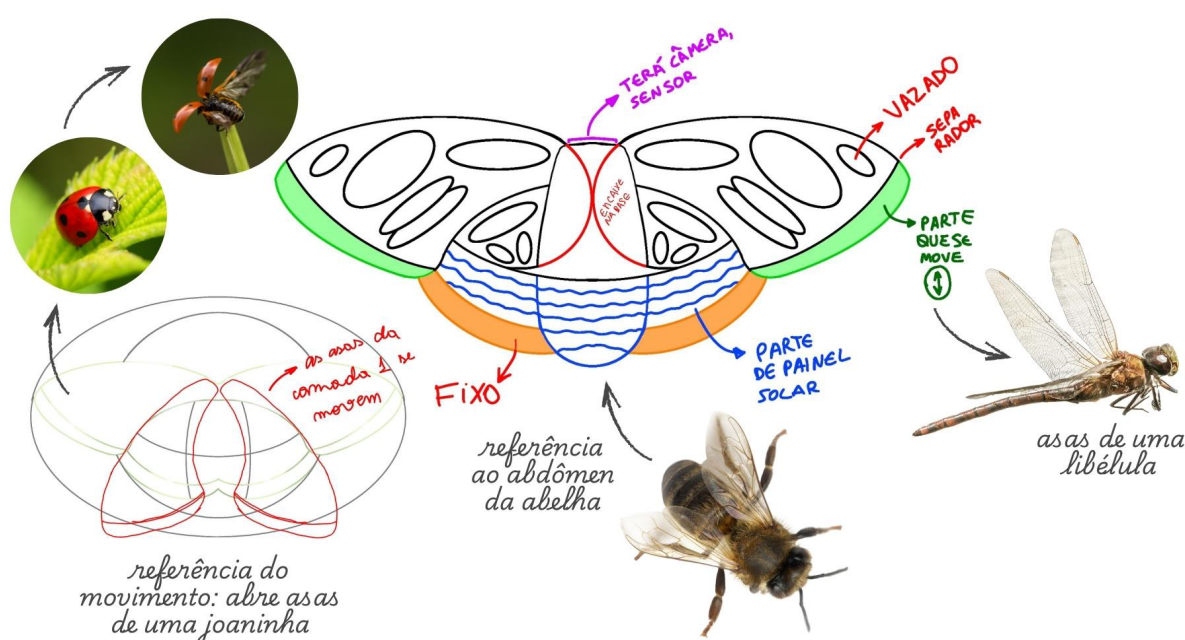
Foto de Erik Karits em Unsplash⁴³

⁴³ Unsplash é um banco de imagens com mais de 6 milhões de fotografias e ilustrações de alta resolução, que podem ser usadas gratuitamente para fins pessoais e comerciais.

- **Ideia IV: VOOLEN**

Nesta quarta e última proposta (Figura 45), nomeada como VOOLEN — referente ao voo do pólen — a configuração do corpo do objeto é inspirada na forma corporal da abelha, com ênfase na curvatura da extremidade do abdômen, cuja segmentação é reinterpretada por meio de camadas listradas que simbolizam e abrigam as áreas destinadas à recarga por energia solar.

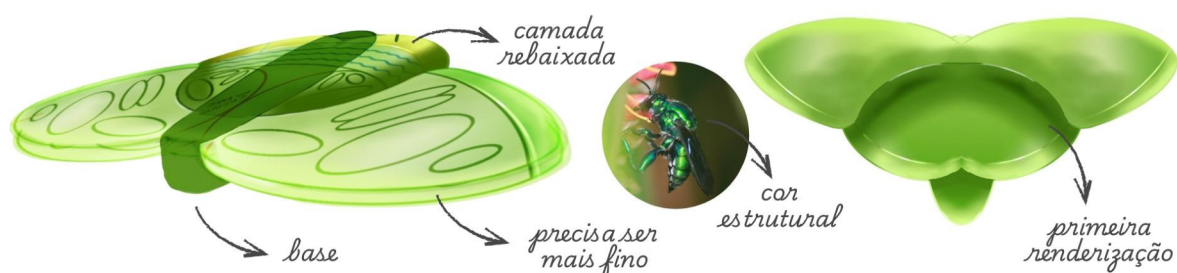
Figura 45 – Vista superior do primeiro sketch do VOOLEN



Fonte: Elaborado pela autora

As asas, por sua vez, são baseadas no formato das asas de borboleta (Figura 46), explorando sua amplitude e leveza visual. Elementos vazados e curvas orgânicas são aplicados nas asas exclusivamente com finalidade estética, reforçando a linguagem formal biônica do projeto.

Figura 46 – Detalhamento visual do VOOLEN



Fonte: Elaborado pela autora

Nas extremidades das asas superiores, observa-se a presença de componentes móveis, projetados para realizar movimentos de elevação e abaixamento, contribuindo para maior eficiência nas manobras em curvas durante o voo. Nesta proposta, apenas as asas superiores apresentam mobilidade, enquanto as demais estruturas permanecem fixas, estabelecendo um equilíbrio entre complexidade funcional, desempenho aerodinâmico e expressão formal.

Para a seleção da alternativa final, adotou-se uma ferramenta de avaliação (Quadro 8), em que os critérios projetuais foram organizados a partir do diagrama de Ishikawa, permitindo identificar fatores funcionais, técnicos e simbólicos relevantes ao contexto do projeto. Em seguida, esses critérios foram organizados em um checklist de critérios de seleção (Pazmino, 2015, p. 228), possibilitando a comparação entre as ideias desenvolvidas e a escolha da proposta com maior coerência sistêmica. O símbolo “O” indica que o critério é atendido pela proposta; o símbolo “X” indica que o critério não é atendido ou é atendido de forma insuficiente.

