

## O QUE É BIODESIGN? Um esquema para sua compreensão baseado na revisão de raízes históricas e principais autores

*WHAT IS BIODESIGN? A framework for its understanding based on the review of its historical roots and main authors*

BANDONI, Andrea; Ms.; Universidade de Lisboa

andrea@edu.ulisboa.pt

PAOLIELLO, Carla; Dra.; Universidade de Lisboa

c.paoliello@belasartes.ulisboa.pt

CUNCA, Raul; Dr.; Universidade de Lisboa

r.cunca@belasartes.ulisboa.pt

### Resumo

Este estudo busca aprimorar a compreensão teórica da emergente área do Biodesign. Tais esforços de trabalho são relevantes para estabelecer um pano de fundo sólido que englobe os aspectos temáticos, conceituais, críticos e metodológicos deste campo em desenvolvimento. Foi realizada uma exaustiva revisão de literatura centrada no tema "Design e Natureza." Esta revisão se estende desde a contextualização histórica que entrelaça as narrativas do Design e da Ecologia até abranger estratégias de design contemporâneas, como Biomimética, *Cradle-to-cradle* e Biodesign. Na busca por uma compreensão abrangente das terminologias pertinentes ao domínio do Biodesign, fomos além dos limites desta disciplina, recorrendo a narrativas de diversos campos do conhecimento, como Medicina e Engenharia. Analisamos representações esquemáticas de vários autores renomados, elucidando os componentes fundamentais do Biodesign. Como esforço culminante, propusemos estruturas e uma linha do tempo para facilitar uma compreensão mais acessível e coerente deste campo multifacetado.

**Palavras Chave:** Biodesign, Design e Ecologia, Design e Natureza

### Abstract

*This study endeavors to enhance the depth of theoretical comprehension concerning the emerging area of Biodesign. Such work efforts are imperative for establishing a solid background encompassing this developing field's thematic, conceptual, critical, and methodological aspects. An exhaustive literature review centering on the "Design and Nature" theme has been undertaken. This review extends from historical contextualization that intertwines Design and Ecology narratives to encompass contemporary design strategies, such as Biomimetics, *Cradle-to-cradle*, and Biodesign. In pursuing a comprehensive understanding of the terminologies pertinent to the domain of Biodesign, we have ventured beyond the confines of this discipline, drawing upon narratives from diverse fields of knowledge, such as Medicine and Engineering. We have scrutinized schematic representations from various authoritative authors, elucidating the foundational components of*

*Biodesign. As a culminating effort, we proposed frameworks and a timeline to facilitate a more accessible and coherent comprehension of this multifaceted field.*

**Keywords:** *Biodesign; Design and Ecology; Design and Nature*

## 1 Introdução

É essencial reconhecer que o Biodesign é um campo emergente, formalmente delineado há pouco mais de uma década, conforme discutido nas seções subsequentes. No âmbito deste texto, nossos esforços de pesquisa buscam aprofundar-se nas complexidades da relação entre Biodesign e Ecologia. Nosso principal objetivo reside na contextualização histórica do Biodesign, alcançada através de um exame meticuloso das abordagens ecológicas e de uma pesquisa aprofundada das estratégias de design contemporâneas que relacionam design e natureza.

Após uma exaustiva revisão de literatura, mencionada a seguir, foi possível notar que as definições e os esquemas formulados por distintos autores têm diferenças marcantes. É importante ressaltar que o Biodesign se encontra na intersecção de disciplinas, e emprega termos de diferentes áreas, por vezes com significados distintos. Para que a investigação seja precisa, os conflitos são trazidos à tona. Tendo em conta a produção teórica que já existe e o que ainda está por ser melhor esclarecido, os autores propõem esquemas para a compreensão do Biodesign.

## 2 Métodos

Uma revisão de literatura sistemática sobre o campo do Biodesign e seus temas associados foi conduzida para alcançar nosso objetivo, compreendendo a análise de 85 artigos, a ponderação sobre 33 livros, e a avaliação de 8 exposições e 10 vídeos<sup>1</sup>.

Contribuições notáveis para o discurso, especialmente aquelas entrelaçadas com o tema "Design e Natureza", merecem menção. Esses trabalhos seminais incluem a produção de Blanco-Wells (2021), Camere e Karana (2018), Ciuffi (2013), Collet (COLLET, 2017, 2020), de Pauw et al. (2014), Ertürkan et al. (2022), Esat e Ahmed-Kristensen (2018), Ginsberg e Chieza (2018), Karana et al. (2020; 2010, 2018, 2017), E. B. Kennedy (2017), Myers (2018a, 2018b), Dade-Robertson (2020) e Rognoli et al. (2015).

Também consultamos textos enraizados no domínio do Design e Sustentabilidade, que incluem as contribuições de Brink et al. (2009), Ceschin e Gaziulusoy (2016, 2020), Doordan (2013), Escobar (2018), Fuller (1998), Hinte (2016), Oropallo (2017), Papanek (1984), Wahl (2006) e Van Helvert (2016).

Além disso, recorreremos a textos de diversos domínios disciplinares para elucidar as nuances terminológicas inerentes ao campo do Biodesign. Esses textos incluem os trabalhos de Benyus (1997), Mironov et al. (2009), Pavlovich et al. (2016a, 2016b) e Trifonov (2011).

Enfatizamos que nossa pesquisa se fortalece com diversas fontes e experiências. Em 2022, foram realizadas visitas a laboratórios de destaque em Biodesign por Andrea Bandoni, incluindo Mediamatic e Open Wetlab em Amsterdã, Blue City Lab em Rotterdam, Delft University e Biolab em Lisboa. Além disso, foram realizadas entrevistas com praticantes de Biodesign em toda a Europa e América Latina, com detalhes abrangentes documentados em artigos (Autora, 2022). Adicionalmente, experimentos práticos foram executados como parte de seu doutorado (projeto "Cuia Colab", em 2022).

A participação de Carla Paoliello no "Project Cocoon", uma iniciativa Erasmus relacionada ao Biodesign e Biofabricação, enriqueceu ainda mais a pesquisa. Este esforço colaborativo envolveu parcerias com instituições renomadas: COFAC e BIOPOLIS de Portugal, AALTO da Finlândia, IAAC

---

<sup>1</sup> Todos os textos citados neste artigo foram traduzidos pelos autores.

da Espanha, FB da Islândia, PUC-Rio no Brasil e HBBE no Reino Unido.

A combinação de *insights* derivados desse conjunto multifacetado de fontes primárias e secundárias nos permitiu articular uma narrativa abrangente e contextualizada do Biodesign.

### 3 A Natureza no Design: uma breve visão histórica

Para esta análise histórica, tomamos como ponto de partida a origem da disciplina do Design como sendo o início da Revolução Industrial, no século XVIII na Inglaterra. Ela foi caracterizada pela evolução dos processos produtivos, originados da exploração de novos recursos energéticos e da inovação tecnológica, que permitiram a intensificação do uso de máquinas e o controle dos processos e da natureza.

Conforme Cunca (2006), foram as consequentes novas relações econômicas, ligadas ao aumento da produção e a diminuição de custos, as grandes responsáveis pelas mudanças nas relações de trabalho que tanto impactaram a sociedade da época. Dentre muitas, uma destas mudanças foi a separação de funções necessária para agilizar os processos fabris.

Nesse contexto, fez-se útil o conhecimento específico de imaginar e desenhar (ou modelar) produtos para os meios industriais, de modo a obter a máxima otimização dentro das fábricas e a decorrente produção em larga escala. Cardoso relata que por volta de 1750 já era comum em fábricas de cerâmica empregar “indivíduos responsáveis apenas pela etapa de configuração formal de peças que seriam produzidas seguindo uma complexa divisão de tarefas” (CARDOSO, 2008, p.31). O autor menciona que a presença de um profissional específico para fazer o “projeto” garantia maior aceitação comercial e concentrava o domínio sobre vários aspectos decisivos do produto.

