

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DAIANE ARRUDA DE ALMEIDA DUPIM

**Economia circular e biomimética: uma análise no contexto de sistemas
regenerativos**

São Carlos

2019

DAIANE ARRUDA DE ALMEIDA DUPIM

Economia circular e biomimética: uma análise no contexto de sistemas regenerativos

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Ecologia Industrial

Orientador: Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto

São Carlos

2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

D934e Dupim, Daiane Arruda de Almeida
Economia circular e biomimética: um análise no
contexto de sistemas regenerativos / Daiane Arruda de
Almeida Dupim; orientador Aldo Roberto Ometto. São
Carlos, 2019.

Dissertação (Mestrado) - Programa de
Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da
Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2019.

1. Biomimetismo. 2. Economia circular. 3. Sistemas
regenerativos. 4. Biomimética. 5. ILPF. 6. Sistemas de
integração. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Licenciada e Bacharela **DAIANE ARRUDA DE ALMEIDA DUPIM.**

Título da dissertação: "Economia circular e biomimétrica: uma análise no contexto de sistemas regenerativos".

Data da defesa: 27/09/2019.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Aldo Roberto Ometto (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Apurada

Prof. Dr. **Kleber Francisco Espôsto**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Apurada

Dr. **Alberto Carlos de Campos Bernardi**
(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA)

APROVADA

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:

Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

“A maneira de cuidar de nós mesmos e de nossas famílias, a maneira de sustentar isso e as gerações futuras de seres humanos, é cuidar da vida como um todo... A saúde da biosfera e o futuro da humanidade são inseparáveis”
(WHA, 2016 p.61)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me guiado e fortalecido até aqui.

Aos meus pais Ademir e Marizeth, pela vida que me flui. À minha família de São Carlos e Cuiabá, por todo carinho, apoio e amor. Em especial, agradeço novamente minha mãe, que é meu porto seguro e minha maior inspiração, por estar sempre ao meu lado, torcendo, acreditando e me incentivando.

Ao professor Dr. Aldo R. Ometto pela orientação, pelas contribuições e, em particular, pela oportunidade em fazer parte deste grupo de pesquisa.

Aos meus colegas do Grupo de Pesquisa em Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida e do Laboratório de Gestão de Operações, pela troca de conhecimento, pelo apoio profissional e pelos momentos de descontração. Obrigada por sempre me ampararem. Sem vocês, essa jornada com certeza não teria uma memória tão doce.

À CAPES pela concessão do apoio financeiro, essencial para a viabilização desta pesquisa.

À EMBRAPA pela disponibilidade e colaboração com o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também aos funcionários do Departamento de Engenharia Produção e do Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, por toda ajuda, paciência e direcionamento ao longo desses anos.

A todos que de alguma maneira fizeram parte dessa caminhada, colaborando direta indiretamente para a realização do meu mestrado, meu mais sincero obrigada!

RESUMO

DUPIM, D. A. A. Economia circular e biomimética: uma análise no contexto de sistemas regenerativos. 2019. 99p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

O sistema produtivo da sociedade atual é baseado em um modelo linear de extração produção-descarte, de alto gasto energético. Este modelo vem sendo questionado do ponto de vista econômico, social e ambiental, e as iniciativas empregadas até o momento não são suficientes para lidar com desafios atuais. Para entregar impactos positivos de longo prazo, é preciso ir além das melhorias incrementais, transformando fundamentalmente o paradigma existente. Para isso, é necessário transitar para um modelo fechado e regenerativo, como proposto pela economia circular. A implementação efetiva das estratégias circulares, contudo, requer mudanças sistêmicas e complexas em vários níveis. Esse processo de transição pode ser facilitado pela biomimética, um movimento que incentiva o aprendizado e a integração com a natureza ao utilizar as estratégias e os *designs* biológicos como inspiração para solucionar problemas humanos em uma ampla gama de aplicação. Por isso, verificou-se como a biomimética está relacionada com a economia circular, em termos conceituais e práticos. Como resultado, foi possível identificar os diversos níveis de sobreposição existentes entre a biomimética e a economia circular, e perceber que ambos os conceitos estão relacionados ao desenvolvimento de sistemas de regeneração. Por meio do método estudo de caso em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta, a relação entre economia circular, biomimética e práticas regenerativas foi exemplificada.

Palavras-chave: economia circular, sistemas regenerativos, biomimetismo, ILPF, sistemas de integração

ABSTRACT

DUPIM, D. A. A. Economia circular e biomimética: uma análise no contexto de sistemas agroindustriais. 2019. 99p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

The current ‘take-make-dispose’ linear model has been questioned from an economic, social and environmental point of view, and the initiatives so far are not sufficient to deal with current challenges. Delivering long-term positive impacts requires moving beyond incremental improvements, but fundamentally transforming the existing paradigm. For this, it is necessary to move towards a closed and regenerative systemic model, as proposed by circular economy. The effective implementation of circular strategies, however, requires complex and systemic changes at several levels. This transition process can be facilitated by biomimicry, a movement that encourages learning from and integrating with nature by using biological strategies and designs as inspiration to solve human problems in a wide range of applications. To verify how biomimicry can help in the transition of circular economy, it was verified how these two terms were related in conceptual and practical terms. As a result, it was possible to identify the different levels of overlap between biomimicry and CE, and to understand the relationship of these two concepts in relation to the development of regenerative systems, which was later exemplified by a case study in Integrated Crop-Livestock-Forestry Systems (ICLF).