Quadro 8 – Avaliação comparativa das propostas conceituais

Critérios	Ideia I	FloBorbo	<i>Spei Fuga</i>	VOOLEN
Polinização por vibração	O	O	O	O
Estratégias biológicas	O	O	O	O
Adaptabilidade	X	X	X	O
Formas orgânicas inspiradas em organismos vivos	O	O	O	O
Integração visual com o ecossistema	X	O	X	O
Estrutura que fornece leveza	X	O	X	O
Coerência forma–função	X	X	O	O

Fonte: Elaboração pela autora

A aplicação do quadro comparativo permitiu uma avaliação sistemática das alternativas projetuais a partir de critérios qualitativos e funcionais previamente definidos. Observa-se que, embora todas as propostas apresentem referências biomiméticas e soluções formais inspiradas em organismos vivos, o VOOLEN demonstrou desempenho superior ao atender de forma integral a todos os critérios

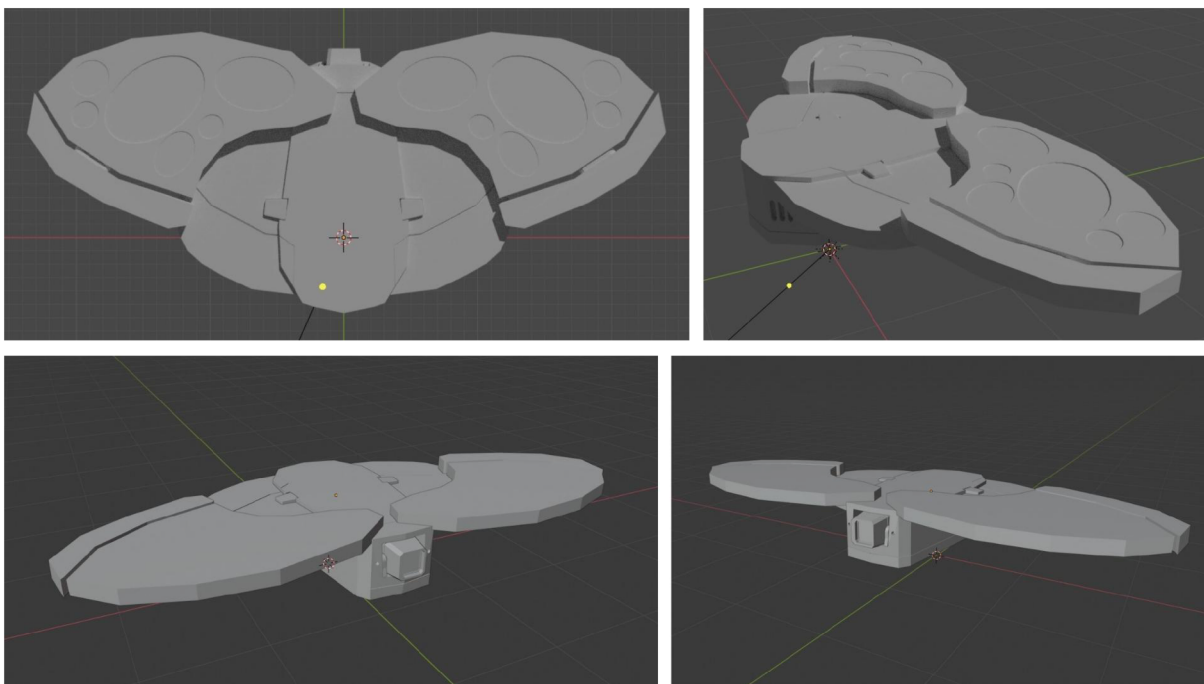
analisados. Destaca-se sua capacidade de adaptabilidade, a integração visual com o ecossistema, a leveza estrutural e a coerência entre forma e função, aspectos que não foram plenamente contemplados de maneira simultânea nas demais alternativas. Dessa forma, os resultados obtidos justificam a escolha do VOOLEN como alternativa final, cuja concepção será aprofundada no tópico seguinte, com detalhamento de seus fundamentos biológicos, soluções formais, lógica de funcionamento e inserção no futuro preferível.

5.3.2. Proposta escolhida: VOOLEN

A partir da geração e comparação de diferentes propostas formais e funcionais, a alternativa selecionada — VOOLEN — destacou-se pela coerência entre forma e funcionamento, apresentando maior potencial de integração ecológica no contexto projetado, ao incorporar princípios como leveza estrutural, eficiência energética e polinização por vibração. A configuração com asas móveis, superfície estampada e base central adaptativa permite articular voo, estabilidade e interação com as plantas de maneira integrada.

O primeiro desenho do VOOLEN passou por adaptações formais e estruturais, incluindo a aplicação de uma estampa inspirada nas veias das asas de abelhas, bem como a separação entre asas superiores móveis e asas inferiores fixas à base, garantindo maior equilíbrio e controle. A partir dessas definições, foi desenvolvido um modelo 3D (Figura 47), que serviu como base para a renderização digital, com o refinamento visual e técnico da proposta final.

Figura 47 – Modelo 3D do VOOLEN

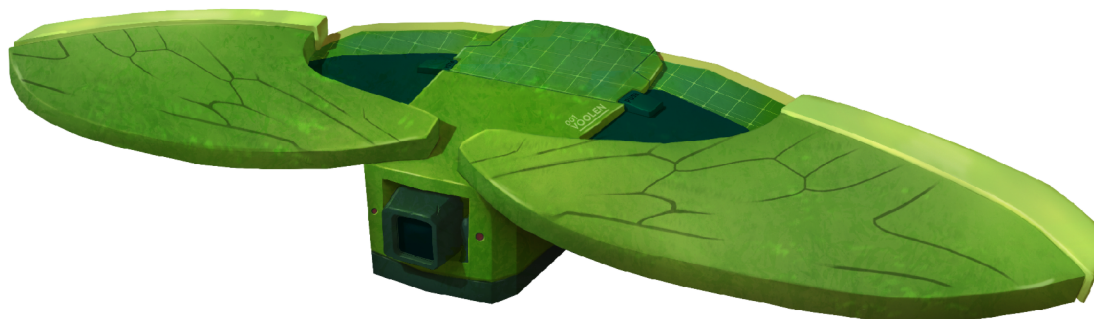


Fonte: Elaboração da autora, com modelação 3D por Pedro Ítalo (2026)

- **Funcionamento e interação**

O artefato (Figura 48) atua na polinização por meio de vibrações⁴⁴ inspiradas no comportamento das abelhas mamangavas — também conhecidas como abelhas carpinteiras — estimulando a liberação do pólen⁴⁵ sem danificar as flores, liberando para a ação natural do vento distribuir para o ambiente.