Tem início a especialização das atividades de design, a qual, juntamente com a separação da fase de projeto e execução, levou a uma alienação cada vez maior sobre os ingredientes naturais necessários para fabricar os produtos, fazendo com que o Desenho Industrial, no século XX, acabasse por tornar-se uma das mais nocivas profissões em questões ecológicas (PAPANEK, 1984). Como resume Escobar, a matriz do design moderno é um “emaranhado complexo de ciência, materiais, tecnologias, capitalismo e cultura” (ESCOBAR, 2018, p.30).

#### 3.1 Século 19

No contexto inglês do século XIX, destacam-se alguns importantes nomes relacionados ao design. O mais difundido deles é William Morris, líder do movimento Arts and Crafts, que criticava fortemente o funcionalismo e os resultados da industrialização massiva, e cuja obra, centrada nas artes decorativas, enaltece a natureza e o trabalho manual através do artesanato. Segundo Cunca, “a atitude de Morris, que pretendia salvaguardar a qualidade dos artefactos, pressupõe uma tomada de posição ideológica” (2006, p.45) por isso em sua prática verifica-se essa recusa dos métodos industriais e dos arranjos sociais exploratórios em que se baseiam. Em suas críticas, Morris chegou a mencionar a poluição como uma consequência nefasta da industrialização. É difícil, porém, perceber se o entendimento de Morris sobre a necessidade de coexistência com a natureza é a visão de um nostálgico por uma época perdida ou a articulação de uma visão pioneira de design sustentável (OROPALLO, 2017).

Outra figura relevante no contexto analisado é Henry Cole, com ideais essencialmente

diferentes de Morris. Ele acreditava na associação entre indústria e arte e colaborou com os setores industriais e políticos na tentativa de melhorar os objetos feitos por máquinas. Ainda de acordo com Autor, Cole ajuda a elaborar critérios para projetos de design, contribuindo ao aparecimento de uma metodologia básica com conceitos de “simplicidade, utilidade e funcionalidade que contribuíram para a uniformização dos objetos industriais” (2006, p.49).

Colega de Cole, o inglês Owen Jones é também um influente teórico do design desta época. Autor do livro *“The Grammar of Ornament”*, Jones, que também desenvolveu critérios para o projeto de artefatos, acreditava que os melhores princípios de design eram derivados de formas encontradas na natureza (VICTORIA AND ALBERT MUSEUM, [s.d.]). Assim como Cole, Jones foi professor e difundiu suas ideias na *Government School of Design* (atual *Royal College of Art*).

Um aluno que se destacou nesta escola foi Cristhopher Dresser, um botânico de grande status acadêmico que se tornou um importante designer. Dresser, favorável à produção industrial, é conhecido por sua versatilidade em criar objetos em diversos materiais e por ter trabalhado para várias empresas. Segundo Hugerth (2019), o livro *“The Art of Decorative Design”* (1862) e outras publicações de Dresser analisaram princípios de design baseados na abstração de formas de plantas – uma abordagem que revela sua formação em botânica e sua convicção de que o designer não deveria copiar as formas naturais, mas sim aplicar as leis da natureza no design. Um exemplo disso é seu porta-torradas de 1881 (fig. 1), que além de demonstrar sua preocupação em limitar a ornamentação para tornar os objetos ajustados para a produção em série, também revela seu conhecimento científico: “A crença de Dresser em uma ordem, unidade e simetria derivadas da natureza é visível nas hastes e rebites deste porta-torradas, notavelmente semelhante aos seus estudos sobre crescimento de galhos” (HUGERTH, 2019).

Figura 1 - Design e natureza na obra de Christopher Dresser, à esquerda, porta-torradas em metal (1881) e à direita, diagrama para ilustrar aulas de design (1854-56).



Fontes: website Cooper Hewitt Museum, 2023; website Victoria and Albert Museum, 2023.

A relação entre design e natureza no design e arquitetura europeus do século XIX e início do XX não foi restrita à Inglaterra. Dentre muitos nomes, podemos destacar Antoni Gaudí na Espanha, Raphael Bordallo Pinheiro em Portugal, Victor Horta na Bélgica e Otto Wagner em Viena, alguns deles relacionados ao movimento Arte Nova e suas vertentes.

### 3.2 Século 20

Em sequência, pode-se constatar que no início do século XX diversos arquitetos e designers mantiveram o interesse na natureza como modelo ou ferramenta para o design, tais como Alvar

Aalto ou Frank Lloyd Wright, e no Japão com o movimento Metabolista na arquitetura (MYERS, 2018). Na arte dos anos 30, surge o termo Biomorfismo (TATE, [s.d.]), o qual designa formas abstratas que evocam as formas de elementos vivos, como plantas e partes do corpo (MOMA, [s.d.]). Tal termo é por vezes empregado para caracterizar objetos de design, como a mesa de Isamu Noguchi, de 1944 (fig. 2).

Figura 2 - “Coffee Table”, Isamu Noguchi, 1944.



Fonte: OFFICIAL VITRA WEBSITE, [s.d.]

Na segunda metade do século XX o uso de formas orgânicas e fluidas distingue-se no projeto “*House of the Future*”, de 1956, dos arquitetos Peter e Alice Smithson, influenciadores do grupo Archigram. A casa foi pensada como um objeto de grandes dimensões e fugia da “hierarquia estática do espaço para se metamorfosear num organismo activo em conexão com o homem” (Autor, 2006, p.261).

Já no design de produto, a partir dos anos 60, destacou-se Luigi Colani, que definiu seus trabalhos como design “biodinâmico” (fig.3). Com forte inclinação biomimética, Colani afirmou: “devemos olhar para a superioridade da natureza para as soluções. Se queremos enfrentar uma nova tarefa no estúdio, é melhor sair primeiro e ver quais respostas milenares já podem existir para o problema” (DESIGN MUSEUM, 2015).

Figura 3 - “Pegasus Piano”, Luigi Colani, 1997.



Fonte: Website NOISE ADDICTS, [s.d.]

Colani foi referência para diversos designers e arquitetos da virada do milênio, conhecidos pelo uso de ferramentas digitais e formas orgânicas, como Ross Lovegrove, Karim Hashid e Zaha Hadid (POWNALL, 2019).

### 3.3 Primeiras abordagens de Ecologia no Design: Fuller e Papanek

Nos anos 50, a reconversão da indústria que estava voltada às guerras do início do século XX proporcionou uma verdadeira avalanche de mercadorias que visivelmente abala o equilíbrio ecológico (OROPALLO, 2017). O movimento ambientalista, então, toma força nos anos 60 e 70, e, em 1969, Buckminster Fuller lança o livro “Manual de Instruções para a Nave Espacial Terra.” Embora Fuller não tenha sido pioneiro em ter preocupações ambientais, ele é o que primeiro coloca estas preocupações no âmbito da engenharia e do design (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2020). Por um lado, este livro demonstra uma visão progressista para a época, relacionada ao valor que Fuller dá à interdisciplinaridade (ele criticava severamente a especialização como algo que favorece os detentores do poder), à sinergia (interconexão de todas as coisas) e sua posição contra o desperdício dos recursos naturais. No entanto, é possível notar uma abordagem fortemente antropocêntrica, em passagens como: “Todas as outras criaturas vivas foram concebidas para tarefas altamente especializadas. O homem parece ser único como coordenador e compreensor global dos acontecimentos” (FULLER, 1998, p.6). Essa visão pode ser ligada à analogia que o autor constrói desde o título do livro, insistindo na comparação do planeta Terra à uma máquina, “um veículo mecânico, exactamente como um automóvel” (p.30), portanto passível de domínio e controle. Arnaldo de Caedro, ao escrever a introdução deste livro em 1998, coloca que o globalismo tecnologista de Fuller colide com o entendimento orgânico hoje predominante, e cita o livro de 1979 “*Gaia: A new look on Life on Earth*” do autor James E. Lovelock: “(A hipótese de Gaia) é (...) uma alternativa àquela imagem (...) deprimente do nosso planeta como uma nave espacial enlouquecida, viajando infundamente, sem piloto nem objetivo, em redor de um círculo interior do sol.” Tal crítica, porém, deve ser colocada em contexto, e assim prevalecer a ideia da “nave” de Fuller como sua referência à finitude de recursos do planeta e dos limites da atuação humana, um conceito vanguardista para sua época.