Keywords: *circular economy, regenerative system, biomimetics, ICLF, integrated production system.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mudança de paradigma em direção à uma economia circular	20
Figura 2: Procedimento metodológico desta dissertação	26
Figura 3: Fases iterativas de uma Revisão Bibliográfica Sistemática	27
Figura 4: Etapas do estudo de caso desenvolvido no presente trabalho	30
Figura 5: Sistema de negócio circular	32
Figura 6: Diagrama sistêmico do fluxo de nutrientes biológicos e técnicos da economia circular	34
Figura 7: Abordagens bottom-up e top-down da biomimética.....	38
Figura 8: Níveis para analogia biológica	39
Figura 9: Representação geral de um sistema biológico	40
Figura 10: Estruturação da asa de borboletas <i>Morpho</i> sp. e sua analogia biomimética no setor têxtil.....	42
Figura 11: Superfície de uma folha de lótus e sua analogia biomimética no setor de tintas	43
Figura 12: Visão 3D do cultivador de varanda biomimético	44
Figura 13: Fluxograma resumido de etapas de um sistema de cultivo de soja.....	46
Figura 14: As quatro modalidades do sistema ILPF e sua relação com os componentes do sistema produtivo.....	48
Figura 15: Distribuição das Unidades de Referência Tecnológica de ILPF no Brasil	49
Figura 16: Linha do tempo das publicações que trazem uma relação aprofundada entre os temas economia circular e biomimética	51
Figura 17: Sobreposição da economia circular e biomimética, segundo Geisendorf; Pietrulla (2017), em relação às características analisadas pelos autores.....	54
Figura 18: Protótipo biomimético do carro da Mercedes-Benz	62
Figura 19: Trajetória de sistemas em degeneração para sistemas em regeneração	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Modelos de negócio circular	33
Quadro 2: Princípios biomiméticos e AICV.....	64
Quadro 3: Princípios da vida	68
Quadro 4: Comparativo entre Princípios da vida e Princípios da EC	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Contextualização do tema.....	19
1.2 Objetivo da pesquisa.....	23
1.3 Justificativa da pesquisa	23
2 MÉTODO DE PESQUISA.....	25
2.1 Classificação da pesquisa	25
2.2 Procedimento metodológico	25
2.2.1 Fase 1 – Identificação da relação entre EC e Biomimética na literatura.....	26
2.2.1.1 Revisão Bibliográfica Sistemática.....	26
2.2.2.2 Revisão Exploratória	28
2.2.2 Fase 2 – Seleção de princípios.....	28
2.2.3 Fase 3 – Análise comparativa entre princípios.....	28
2.2.4 Fase 4 – Estudo de caso.....	29
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
3.1 Economia circular.....	31
3.2 Biomimética	36
3.3 Sistemas regenerativos, agroindustriais e ILPF.....	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Escopo conceitual biomimética e economia circular	51
4.1.1 Sistema de valor	56
4.1.2 Regras da biosfera	58
4.1.3 <i>Design</i> para múltiplos ciclos de vida.....	60
4.1.4 BiomIMETRIC	63
4.2 Comparação entre princípios da economia circular vs. Princípios da vida.....	66
4.3 Sistemas regenerativos, biomimética e economia circular	69
4.4 Sistemas ILPF.....	71
5 CONCLUSÃO.....	77
REFERÊNCIA	81
Apêndice A – Filtragem e resultados da RBS	94
Apêndice B – Protocolo do Estudo de Caso.....	96

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A economia atual é baseada em sistemas produtivos lineares e de alto gasto energético, onde o foco é a extração, a manufatura e o descarte do capital natural (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013). Essa linearidade é degenerativa por natureza, pois emprega fluxos unidirecionais (MANG; REED, 2012), gasta uma alta quantidade de recursos que não são continuamente e rapidamente regenerados, desperdiça ativos, e deixa valores inexplorados em todas as etapas do ciclo de vida (SITRA, 2018). A degeneração desse modelo é resultado de uma perspectiva reducionista¹ que causa deficiências econômicas e socioambientais (WAHL, 2016). Isso ameaça a sustentação de longo prazo dos sistemas humanos e ecológicos, fazendo com o modelo linear esteja chegando ao seu limite (CAVALCANTI, 2012; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013; SITRA, 2018).