Figura 48 – Renderização digital do VOOLEN



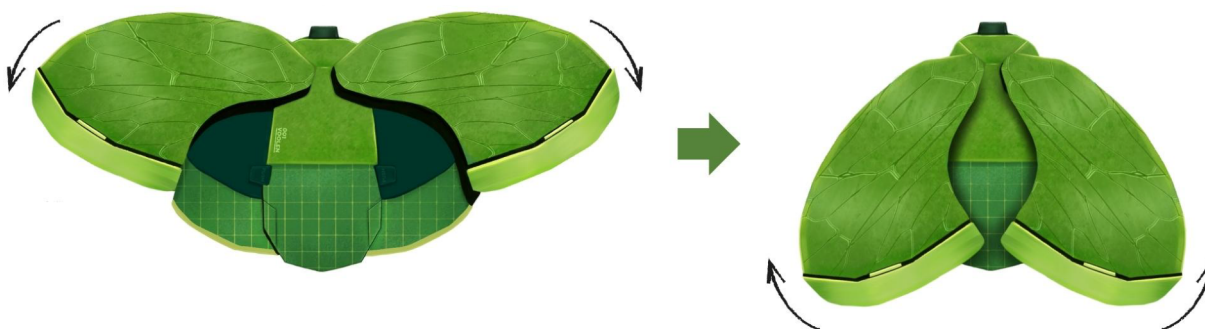
Fonte: Elaboração da autora, com renderização digital por Pedro Ítalo (2026)

⁴⁴ Vídeo com funcionamento detalhado do VOOLEN no futuro preferível, feito por Tiago Oliveira: https://drive.google.com/drive/folders/1LgTeEHISC9EwxlWA_w7JBvkbjZlcF4rZ?usp=sharing

⁴⁵ Vídeo demonstrativo da polinização por vibração da abelha mamangava (YouTube). Disponível em: <https://youtu.be/YGA9s0FQkVg>. Acesso em: 13 jan. 2026.

As asas móveis auxiliam na função polinizadora por meio da vibração (Figura 49), enquanto compartimentos internos possibilitam o armazenamento protegido dos sistemas tecnológicos, onde teremos o sistema de câmera (vista na parte frontal do VooLen), monitoramento em GPS, sensor de proximidade — para desviar possíveis obstáculos — e giroscópio⁴⁶.

Figura 49 – Movimento das asas superiores do VOOLEN



Fonte: Elaboração da autora

A interação com o usuário (Figura 50) ocorre de forma indireta, sendo o objeto projetado para operar de maneira semi autônoma⁴⁷. A atuação humana se faz presente na configuração e manutenção, reforçando uma lógica de cooperação entre tecnologia, natureza e comunidades agroecológicas.

Figura 50 – Interação do ser humano com o VOOLEN



Fonte: Elaboração da autora

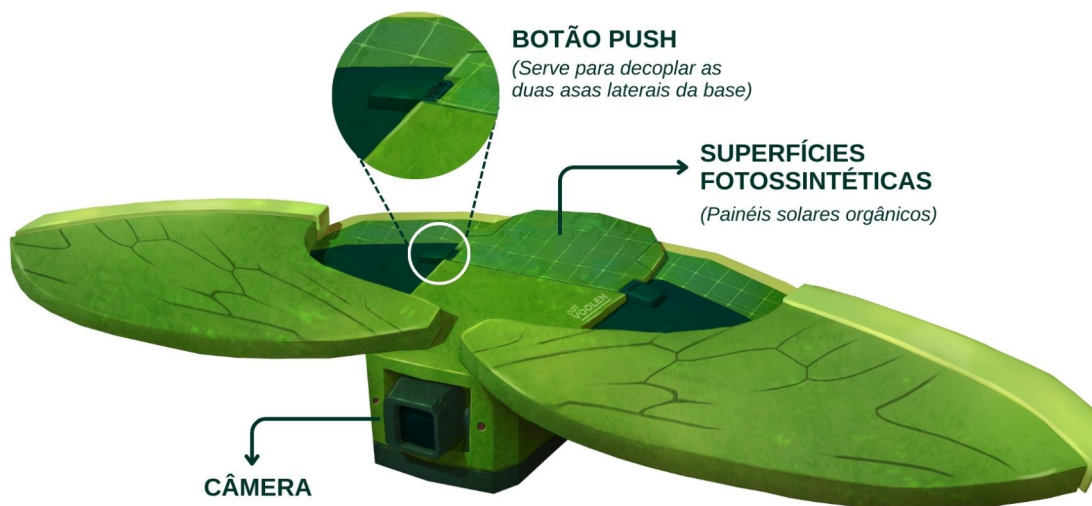
⁴⁶ O giroscópio é utilizado como referência de direção em sistemas de navegação. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_ing/tr1554.htm. Acesso em: 12 jan. 2026

⁴⁷ Capaz de realizar tarefas de forma automatizada com supervisão humana.

No cenário projetado para o ano de 2105, o VOOLEN (Figura 51) é energizado por superfícies fotossintéticas biointegradas — resultado da evolução dos painéis solares orgânicos — integradas à região segmentada, inspirada no abdômen das abelhas. Essa visão especulativa encontra respaldo em estudos contemporâneos, nos quais filmes protetores desenvolvidos a partir de nanocelulose e extratos vegetais estão sendo testados para melhorar a durabilidade e a sustentabilidade de células solares⁴⁸. Essa convergência sugere que, em um contexto preferível, sistemas de captação de energia solar integrados organicamente às superfícies de dispositivos biomiméticos podem tornar-se uma realidade.