No entanto, a grande referência no campo do design ecológico nos anos 70 é o designer Victor Papanek, depois do lançamento de “*Design for the Real World*” (escrito entre 1963 e 1970, publicado na Suécia em 70, e nos EUA em 71). O livro é conhecido por sua crítica aprofundada da profissão do design, “apontando seu papel no incentivo ao consumo e, portanto, contribuindo para a degradação ecológica e social” (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2020).

Wahl (2006) considera Papanek um dos visionários do “Natural Design Movement” – abordagem do século XXI que leva em conta o design inspirado e adaptado à natureza, além de socialmente e ecologicamente favorável. Ele destaca que Papanek, defensor do papel interdisciplinar do design e preocupado com a educação, previu que os designers precisariam de uma compreensão básica das metodologias científicas de várias áreas do conhecimento, já que para ele “o design não está apenas na ligação entre diferentes disciplinas acadêmicas e profissionais, mas também – mais importante – na conexão entre valores, necessidades e escolhas éticas” (WAHL, 2006).

Papanek divide os capítulos do livro nas partes “como é” e “como poderia ser”, e nesta última ele escreve o capítulo “A árvore do conhecimento: protótipos biológicos no design”, onde aborda a Biônica (também chamada Biomimética como veremos a seguir), descrita por ele como o ato de “estudar os princípios básicos da natureza e aplicar esses princípios e processos para as necessidades da humanidade” (p.186). Apesar de expressar uma visão centrada nos humanos, que hoje é ponto de discussão, a principal intenção de Papanek no capítulo é atentar para o fato de que os esquemas biológicos devem ser estudados por designers já que “as manifestações da

natureza” ao nosso redor “nunca foram propriamente investigadas, exploradas ou usadas por designers” (p.194). Ele expõe diversos exemplos de como funciona a analogia que os designers podem fazer dos elementos naturais (protótipos biológicos) para a geração de *insights*, usando exemplos de áreas como a etologia, antropologia e morfologia.

Traduzido para mais de 23 línguas até os anos 80, “*Design for the Real World*” é um dos livros mais lidos na área do Design, em que Papanek expressa suas ideias com eloquência, mencionando a natureza constantemente:

Para que o design seja ecologicamente responsável e socialmente responsivo, deve ser revolucionário e radical no sentido mais verdadeiro. Ele deve dedicar-se ao princípio de menor esforço da natureza, em outras palavras, diversidade máxima com estoque mínimo (...). Isso significa consumir menos, usar as coisas por mais tempo, e ser prudente sobre reciclar materiais. (PAPANEK, 1984, p.346-347)

## 4 Design e Natureza: Estratégias Contemporâneas

Em decorrência das reflexões dos designers sobre o seu papel face à crise ambiental, no final do século XX e início do XXI diversas estratégias, tendências ou conceitos de caráter ecológico passam a surgir e ser aplicados ao design de produtos. Alguns deles são: *Green Design* (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2020), *Ecodesign* (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2020; DE PAUW et al., 2014), *Natural Capitalism* (KARANA et al., 2010), *Repair Movement* (OROPALLO, 2017), *Industrial Ecology* (MYERS, 2018), entre outros (BRINK; HAMLETT; DESTANDAU, 2009). Neste texto, entretanto, focaremos nas chamadas por Karana (2010) de “*nature inspired design strategies*,” que relacionam design de produto e natureza, focando nas que têm subsídios teóricos e práticos para uma reflexão atualizada: Biomimética, *Cradle-to-cradle* e Biodesign.

### 4.1 Biomimética

Também chamada Bioinspiração, Biônica ou Biomimetismo (KENNEDY, 2017), a Biomimética é a “imitação” da natureza para o desenvolvimento de soluções (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2020; DE PAUW et al., 2014). Collet (2021) menciona que as soluções naturais são reconhecidas como ideais, por serem as mais ecológicas e por terem evoluído ao longo de bilhões de anos, e a natureza é vista como um modelo, como coloca Janine Benyus, considerada a responsável por cunhar o termo Biomimética no livro “*Biomimicry*” de 1997: “(...) a natureza fabrica seus materiais sob condições favoráveis à vida, na água, à temperatura ambiente, sem produtos químicos agressivos ou altas pressões” (BENYUS, 1997, p.97).

“*Biomimicry*” traz exemplos práticos da aplicação de princípios da natureza em diversos contextos. Para Benyus, a natureza é exemplo, inspiração, métrica que mensura a validade de nossas propostas e mentora ou professora, ao invés de fonte de recursos a serem extraídos. Benyus enfatiza a sustentabilidade desta estratégia, porém os autores Ceschin e Gaziulusoy (2020) atentam ao fato de que a Biomimética não é sustentável *a priori*, já que as soluções derivadas da natureza não são necessariamente benéficas ao meio ambiente. Isso pode ser constatado com o exemplo do velcro, um dos mais difundidos na Biomimética. Apesar de inspirado nas sementes das plantas do gênero *Arctium* – que costumam grudar nas roupas - em geral o velcro é produzido com materiais sintéticos (*nylon* e poliéster) presos a tecidos, portanto não-biodegradáveis e pouco reciclados (fig. 4).

Figura 4 - À esquerda, a planta do gênero *Arctium*, e à direita o velcro, feito de nylon.



Fonte: website razoesparaacreditar.com

A Biomimética é, possivelmente, a estratégia de design e natureza mais popular na atualidade. Alguns exemplos disso são o filme “Biocêntricos” (2022, Brasil) ou a conhecida plataforma “Ask Nature” (asknature.org), na qual qualquer pessoa pode fazer perguntas e pesquisar soluções naturais já existentes. A Biomimética já está bastante integrada em cursos, seja envolvendo designers (DE PAUW et al., 2014), turmas interdisciplinares de nível superior (KENNEDY; BUIKEMA; JAMES, 2015), jovens em idade escolar ou mesmo crianças.