Conforme a adaptabilidade projetada, o VOOLEN apresenta o botão *PUSH* em sua base, servindo para desacoplar as duas asas laterais, facilitando na manutenção e montagem. Além disso, a presença de uma câmera digital, GPS integrado e sensores ambientais⁴⁹, auxilia no desempenho autônomo do artefato, por meio de rastreamento de cobertura em tempo real e monitoramento das condições climáticas do ambiente.

Figura 51 – Posição dos componentes: Câmera, botão PUSH e painéis solares



Fonte: Elaboração da autora, com renderização digital por Pedro Ítalo (2026)

No contexto futuro, a produção do artefato estaria associada a instituições ambientais e iniciativas comunitárias locais, utilizando processos de fabricação digital sustentável orientados pelos princípios do design circular, permitindo

⁴⁸ Artigo da pesquisa disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsaom.4c00484>

⁴⁹ Sensores ambientais são dispositivos que monitoram diferentes condições do meio ambiente, como qualidade do ar, temperatura e a presença de poluentes, capturando informações em tempo real e enviando os dados para sistemas. Disponível em: <https://123ecos.com.br/docs/sensores-ambientais/>

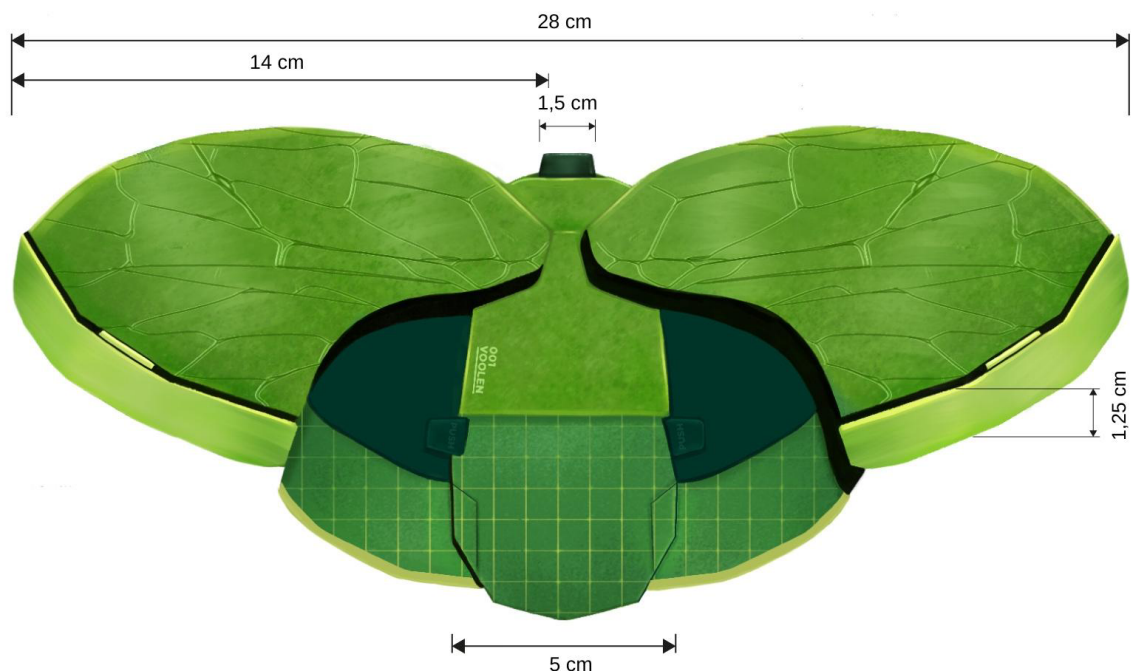
desmontagem, reconfiguração e reutilização dos componentes em novas demandas, otimizando recursos e prolongando o ciclo de vida do objeto.

A matéria-prima seria formada por compósitos orgânicos, recicláveis e biodegradáveis, como fibras naturais de folhas secas, bagaço vegetal e celulose, combinadas a resinas de origem biológica (à base de amido, lignina ou óleos vegetais). Essa composição permitiria a aplicação de estruturas leves e de baixo impacto ambiental, desde sua origem para a desmontagem, reintegração aos ciclos produtivos ou decomposição controlada ao final de sua vida útil.

Com relação ao futuro especulativo de 2105, a lógica de descarte do VOOLEN seria orientada por princípios de circularidade e inspiração biomimética, na qual o conceito de resíduo é substituído pela noção de ciclos contínuos. Seus componentes eletrônicos — concebidos a partir de materiais biodegradáveis e transitórios — seriam capazes de se decompor de maneira controlada e segura, organizados de forma modular, permitindo fácil separação, reaproveitamento e reciclagem no ciclo técnico. Dessa forma, o VOOLEN incorpora uma lógica metabólica inspirada na natureza, em que todos os elementos são inseridos novamente no sistema, reduzindo impactos ambientais e promovendo um modelo de produção e descarte regenerativo.

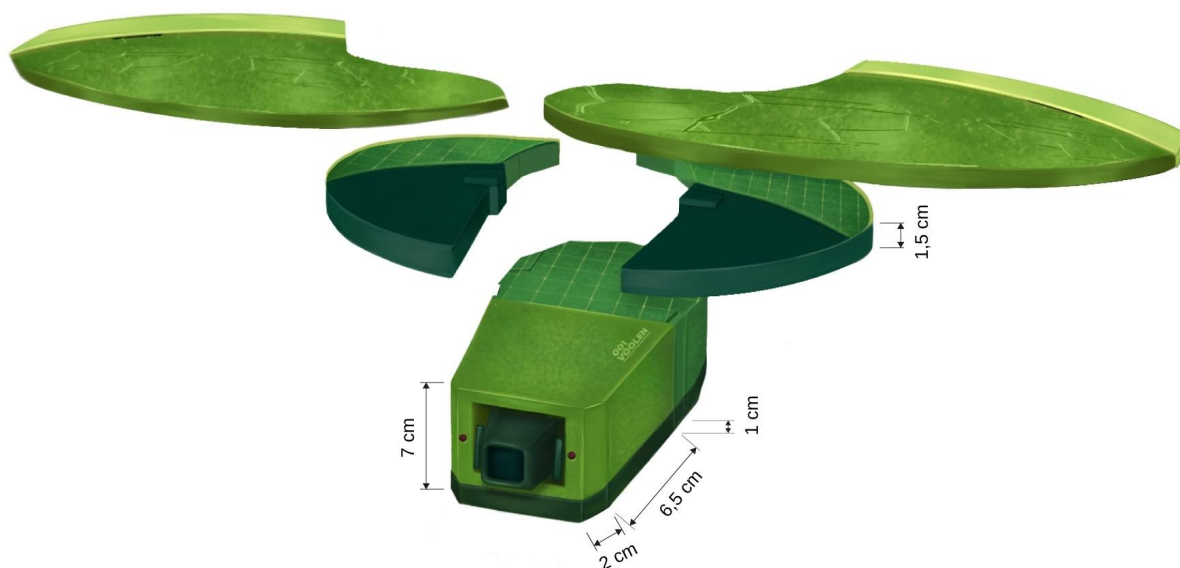
A estrutura total (Figuras 52 e 53) possui comprimento de 28 cm, largura total de 11 cm e 10 cm de altura; sua base com 10 cm de largura, 5 cm de comprimento e 7 cm de altura. As asas — com espessura de 1,5 cm — apresentam abertura total de aproximadamente 140°, com curvatura longitudinal média de 15° e torção até 7° nas extremidades, permitindo melhor desempenho em curvas e manobras, inspirado em sistemas naturais de voo adaptativo.

Figura 52 – Vista superior do VOOLEN



Fonte: Elaboração da autora, com renderização digital por Michelle Alves (2026)

Figura 53 – Vista explodida do VOOLEN



Fonte: Elaboração da autora, com renderização digital por Michelle Alves (2026)

No futuro especulativo de reequilíbrio, a linguagem visual adota referências associadas ao *solarpunk*⁵⁰ e à estética orgânica. Formas naturais,

⁵⁰ *Solarpunk* é um subgênero da ficção científica, onde a tecnologia e a natureza têm uma união estável, a favor da proteção da vida no planeta Terra. Disponível em: <https://br.ign.com/games/131371/feature/cyberpunk-steampunk-solarpunk-dieselpunk-aetherpunk-e-mais-entenda-como-funciona-cada-genero>. Acesso em: 7 jan. 2026.

transparências, paletas cromáticas verdes e composições mais fluidas comunicam uma mudança paradigmática na relação entre tecnologia e natureza (Figura 54).

Figura 54 – Aplicação do VOOLEN em ambiente de atuação



Fonte: Elaborado pela autora

Nesse momento, as notícias passam a atuar como artefatos especulativos de esperança, evidenciando tecnologias desenvolvidas, em consonância com a proposta de futuros preferíveis defendida por Dunne e Raby (2013). Por isso, o material produzido para o futuro preferível (Figura 55) exerce uma estética *solarpunk*, caracterizada por cores orgânicas e estruturas visuais mais fluídas, simbolizando equilíbrio e reconexão entre tecnologia e natureza. Na edição N.º 1921 do relatório Ano LXXXI em 2105, o Arquivo Comunitário apresenta o VOOLEN em destaque para objetos polinizadores, que surge como símbolo do novo equilíbrio ecológico. Destaca-se que o artefato biomimético não substitui a natureza, mas coopera com ela, por meio das aplicações de estratégias biológicas, atuando na regeneração e respeitando os ciclos naturais.

Figura 55 – Relatório Ano LXXXI em 2105



Fonte: Elaborado pela autora

Com o objetivo de consolidar as informações referentes à proposta final selecionada, apresenta-se a seguir um quadro de síntese do artefato VOOLEN (Quadro 9). O quadro reúne, de forma objetiva, os principais aspectos do projeto, incluindo função, estratégias biológicas empregadas, materiais propostos, dimensões, modo de uso, presença de tecnologias e composição visual, possibilitando uma leitura integrada das decisões projetuais adotadas.

Quadro 9 – Síntese de aspectos do VOOLEN

Aspecto	Descrição
Função	Atuar como artefato polinizador biomimético, auxiliando a polinização de plantas em cenários de escassez de polinizadores naturais, além de promover reflexões críticas sobre coexistência entre tecnologia e natureza;
Estratégia biológica	Polinização por vibração inspirada nas abelhas carpinteiras; estrutura corporal segmentada baseada no abdômen da abelha e configuração de asas inspiradas nas libélulas;
Material	Compósitos orgânicos leves (fibras de folhas secas, celulose vegetal, bagaço vegetal), resinas de origem biológica (amido, lignina ou óleos vegetais), biopolímeros recicláveis (PLA vegetal), além de componentes tecnológicos reaproveitáveis;

Tamanho	Medidas totais: 28 cm de comprimento, 11 cm de largura e 10 cm de altura;
Uso	O artefato se aproxima da planta, ativa a vibração para liberação do pólen e desloca-se para outras plantas, operando de forma autônoma;
Presença de tecnologia	Motores com potência para voo, câmera digital, sensores ambientais, sistema de vibração e painéis solares integrados à superfície da base e asas inferiores;
Composição visual	Formas orgânicas, asas com estampa de veias das asas de abelhas aparentes, superfície da base listrada inspirada no abdômen da abelha, estética híbrida entre natureza e tecnologia, alinhada a uma visualidade ecofuturista.

Fonte: Elaboração pela autora

- **Inserção no cenário futuro**

As simulações imagéticas (Figura 56 e 57) posicionam o artefato em ambientes agrícolas regenerativos, jardins urbanos e estufas híbridas, integrando-o ao cotidiano das comunidades do cenário especulativo. Essas representações contribuem para tornar tangível um futuro preferível, alinhado aos princípios do *design fiction* propostos por Dunne e Raby (2013).