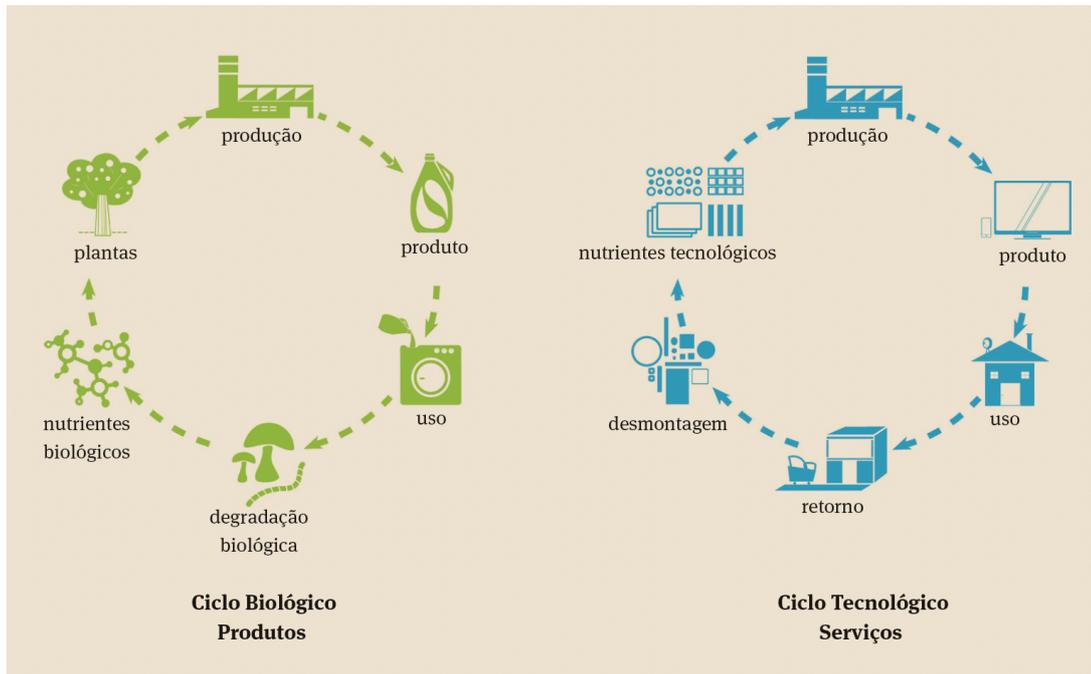
#### 4.2 *Cradle-to-cradle*

Em 2002, Michael Braungart e William McDonough lançaram o livro “*Cradle to Cradle: remaking the way we make things*” no qual definem e detalham esta estratégia de design. Em vez de projetar para a reciclagem – que na visão dos autores significa tornar os produtos “menos ruins” - os designers são estimulados a buscar a “ecoeficiência.” Utilizando a natureza como modelo para pensar de modo sistêmico (Biomimética), almeja-se projetar produtos de forma que, após suas vidas úteis, tornem-se ‘alimento’ para novos produtos. Alguns princípios da natureza são destacados pelos autores para guiar o design: a ideia de que não existe lixo, mas somente a abundância de nutrientes, o uso de energia solar e a celebração da diversidade.

Na abordagem *Cradle-to-Cradle* prevalece a ideia de que “emprestamos” os materiais da natureza: todos os produtos têm de fazer parte de ciclos (fig. 5), sejam eles biológicos ou tecnológicos (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002). No ciclo tecnológico, os materiais devem ser vistos como produtos de serviço. Uma TV, por exemplo, após utilizada e ficar obsoleta, retornaria à fábrica para ser desmontada e ter seus componentes reaproveitados. Neste ciclo, portanto, os materiais podem ser reprocessados para permitir que sejam usados em um novo produto.

Já no ciclo biológico, os materiais dos produtos são devolvidos diretamente à biosfera na forma de composto ou outros nutrientes, a partir dos quais novos materiais podem ser criados. Uma embalagem biodegradável ou um tecido feito de fibras naturais são exemplos desse tipo de produto, e alguns produtos de ciclo biológico podem ser reprocessados em ciclos técnicos várias vezes antes de retornarem à biosfera, como é o caso da reciclagem de papel.

Figura 5 - Ciclos biológico e Tecnológico conforme a abordagem *Cradle-to-Cradle*.



Fonte: adaptado de C2C PLATFORM TAIWAN, 2020.

### 4.3 Biodesign

O Biodesign aproveita materiais vivos, sejam eles tecidos cultivados ou plantas, e incorpora o sonho do design orgânico: observar objetos crescerem e, após o primeiro impulso, deixar a natureza, a melhor entre todos os engenheiros e arquitetos, seguir seu curso. (ANTONELLI, 2018, p.7)

O Biodesign é definido pela maioria dos autores como sendo a estratégia que, em seus processos, faz uso de elementos vivos para gerar alternativas de materiais ou produtos sustentáveis (CAMERE; KARANA, 2018; COLLET, 2017; ERTÜRKAN; KARANA; MUGGE, 2022; KARANA; BARATI; GIACCARDI, 2020; MYERS, 2018b). Myers explica que o Biodesign “vai além do mimetismo para a integração, dissolvendo os limites entre os meios naturais e construídos, e sintetizando tipologias híbridas” (MYERS, 2018a, p.8) e menciona que, com menos material e energia, experimentos com processos biológicos são capazes de substituir processos industriais. Além de Myers, diversos autores sugerem que o Biodesign é uma nova fronteira ou que representa uma quebra de paradigma no design (ESAT; AHMED-KRISTENSEN, 2018; GINSBERG; CHIEZA, 2018; KARANA; BARATI; GIACCARDI, 2020; MIRONOV et al., 2009).

Ginsberg e Chieza definem o Biodesign de forma mais ampla, como sendo o design “da”, “com a”, ou “a partir da” Biologia, capaz de oferecer novas perspectivas para nós e para outros seres vivos (GINSBERG; CHIEZA, 2018). Nesse sentido, as autoras deixam claro que a abordagem não é nova, pois o refinamento (ou design) de organismos feito através da seleção é uma prática antiga, por exemplo numa plantação ou na criação de gado. Técnicas vernaculares, como a fabricação da cerveja feita a partir da fermentação do lúpulo, também seriam Biodesign. Essa visão, segundo elas “mais social do que tecnológica do Biodesign”, permite incluir tanto práticas tradicionais quanto contemporâneas, e diferentes métodos, processos, espaços e agentes. As autoras também consideram que, apesar de ancorado num desejo de desafiar o sistema

industrial, existe a possibilidade de o Biodesign criar somente substitutos para os produtos tradicionais (fig. 6, esq.), o que “reforça os sistemas e mercados atuais e seus impactos ecológicos, em vez de reinventá-los como prometido” (2018).

Figura 6 - À esquerda, luminárias de teto feitas de micélio por Cox & Ivanova, 2017. À direita, objetos feitos em impressão 3D a partir de material feito de algas secas, por Klarenbeek and Dros, 2017.



Fonte: website dezeen.com

Alguns pesquisadores consideram que o Biodesign pode também incorporar propriedades de elementos orgânicos “outrora” vivos (ESAT; AHMED-KRISTENSEN, 2018; MIRONOV et al., 2009). Isso permite considerar Biodesign processos que não utilizam organismos vivos na fabricação, incluindo por exemplo os materiais feitos dos subcomponentes de algas desidratadas, por exemplo (KARANA; CAMERE, 2017). O universo dos Biomateriais, portanto, seria parte do Biodesign. Em última hipótese, percebe-se que, usando organismos vivos ou não<sup>2</sup>, o Biodesign faz sempre uso de materiais orgânicos e está comprometido com ideais de ecologia e regeneração.

Vale ainda destacar a importância da interdisciplinaridade no Biodesign. A maioria dos biodesigners precisa buscar informações e trabalhar com diferentes disciplinas fora do Design, geralmente relacionadas às ciências, portanto uma colaboração direta entre cientistas, como biólogos e químicos, e designers acontece com frequência neste campo. No entanto, estes profissionais têm maneiras diferentes de abordar as questões e enfrentar problemas, o que gera possibilidades de soma, mas também trazem obstáculos que têm de ser enfrentados. De qualquer maneira, é notável que os biodesigners, mesmo sem formação específica, consigam desenvolver estratégias de aprendizado nas diferentes áreas e liderem projetos a partir de suas próprias ideias de Biodesign (BANDONI; FORMAN, 2022).