Figura 56 – Aplicação do VOOLEN no futuro preferível



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 57 – Polinização por meio do VOOLEN em 2105

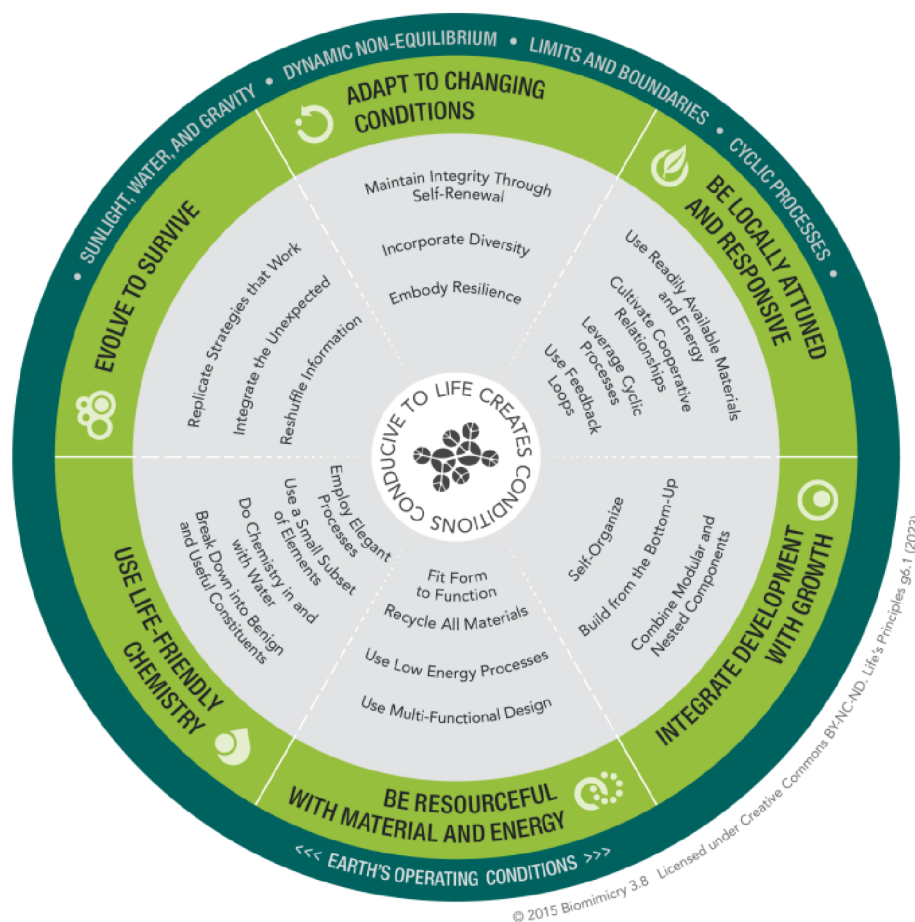


Fonte: Elaborado pela autora, com ilustração de fundo por Michelle Alves (2026)

5.4. Fase 4: Avaliação com os Princípios da Vida

A avaliação do artefato conceitual foi realizada a partir dos Princípios da Vida, propostos pelo Biomimicry Institute, utilizando o *DesignLens: Life's Principles* (Figura 58) como ferramenta de análise.

Figura 58 – Diagrama de *DesignLens: Life's Principles*



Fonte: Biomimicry 3.8⁵¹

Esse instrumento permitiu verificar o grau de alinhamento da proposta com estratégias recorrentes dos sistemas naturais, como eficiência no uso de recursos, adaptação às condições locais, integração sistêmica e promoção de ciclos regenerativos. A análise (Quadro 10) reflete criticamente sobre sua coerência ecológica, ética e conceitual dentro do cenário especulativo proposto, contribuindo para a construção de um design orientado à vida e à sustentabilidade em futuros possíveis. Os princípios biomiméticos extraídos serão aplicados na prototipagem do objeto, considerando aspectos como materiais, estrutura, comportamento e relação

⁵¹ Disponível em: <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-lifes-principles>.

com o ambiente especulado. A proposta será validada quanto à coerência com o cenário e sua potência simbólica.

Quadro 10 – Avaliação do Artefato com os Princípios da Vida

Princípio da Vida	Aplicação no Artefato Conceitual
Evoluir para sobreviver	O artefato foi concebido como um sistema adaptativo, capaz de responder às condições ambientais do cenário especulativo, incorporando ajustes materiais e funcionais conforme o contexto ecológico em que opera.
Adaptar-se às condições de mudança	A proposta prioriza o uso de materiais de origem orgânica e resíduos naturais, considerando leveza, disponibilidade local e baixo impacto ambiental, em consonância com o ecossistema onde o objeto está inserido.
Ser engenhoso com materiais e energia	A estrutura do artefato busca reduzir massa e complexidade, integrando múltiplas funções em uma única forma (estrutura, voo e interação ambiental), inspirada em animais alados.
Integrar desenvolvimento e crescimento	O design do artefato foi desenvolvido de modo que forma, função e narrativa evoluem conjuntamente, refletindo uma lógica de crescimento orgânico e não linear.
Usar química favorável à vida	A pesquisa propõe o uso de compósitos orgânicos e resinas naturais, reduzindo a dependência de materiais sintéticos agressivos e alinhando-se a uma lógica de produção mais segura para a vida.
Estar localmente sintonizado e responsivo	O VOOLEN adapta seu funcionamento às condições ambientais locais, utilizando materiais bio-baseados e respondendo a variações de luz, clima e presença vegetal, promovendo uma integração sensível entre tecnologia, ecossistema e contexto de uso.

Fonte: Elaborada pela autora.