#### 4.3.1 Terminologia do Biodesign

A onipresença atual do prefixo “bio”, que significa vida, por vezes, dá a impressão de ser um modismo, assim como “eco” ou “green” num passado recente. Embora Myers, curador, autor e

<sup>2</sup> Meroz coloca que “O Antropoceno e a reformulação da troca de capacidades entre entidades vivas e não vivas (humanos possuindo capacidades geológicas e entidades geológicas tendo agência para mudar a história humana) abriram o pensamento ocidental para a percepção de que ele se baseia na dicotomia vida/não vida e que essa dicotomia não é mais estável” (MEROZ, 2022, p.120).

professor baseado em Amsterdam, seja creditado como o responsável por cunhar o termo “Biodesign” em 2012 (MYERS, 2018a), o conceito de produzir em conjunto ou a partir de elementos vivos já estava expresso na “Biofabricação,” área com longo histórico nas Ciências Biomédicas e Engenharia, sobre a qual o Biodesign se constrói (KARANA, 2020).

A Biofabricação, como entendida originalmente na Medicina, é a área do conhecimento no encontro da Biologia, Ciências dos Materiais e Engenharia Mecânica (MIRONOV et al., 2009). Mais recentemente, ela foi descrita como a abordagem revolucionária para a área da saúde que usa processos de fabricação para produzir biomateriais, dispositivos, células, tecidos e órgãos (PAVLOVICH; HUNSBERGER; ATALA, 2016). É importante distinguir Biofabricação de Biomanufatura - esta última relacionada à indústria farmacêutica e que consiste na manipulação de drogas e moléculas usando células vivas. No entanto, já em 2009, Mironov et al. descrevem o potencial da Biofabricação indo muito além da tradicional técnica de “impressão de órgãos” no campo médico: ela participa amplamente da Biotecnologia, contribuindo para a produção de energia sustentável (biocombustível), transformações na indústria alimentícia (*animal-free food*) e de bioprodutos, por exemplo objetos feitos com biocouro. É interessante notar que apesar de mencionar a sustentabilidade, o foco do autor é a indústria: diferente dos biodesigners, que insistem no potencial de mudar práticas de consumo e produção, aqui esta estratégia parece ter o propósito de gerar substitutos “amigáveis” ao meio-ambiente.

Diferente do meio médico, onde a Biofabricação é uma área, dentro do Biodesign ela é entendida como uma das técnicas para se trabalhar com organismos vivos (COLLET, 2017, 2020). Há autores que, parecendo evitar confusões, a definem como “Growing Design” (KARANA; CAMERE, 2017). Em ambos os casos, nesta técnica a natureza é considerada uma colaboradora no processo de design: “aqui o designer se torna um cultivador que cresce e controla a morfologia dos materiais colaborando e cooperando com organismos naturais, como bactérias, fungos ou algas” (COLLET, 2020, p.1334). Camere e Karana (2018) explicam que essa maneira de fazer muda a concepção dos materiais, os desdobramentos do processo e a abordagem adotada pelos designers, pois os materiais são “vivos” e “imprevisíveis.”

De maneira semelhante, a Biologia Sintética, que é uma área da Biologia, pode ser considerada uma técnica dentro do Biodesign, onde os organismos são manipulados geneticamente com a intenção de criar determinados produtos. Nesta técnica, a natureza é vista como um “sistema hackeável” (COLLET, 2020) e, através dela, os designers têm criado diversos projetos especulativos nos quais conseguem explorar e puxar a tecnologia aos seus limites.

Finalmente, vale ressaltar que, apesar dos produtos do Biodesign geralmente serem objetos feitos de material orgânico “morto,” ou seja sem vida, quando reconhecidos como produtos, existem diversos experimentos de objetos onde os organismos são mantidos vivos (*living artefacts*) e que requerem novas relações de uso e cuidados, além de diferentes técnicas (ERTÜRKAN; KARANA; MUGGE, 2022; KARANA, 2020; KARANA; BARATI; GIACCARDI, 2020).

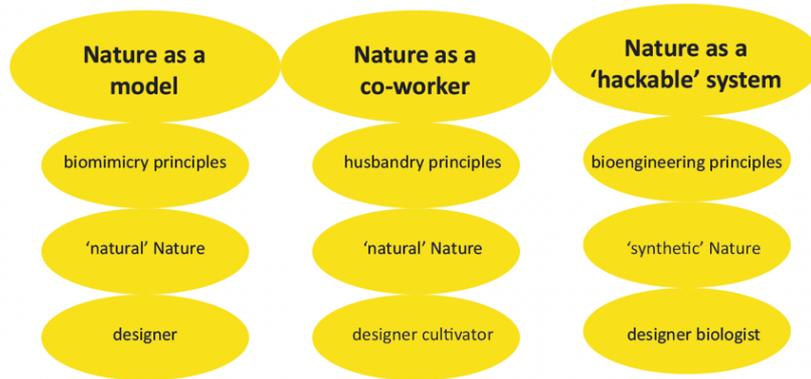
#### 4.3.2 Esquemas do Biodesign já existentes

Para facilitar o entendimento do Biodesign, em 2013, Collet propôs um esquema que mostra três maneiras da natureza relacionar-se com o Design: como modelo, como colaboradora e como sistema hackeável (fig. 7). Em 2020, a mesma autora mostra um novo esquema, fig. 8, agora intitulado “*Biodesign Framework*” e contendo quatro processos (fig. 8): Biomimética, Biologia Sintética, Materiais de Base Biológica e Biofabricação (Biointegração).

Figura 7 – Esquema de Carole Collet, 2013.

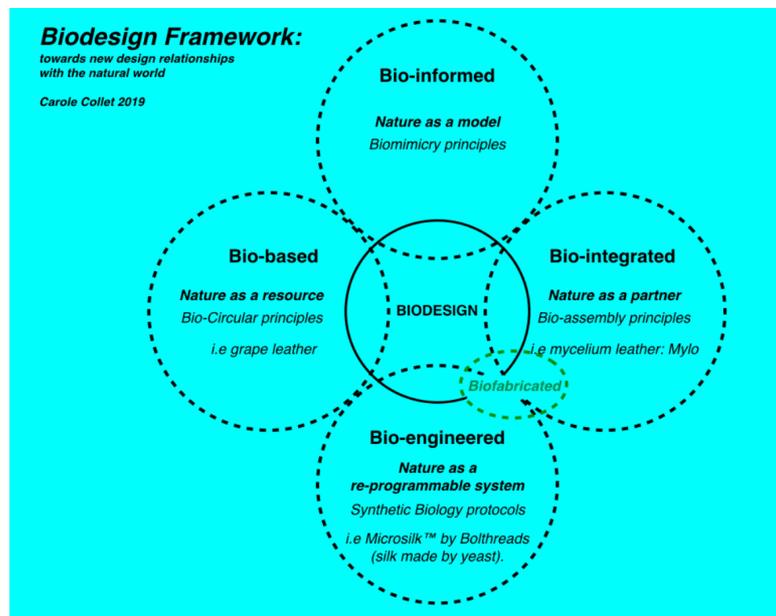
### From biomimicry to biofacture: A framework for designing with living systems

(Towards a new hierarchy of design relationships with the natural world.)  
 © Carole Collet, Design & Living Systems Lab 2013



Fonte: COLLET, 2017.

Figura 8 - Um esquema para o design com sistemas vivos, por Carole Collet, 2020.