A avaliação do artefato a partir do *DesignLens: Life's Principles*, evidenciou a coerência entre as decisões projetuais adotadas e as estratégias observadas nos sistemas naturais. O VOOLEN foi concebido como um sistema adaptativo, eficiente no uso de materiais e energia, sensível às condições locais e alinhado a uma lógica de crescimento orgânico e circular, reforçando seu compromisso com processos favoráveis à vida e consolidando a biomimética como uma abordagem metodológica capaz de integrar forma, função, narrativa e ética ambiental no design.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo projetar um artefato conceitual biomimético, inserido em um cenário futuro marcado pelo colapso ambiental e pela escassez de polinizadores naturais, como instrumento de reflexão sobre futuros possíveis e preferíveis. A pesquisa investigou as relações entre design, natureza e tecnologia a partir de uma abordagem de design especulativo, articulada aos princípios da biomimética, propondo o artefato como provocação crítica e narrativa.

Ao longo do desenvolvimento do projeto, o design especulativo demonstrou seu potencial como ferramenta crítica, reflexiva e projetual, permitindo que o artefato assumisse um papel simbólico e discursivo. A construção da narrativa, materializada por meio do prólogo, da linha do tempo e dos layouts informativos, contribuiu para situar o projeto em um futuro coerente e plausível, evidenciando impactos sociais, ambientais e tecnológicos decorrentes das escolhas humanas ao longo das décadas.

A biomimética, aplicada a partir do *Biomimicry Design Lens*, orientou decisões relacionadas à forma, aos materiais, ao funcionamento e à lógica sistêmica do artefato, buscando alinhamento com estratégias observadas na natureza, como eficiência estrutural, adaptação ao ambiente, economia de recursos, polinização por vibração e cooperação entre sistemas. Ainda que o artefato não tenha sido desenvolvido com fins produtivos imediatos, sua concepção reforça a importância de alinhar o design a processos favoráveis à vida, promovendo uma reflexão ética sobre o papel da tecnologia em cenários de crise ambiental.

Como resultado do processo, destaca-se a consolidação de um conceito de artefato biomimético coerente, fundamentado teoricamente e articulado a uma narrativa de futuro, evidenciando a capacidade do design de operar para além da resolução de problemas imediatos, atuando também como campo de investigação, especulação e construção de sentido. Ressalta-se que, em função do tempo limitado de desenvolvimento, não foi possível a realização de um protótipo funcional, concentrando-se o trabalho na etapa conceitual, formal e especulativa do projeto.

Do ponto de vista acadêmico, este trabalho possui relevância por integrar os campos do design especulativo e da biomimética, contribuindo para ampliar as possibilidades metodológicas e conceituais da prática projetual no contexto do design contemporâneo. A experiência evidenciou o potencial dessa articulação como

campo fértil para pesquisas futuras, tanto no aprofundamento teórico quanto no desenvolvimento de protótipos experimentais e funcionais.

Por fim, considera-se que esta pesquisa abre caminhos para desdobramentos em nível de pós-graduação, como mestrado ou pesquisas aplicadas, possibilitando o aprofundamento dos estudos em biomimética, design especulativo e tecnologias orientadas à vida. A continuidade do projeto poderia contemplar a materialização de um protótipo funcional e investigações mais aprofundadas sobre materiais e interações ecológicas. Assim, o trabalho reafirma a necessidade de repensar o papel do designer diante das crises ambientais contemporâneas, reconhecendo que projetar para o futuro implica, sobretudo, aprender com a natureza, agir em cooperação com ela e assumir uma postura crítica, ética e responsável.

7. REFERÊNCIAS

- ARNOLD GLAS. ORNILUX® Vogelschutzglas. Disponível em: <https://www.arnold-glas.de/en/bird-protection#156047>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- As Nações Unidas no Brasil. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Brasília: ONU Brasil, [s.d.]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 27 jul. 2025.
- ASKNATURE. Disponível em: <https://asknature.org>. Acesso em: 29 jul. 2025.
- ASKNATURE. Charged electrostatic hairs collect pollen granules. Disponível em: <https://asknature.org/strategy/charged-electrostatic-hairs-collect-pollen-granules>. Acesso em: 21 mai. 2025.
- BENYUS, Janine M. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: Harper Perennial, 1997.
- BIOMIMETICS. [S. l.], 19---. Disponível em: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/biomimetics>. Acesso em: 6 jan. 2026.
- BIOMIMICRY INSTITUTE. Biomimicry 3.8. Disponível em: <https://biomimicry.net>. Acesso em: 21 mai. 2025.
- BIÔNICA e Biomimética: diferenças e aproximações à luz da sustentabilidade. In: OLIVEIRA, Emilio; LANDIM, Paula. Anais do SBDS 2011. [S. l.: s. n.], 2011. p. 885-895. ISBN 978. 85. 7315. 949-3. Disponível em: <https://www.calameo.com/read/000972004233e50599111>. Acesso em: 20 dez. 2025.
- BIÔNICA. In: MUNARI, Bruno. Das coisas nascem coisas. 3. ed. [S. l.: s. n.], 2015. p. 330-339. ISBN 9788580632293. Acesso em: 13 jan. 2026.
- BLADE RUNNER 2049. Direção: Denis Villeneuve. Produção: Andrew A. Kosove, Broderick Johnson, Bud Yorkin, Cynthia Sikes Yorkin. Estados Unidos: Warner Bros. Pictures, Columbia Pictures, Alcon Entertainment, 2017. 1 filme (164 min), colorido, sonoro. Disponível em: <https://www.max.com/movies/blade-runner-2049>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- BLACK MIRROR. Direção: Charlie Brooker. Produção: Annabel Jones. Reino Unido: Zeppotron, Endemol Shine UK, House of Tomorrow, 2011--. Série de ficção científica, colorida. Disponível em: <https://www.netflix.com/br/title/70264888>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- BLEECKER, Julian. *Design Fiction: A Short Essay on Design, Science, Fact and Fiction. Near Future Laboratory*, 2009. Disponível em: https://systemsorienteddesign.net/wp-content/uploads/2011/01/DesignFiction_WebEdition.pdf. Acesso em: 29 jul. 2025.

COSTA, Angela; NUNES, Juliane; BORTALATO, Márcia; SOUZA, Richar. Design e naturalismo: filosofia naturalista, biônica e ecodesign. Design, Arte, Moda e Tecnologia. São Paulo: Rosari, Universidade Anhembi Morumbi, PUC-Rio e Unesp-Bauru, 2010. Acesso em: 10 jan. 2026.

DUNNE, A.; RABY, F. *Speculative Everything: Design, Fiction and Social Dreaming*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2013.

EL AHMAR, S. A. S. Biomimicry as a Tool for Sustainable Architectural. Trabalho de conclusão (Mestrado) – Graduate School Faculty of Engineering, Alexandria University, Alexandria, 2011.

FAO. *Abelhas e outros polinizadores são fundamentais para a saúde do planeta e para a vida humana*. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1529993>. Acesso em: 29 jul. 2025.

FAO. *Global Action on Pollination Services for Sustainable Agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/pollination/>. Acesso em: 29 jul. 2025.

GANTT, Henry L. The Gantt chart: a working tool of management. 1910.

HALDRUP, Michael et al. Remix Utopia: Eleven Propositions in Design and Social Fantasy. *Nordes 2015: Design Ecologies*. Nordic Design Research, n. 6, 2015.

HIDDEN ARCHITECTURE. Eastgate Centre. Disponível em: <https://hiddenarchitecture.net/eastgate-centre/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

HUXLEY, Aldous. *Admirável Mundo Novo*. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1932.

IPBES. *Relatório de avaliação temática sobre polinizadores, polinização e produção de alimentos*. Bonn: Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos, 2016. Disponível em: <https://ipbes.net/assessment-reports/pollinators>. Acesso em: 29 jul. 2025.

IPBES. *The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production*. Edited by S. G. Potts; V. L. Imperatriz-Fonseca; H. T. Ngo. Bonn, Germany: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2016. DOI: 10.5281/zenodo.3402856. Acesso em: 7 jan. 2026.

KIRBY, David A. The Future Is Now: Diegetic Prototypes and the Role of Popular Films in Generating Real-World Technological Development. *Social Studies of Science*, v. 40, n. 1, p. 41-70, 2010. DOI: 10.1177/0306312709338325.

KRIPPENDORFF, Klaus. *The Semantic Turn: A New Foundation for Design*. Boca Raton: CRC Press, 2000.

LEMOS, André. Ficção científica cyberpunk: o imaginário da cibercultura. *Conexão-Comunicação e Cultura*, v. 06, 2004. Acesso em: 11 jan. 2026.

MICHAELIS. *Futuro*. Dicionário de Português Online. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/futuro/>. Acesso em: 29 jul. 2025.

MUNARI, Bruno. *Das coisas nascem coisas*. 2. Ed. São Paulo: Martins Fontes, 2008. Acesso em: 13 jan. 2026.

NUCLEÁRIO. Disco d'água. Disponível em: <https://www.nucleario.com/discodagua/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

NOCAMELS. Bee tech world startups. Disponível em: <https://nocamels.com/2022/05/bee-tech-world-startups/>. Acesso em: 29 jul. 2025.

PAZMINO, Ana Veronica. *Como se cria: 40 métodos para design de produtos*. São Paulo: Blucher, 2015.

PICTURE INSECT. *Agapostemon splendens*. Disponível em: https://pictureinsect.com/pt/wiki/Agapostemon_splendens.html. Acesso em: 29 jul. 2025.

RAMOS, J. *A biônica aplicada ao projeto de produtos*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1993. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/75852>. Acesso em: 20 fev. 2026.

RBMA – RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA. ADM e RBMA se unem para promover conhecimento sobre abelhas nativas e fortalecer a biodiversidade na Mata Atlântica. Disponível em: <https://rbma.org.br/n/adm-e-rbma-se-unem-para-promover-conhecimento-sobre-abelhas-nativas-e-fortalecer-a-biodiversidade-na-mata-atlantica/>. Acesso em: 29 jul. 2025.

SANDERS, Elizabeth B.-N.; STAPPERS, Pieter Jan. Co-Creation and the New Landscapes of Design. *CoDesign*, v. 10, n. 1, p. 5-18, 2014. DOI: 10.1080/15710882.2014.888183.

STO. Lotusan: fachada que repele a sujeira graças ao efeito lótus. Disponível em: <https://www.sto.es/s/inspiracion-e-informacion/productos-bionicos/lotusan>. Acesso em: 22 jul. 2025.

UNITED NATIONS. World Bee Day – Background. Disponível em: <https://www.un.org/en/observances/bee-day/background>. Acesso em: 29 jul. 2025.

UNITED NATIONS. *Resolution A/RES/76/300: The human right to a clean, healthy and sustainable environment*. New York: United Nations General Assembly, 2022. Disponível em: <https://undocs.org/en/A/RES/76/300>. Acesso em: 29 jul. 2025.

UNITED NATIONS. *World Bee Day*. New York: United Nations, 2017. Disponível em: <https://www.un.org/en/observances/bee-day>. Acesso em: 29 jul. 2025.

UNRIC. OMM: Planeta está a emitir sinais de socorro. *Centro Regional de Informação das Nações Unidas*, 2023. Disponível em: <https://unric.org/pt/omm-planeta-esta-a-emitir-sinais-de-socorro/>. Acesso em: 29 jul. 2025.

UNIVERSIDADE DE CALGARY. Bio-Inspired Design. Disponível em: <https://biodiversity.ucalgary.ca/bio-inspired-design>. Acesso em: 29 jul. 2025.

WISS, Harvard University. *RoboBees: Autonomous flying microrobots*. Disponível em: <https://wyss.harvard.edu/technology/robobees-autonomous-flying-microrobots/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *WMO Global Annual to Decadal Climate Update*. Geneva: World Meteorological Organization, 2024. 27 p. Disponível em: <https://library.wmo.int/idurl/4/68910>. Acesso em: 9 jan. 2026.