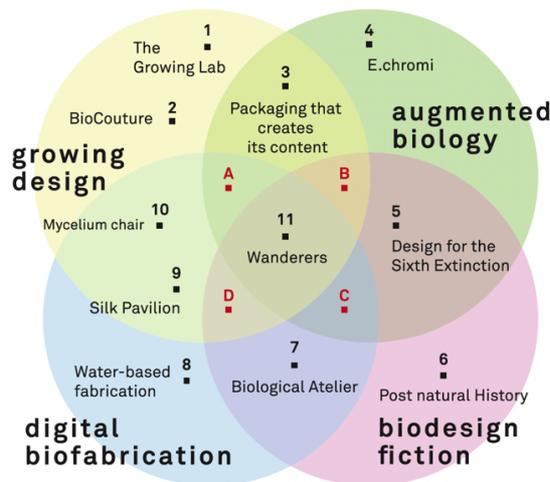
Fonte: website museu Maat, COLLET, 2020.

Analisando os dois esquemas propostos por Collet, é possível concluir que seu ponto de partida são as visões possíveis da natureza no Design: modelo, parceira, recurso ou sistema. A autora exemplifica estas visões, mas não detalha as técnicas nem o tipo de recurso, deixando muitas lacunas em aberto.

De maneira semelhante, Camere e Karana (2017, 2018) apresentam um esquema que

exemplifica abordagens da Biologia no Design contendo quatro possibilidades: “*growing design*”, “*augmented biology*”, “*digital biofabrication*” e “*biodesign fiction*” (fig. 9). As autoras exemplificam essas abordagens com diversos projetos de Biodesign, mostrando claramente os projetos que estão na intersecção de duas ou mais abordagens.

Figura 9 - O esquema de Karana e Camere, descrito como “*four approaches cross-fertilizing design with biology*” posiciona diferentes projetos de Biologia + Design existentes, analisados pelas autoras.



Fonte: CAMERE; KARANA, 2018.

É possível inferir que tais abordagens se referem a determinadas técnicas e é também possível traçar alguns paralelos deste esquema (fig. 9) com os de Collet (fig. 7 e 8):

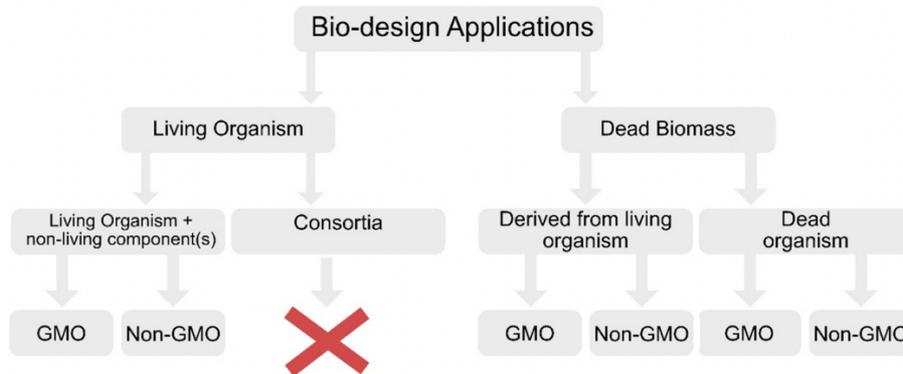
Tabela 1 – correspondências dos termos empregados nos esquemas de Biodesign de Collet com Karana e Camere.

Collet (fig. 7 e 8)	Karana e Camere (fig.9)
biofabricação / natureza como parceira (“co-worker”)	“growing design”
biologia sintética / natureza como sistema hackeável	“augmented biology”
“bio-based” / natureza como recurso	“digital biofabrication”
“synthetic nature”	“biodesign fiction”

Fonte: Bandoni, 2024.

De maneira diferente, Esat e Ahmed-Kristensen (2018) propõem uma classificação das aplicações do Biodesign, portanto sua análise teve como ponto de partida os produtos finais. Num primeiro nível, separam produtos que são feitos de organismos vivos e os que derivam de biomassa “morta.” Percebem que estas classes podem ser subdivididas e categorizadas em mais detalhes sobre, por exemplo, a presença de organismos geneticamente modificados (GMO) como ingredientes do processo (fig.10).

Figura 10 - Esquema feito a partir das aplicações do Biodesign, por Esat e Ahmed-Kristensen. (GMO: *genetic modified organism*)



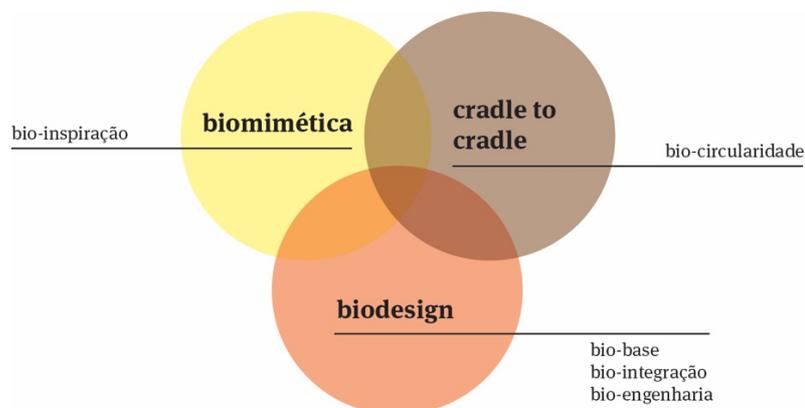
Fonte:ESAT; AHMED-KRISTENSEN, 2018.

Estes autores definem Biodesign como “uma nova fronteira na pesquisa de design que incorpora as propriedades naturais de organismos vivos ou outrora vivos e seus processos, e sua reapropriação para contextos e indústrias voltados para o homem” (ESAT; AHMED-KRISTENSEN, 2018). É clara, portanto, a opção dos autores por considerar também elementos orgânicos não-vivos como participantes do Biodesign.

## 5 Proposta de Esquemas para o Biodesign

O primeiro esquema proposto a seguir (fig. 11) apresenta as principais estratégias contemporâneas que unem Design e natureza no campo do Design de Produto atual.

Figura 11 - Esquema das abordagens do Design contemporâneo que se relacionam com a natureza, contendo as principais estratégias analisadas.



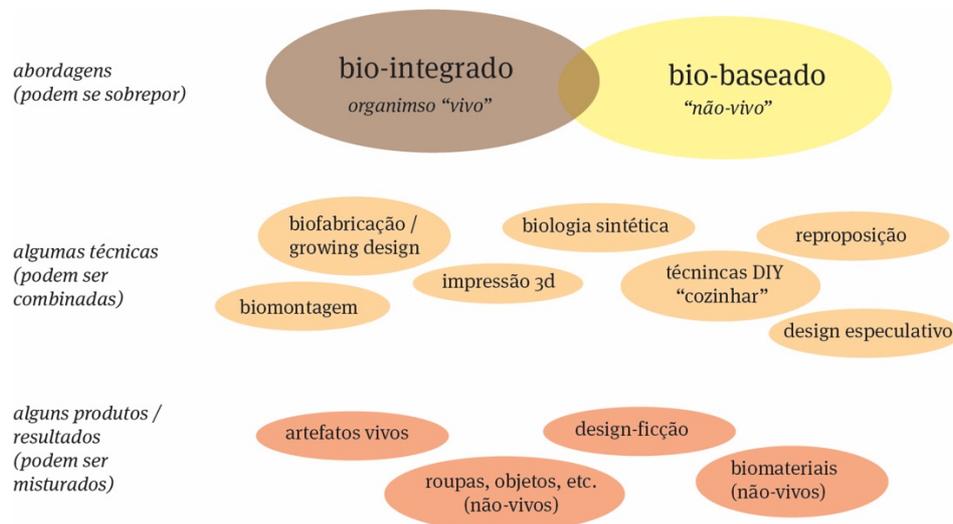
Fonte: Bandoni e Paoliello, 2024.

Como consequência de sua relação com organismos vivos e seus processos, a Biomimética, o Cradle-to-Cradle e o Biodesign produzem projetos em sua maioria comprometidos com conceitos de ecologia e regeneração. No esquema, as estratégias estão interrelacionadas, pois

grande parte dos projetos que utilizam estas estratégias estão situados nas suas sobreposições, empregando mais de uma estratégia. No entanto, as três estratégias apresentam conceitos diferentes, e podem, por isso, apresentar exemplos que nem sempre estão conectados – daí a proposta de mantê-las em círculos separados. O Biodesign, por exemplo, embora tenha a maioria dos seus produtos dentro de ciclos biológicos, nem sempre utiliza energia solar ou renovável, ou preza pela biodiversidade, que são premissas do *Cradle-to-Cradle*. De maneira semelhante, nem sempre o Biodesign faz uso da Biomimética – como por exemplo diversos projetos de bio-ficção ou os que utilizam biologia sintética, mais inspirados em questões humanas do que em soluções da natureza.

Por fim, apresentamos a seguir uma proposta de esquema para o Biodesign, derivada da análise dos esquemas anteriores (fig. 12).

Figura 12 - Esquema para compreensão do Biodesign dentro do campo do Design.



Fonte: Bandoni, 2024.

Aqui, assim como Esat e Ahmed-Kristensen (2018) numa visão abrangente da estratégia do Biodesign, assumimos que este produz e trabalha sempre com elementos orgânicos, sejam eles vivos ou não-vivos, englobando neste último caso não só minerais (como o sal), mas também resíduos domésticos ou da agricultura (como cascas de frutas e excedentes industriais)<sup>3</sup>. O ponto de partida é esse aspecto vital da matéria, que define dois tipos de abordagens: no caso de elementos vivos, Bio-integrada (parceria/ colaboração) ou, no caso dos não-vivos, Bio-baseada (ingrediente).

Dos esquemas de Collet (2013, 2020), foi suprimida a abordagem "natureza como modelo", já que esta refere-se à Biomimética, estratégia diferente do Biodesign, e a abordagem "natureza como sistema hackeável", que se refere à biologia sintética, foi revista. Aqui a biologia sintética, ou seja, a manipulação genética de organismos é compreendida como uma técnica que pode ser utilizada no trabalho em colaboração com elementos vivos.

É preciso colocar que existem muitas sobreposições no esquema apresentado. Tanto pode

<sup>3</sup> Para uma discussão mais aprofundada sobre o binário vida/não-vida e o conceito de "life-centered design" consultar: MEROZ, 2022.

existir uma combinação entre técnicas, quanto na própria mistura de elementos vivos e não vivos. Um exemplo é uma cultura de bactérias – elemento vivo – sendo alimentada por um chá feito de ervas – elemento não-vivo, para produzir a partir da biofabricação ou “*growing design*” a celulose bacteriana, material muito utilizado como alternativa ao couro animal. Da mesma maneira, os resultados do Biodesign, seus produtos finais, podem ser vivos (“*living artefacts*”), não-vivos (biomateriais), especulativos (design-ficção), ou uma combinação destas possibilidades.

## 6 Conclusão

O Biodesign tem experimentado um crescimento significativo nos últimos anos, englobando avanços interdisciplinares no desenvolvimento de materiais e produtos. As emergentes tecnologias de Biofabricação, uma parte inerente da Biotecnologia, estão sendo progressivamente reconhecidas como ecologicamente favoráveis e, portanto, trata-se de uma abordagem promissora para alcançar métodos de produção mais limpos.

Este estudo realiza uma revisão de literatura aprofundada do Biodesign, procurando situá-lo historicamente observando aproximações entre Design e Natureza articuladas por diversos autores. Detalhamos as três estratégias mais utilizadas na atualidade, incluindo o Biodesign, e executamos uma pesquisa de terminologia para elucidar alguns nomes utilizados dentro do campo do Design, reconhecendo que seus termos podem ter se originado em outras áreas do conhecimento, mas diferem daqueles em conceito. O estudo também contempla e compara os esquemas existentes publicados por diferentes autores com o fim de facilitar a compreensão do Biodesign e, por fim, propõe um esquema que julgamos mais pertinente e abrangente.

Nesta pesquisa, ficou clara a prevalência de autores do Norte global, ou baseados no Norte. Possivelmente, isso é consequência do termo Biodesign ter origem europeia, assim como a própria Revolução Industrial que impulsionou a disciplina do Design e que foi tomada aqui como ponto de partida histórico. Entretanto, como no Sul global algumas comunidades ainda existentes não têm tanta distância da Natureza, é possível que, o que agora é chamado Biodesign, seja possível de ser reconhecido em muitas outras práticas, especialmente as que envolvem artesanato ou conhecimentos ancestrais (FALCO et al., 2024). Assim como alguns autores apresentados, acreditamos no alargamento da expressão Biodesign de modo que essa estratégia não esteja ligada somente à um tipo de tecnologia ou à uma época, mas sim à percepção de que interferimos continuamente na natureza e ela em nós, afinal somos parte dela, e algumas vezes podemos desenhar essas interações – num design programado, idealmente, para favorecer o equilíbrio do e com o planeta.

Em relação ao esquema proposto para a compreensão do Biodesign (fig. 12), é relevante destacar a inclusão dos Biomateriais (ou materiais de base biológica) dentro do domínio do Biodesign. A maioria dos autores relaciona Biomateriais ao Biodesign apenas quando organismos vivos fazem parte do processo de design. No entanto, em nossa proposta, a integração é total: incluímos deliberadamente matéria orgânica não-viva (por exemplo, cascas de frutas, resíduos agrícolas, entre outros) no escopo do Biodesign.

Dessa forma, nossa proposta indica que a narrativa do Biodesign deve ser direcionada para uma abordagem ecológica que favoreça a vida, independentemente de seu processo incluir matéria orgânica viva ou não viva. Mais do que “projetar com organismos vivos”, o Biodesign pode ser “projetar para a vida”, com a intenção de um equilíbrio ecossistêmico ampliado.

## 7 Agradecimentos

O projeto que deu origem a estes resultados contou com o apoio de uma bolsa da Fundação “la Caixa” (ID 100010434). O código da bolsa é LCF/BQ/DR22/11950001. É também financiado pela FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos Projetos Estratégicos com referência UIDB/04042/2020.

## 8 Referências

ANTONELLI, Paola. Vital Design. *Em*: MYERS, W. (org.). **Biodesign: Nature, Science, Creativity**. London: Thames & Hudson, 2018.

BANDONI, Andrea; FORMAN, Gabriela. Colaboração Interdisciplinar no Biodesign: Obstáculos e Facilitadores. *Em*: BLUCHER DESIGN PROCEEDINGS 2022, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Editora Blucher, 2022. p. 6273–6284. DOI: 10.5151/ped2022-6664644.

BENYUS, Janine. **Biomimicry: Innovation Inspired by Nature**. New York: HarperCollins, 1997.

BLANCO-WELLS, Gustavo. Ecologies of Repair: A Post-human Approach to Other-Than-Human Natures. **Frontiers in Psychology**, [S. l.], v. 12, 2021. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.633737.

BRINK, G.; HAMLETT, P.; DESTANDAU, N. **Genealogy of the Living Principles**. [s.l.] : AIGA Center for Sustainable Design, 2009.

C2C PLATFORM TAIWAN. **Cradle to Cradle**. 2020. Disponível em: <https://www.c2cplatform.tw/en/c2c.php?Key=1>. Acesso em: 29 abr. 2021.

CAMERE, Serena; KARANA, Elvin. Fabricating materials from living organisms: An emerging design practice. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 186, p. 570–584, 2018.

CARDOSO, Rafael. **Uma Introdução à História do Design**. 3rd. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

CESCHIN, Fabrizio; GAZIULUSOY, İdil. **Design for Sustainability: A Multi- level Framework from Products to Socio- technical Systems**. New York: Routledge, 2020.

CIUFFI, Valentina. Growing Materials. **Abitare 531**, [S. l.], p. 110–111, 2013.

COLLET, C. **Biodesign | maat extended**. 2020. Disponível em: <https://ext.maat.pt/bulletin/biodesign>. Acesso em: 16 set. 2021.

COLLET, Carole. **Designing for the Biocentury**. [s.l.] : University of the Arts London, 2017.

COLLET, Carole. Designing our future bio-materiality. **AI and Society**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1007/s00146-020-01013-y.

CUNCA, Raul. **Territórios Híbridos**. Lisboa: Biblioteca d’Artes, 2006.

DADE-ROBERTSON, Martyn. **Living Construction**. Abingdon, Oxon; New York: Routledge, 2020.: Routledge, 2020. DOI: 10.4324/9780429431807.

DE PAUW, Ingrid C.; KARANA, Elvin; KANDACHAR, Prabhu; POPPELAARS, Flora. Comparing Biomimicry and Cradle to Cradle with Ecodesign: a case study of student design projects. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 78, p. 174–183, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.04.077.

DESIGN MUSEUM. **Luigi Colani**. 2015. Disponível em:

<https://designmuseum.org/designers/luigi-colani#>. Acesso em: 27 jun. 2023.

ERTÜRKAN, Hazal; KARANA, Elvin; MUGGE, Ruth. Is this alive? Towards a vocabulary for understanding and communicating living material experiences. *Em*: 2022, **Anais** [...]. [s.l: s.n.] DOI: 10.21606/drs.2022.796.

ESAT, Roya; AHMED-KRISTENSEN, Saeema. Classification of Bio-design applications: Towards a Design Methodology. *Em*: 2018, **Anais** [...]. [s.l: s.n.] p. 1031–1042. DOI: 10.21278/idc.2018.0531.

ESCOBAR, Arturo. **Designs for the Pluriverse: Radical Interdependence, Autonomy and the Making of Worlds**. London: Duke University Press, 2018.

FALCO, Federica Dal; CUNCA, Raul; BANDONI, Andrea; PAOLIELLO, Carla. Designing with Nature. Ancestrality and Collaboration with the Living in Contemporary Times. *Em*: [s.l: s.n.]. p. 297–318. DOI: 10.1007/978-3-031-53122-4\_20.

FULLER, B. **Manual de Instruções para a Nave Espacial Terra**. 2. ed. Porto: Via Optima, 1998.

GINSBERG, Alexandra Daisy; CHIEZA, Natsai. Editorial: Other Biological Futures. **Journal of Design and Science**, [S. l.], 2018. DOI: 10.21428/566868b5. Acesso em: 27 set. 2021.

HUGERTH, Mina Warchavchik. **The Geometry of Nature**. 2019. Disponível em: [https://www.cooperhewitt.org/2019/12/11/the-geometry-of-nature/#\\_edn2](https://www.cooperhewitt.org/2019/12/11/the-geometry-of-nature/#_edn2). Acesso em: 27 jun. 2023.

KARANA, E. **Still Alive: Livingness as a Material Quality in Design**. Breda: Avans University of Applied Sciences, 2020.

KARANA, Elvin; BARATI, Bahareh; GIACCARDI, Elisa. Living artefacts: Conceptualizing livingness as a material quality in everyday artefacts. **International Journal of Design**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 37–53, 2020.

KARANA, Elvin; CAMERE, Serena. Growing materials for product design. *Em*: EKSIG 2017: ALIVE. ACTIVE. ADAPTIVE 2017, Delft. **Anais** [...]. Delft: Delft University, 2017. p. 101–115.

KARANA, Elvin; DE PAUW, Ingrid; KANDACHAR, Prabhu; PECK, David. Nature Inspired Design: strategies towards sustainability. *Em*: ERSCP-EMSU CONFERENCE 2010, Delft. **Anais** [...]. Delft

KENNEDY, Brook; BUIKEMA, Author; JAMES, Jacquelyn K. S. Nagel. Integrating biology, design, and engineering for sustainable innovation. *Em*: ISEC 2015 - 5TH IEEE INTEGRATED STEM EDUCATION CONFERENCE 2015, **Anais** [...]. : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2015. p. 88–93. DOI: 10.1109/ISECon.2015.7119952.

KENNEDY, Emily Barbara. Biomimicry: Design by Analogy to Biology. **Research-Technology Management**, [S. l.], v. 60, n. 6, p. 51–56, 2017. DOI: 10.1080/08956308.2017.1373052.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. **Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things**. 1st. ed. New York: North Point Press, 2002.

MEROZ, Joana. Beyond Biontology? Bringing Elizabeth A. Povinelli’s Geontologies to Life-Centred Design. **Disegno**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 114–131, 2022. DOI: 10.21096/disegno\_2022\_2jm.

MIRONOV, V.; TRUSK, T.; KASYANOV, V.; LITTLE, S.; SWAJA, R.; MARKWALD, R. Biofabrication: a 21st century manufacturing paradigm. **Biofabrication**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 1–16, 2009. DOI: 10.1088/1758-5082/1/2/022001.

MOMA. **Biomorphic**. [s.d.]. Disponível em:

- <https://www.moma.org/collection/terms/biomorphic>. Acesso em: 25 maio. 2023.
- MYERS, William. **Biodesign: Nature, Science, Creativity**. London: Thames & Hudson, 2018. a.
- MYERS, William. What are Biodesign and Bioart, and why should I care? *Em*: MARKS, Anna (org.). **Biodesign. From inspiration to Integration (exhibition catalogue)**. Providence, Rhode Island: RISD, Nature Lab, 2018. b.
- NOISE ADDICTS. **Futuristic Piano by Luigi Colani - Audio and Sound**. [s.d.]. Disponível em: <http://www.noiseaddicts.com/2009/06/futuristic-piano-by-luigi-colani/>. Acesso em: 27 jun. 2023.
- OFFICIAL VITRA WEBSITE. **Vitra | Coffee Table**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.vitra.com/en-me/living/product/details/coffee-table>. Acesso em: 25 maio. 2023.
- OROPALLO, Gabriele. **Making or Unmaking the Environment The Role of Envisioning in the History of Sustainable Design**. 2017. Thesis submitted for the degree of PhD - University of Oslo, Oslo, 2017.
- PAPANEK, Victor. **Design for the Real World: Human Ecology and Social Change**. 2nd. ed. London: Thames & Hudson, 1984.
- PAVLOVICH, Matthew J.; HUNSBERGER, Joshua; ATALA, Anthony. Biofabrication: a secret weapon to advance manufacturing, economies, and healthcare. **Trends in Biotechnology**, [S. l.], v. 34, n. 9, p. 679–680, 2016. DOI: 10.1016/j.tibtech.2016.07.002.
- POWNALL, Augusta. **Biodynamic design pioneer Luigi Colani dies aged 91**. 2019. Disponível em: <https://www.dezeen.com/2019/09/17/luigi-colani-biodynamic-design-pioneer-dies-aged-91/>. Acesso em: 27 jun. 2023.
- TATE. **Biomorphic**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.tate.org.uk/art/art-terms/b/biomorphic>. Acesso em: 25 maio. 2023.
- VICTORIA AND ALBERT MUSEUM. **Owen Jones and the Grammar of Ornament**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.vam.ac.uk/articles/owen-jones-and-the-grammar-of-ornament#slideshow=7716019588&slide=0>. Acesso em: 27 jun. 2023.
- WAHL, Daniel Christian. **Design for Human and Planetary Health - A Holistic Integral Approach to Complexity and Sustainability**. 2006. University of Dundee, Dundee, 2006.