Ao tentar lidar com as deficiências dessa linearidade, houveram iniciativas em direção ao desenvolvimento sustentável (PAGLIARIN; TOLENTINO, 2015). Instituições públicas e privadas tomaram providências referentes àecoinovação, ecoeficiência, e responsabilidade corporativa (BOCKEN et al., 2014), além de outras práticas tidas como verdes e sustentáveis (KORHONEN; SEAGER, 2008; MASCARENHAS; COSTA, 2018; ZINK; GEYER, 2017). Embora tenha seus méritos, quando aplicadas de forma isolada, estas iniciativas são soluções parciais que apenas mitigam alguns dos impactos negativos (AVLONAS; NASSOS, 2013), enquanto agravam outros por efeito rebote (KORHONEN; SEAGER, 2008; ZINK; GEYER, 2017). Não sendo suficientes para resolver os desafios que a sociedade atual vem enfrentando (CNI, 2018).

Para entregar impactos positivos de longo prazo, é preciso ir além das melhorias incrementais, transformando fundamentalmente o paradigma existente (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2017; COLE, 2012a; REED, 2007). Isso significa repensar e redesenhar o sistema socioeconômico como um todo (PRIETO-SANDOVAL; JACA; ORMAZABAL, 2018), saindo de sistemas lineares e degenerativos para adentrar sistemas

¹ O reducionismo considera as partes como primordiais e procura trabalhar com as partes para ter uma compreensão do todo. Contudo, em sistemas complexos, o todo emerge das interações entre as partes, que afetam umas às outras através de redes complexas de relacionamentos. Por isso, a perspectiva reducionista falha ao tentar lidar com os problemas dos sistemas complexos (JACKSON, 2013). Essa visão fragmentada cria problemas que apenas o pensamento holístico pode resolver (WHAL, 2006).

fechados e regenerativos, como almejado pela economia circular (DE SOUZA; BLOEMHOF-RUWAARD; BORSATO, 2019) (Figura 1).

Figura 1: Mudança de paradigma em direção à uma economia circular



Fonte: Fernandes (2018)

A economia circular é um sistema de atividades econômicas que são restaurativas e regenerativas por *design*² (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; SUN; MCKINSEY, 2015). Sua abordagem sistêmica é desenhada para desacoplar gradativamente o desenvolvimento econômico do consumo de recursos finitos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017a), recuperando, criando, retendo e entregando mais valor³, enquanto diminui as externalidades negativas e a necessidade de extrair novos inputs (CNI, 2018; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015; SITRA, 2018). Neste contexto, todo o sistema é otimizado, ao invés de apenas suas partes (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013), o que traz consequências positivas para as três esferas da sustentabilidade (CNI, 2018; KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018). A economia

² *Design*: algo planejado; um guia para fazer outra coisa; um resultado antecipado que se destina ou que orienta suas ações planejada (PRINCETON UNIVERSITY, 2010). Por *design*, portanto, sendo algo feito com propósito, intenção, objetivo.

³ No contexto da economia circular, pode se entender como valor um conjunto de benefícios resultantes de uma troca que são entregues às partes interessadas (BERTASSINI, 2018).

circular, portanto, é uma nova forma de olhar as relações entre mercado, clientes, recursos naturais e sociedade (WBCSD, 2018).

As oportunidades para inovar e gerar valor por meio da EC são amplas (LACY; RUTQVIST, 2015), principalmente no Brasil, já que este possui características de mercado únicas, extenso capital natural e uma ampla diversidade sociocultural (CE100 BRASIL, 2017; CNI, 2018). Na agroindústria brasileira, essas oportunidades ficam ainda mais claras, por ser o principal responsável pela manutenção da balança comercial do país (CAMARGO et al., 2017), mas que está tradicionalmente associado à um modelo linear que resulta em perdas de valor social, ambiental e econômico (CE100 BRASIL, 2017). Isso faz com que as estratégias de economia circular estejam cada vez mais valorizadas neste setor (BORRELLO; LOMBARDI; CEMBALO, 2016; CE100 BRASIL, 2017; ZUIN; RAMIN, 2018).

A transição para uma economia circular, contudo, é desafiadora devido à mentalidade e às estruturas lineares que ainda predominam na sociedade (LIEDER; RASHID, 2016; PHEIFER, 2017). A implementação efetiva de estratégias circulares requer mudanças sistêmicas e complexas em vários níveis (BUREN et al., 2016), incluindo nos modelos de negócio, *design* de produtos e serviços, legislação, ambientes construídos, práticas de extração de materiais e cultivo, processos de manufatura, e outros (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017a; PRIETO-SANDOVAL; JACA; ORMAZABAL, 2018).

Para lidar com essa complexidade da economia circular, é importante compreender a dinâmica de sistemas complexos, como é o caso dos sistemas ecológicos (LEVIN, 1998). Assim, estudar os sistemas ecológicos e vivos, e colocar sua dinâmica em prática, pode auxiliar a economia circular a ser adaptável e duradoura, tal como esses sistemas, e tal como ela deve ser (WEBSTER, 2013). Esse processo pode ser facilitado pela biomimética, um movimento que incentiva o aprendizado e a integração com a natureza ao utilizar as estratégias e os *designs* biológicos como inspiração para solucionar problemas humanos em uma ampla gama de aplicação (BENYUS, 1997; LURIE-LUKE, 2014; NEVES; FRANCKE, 2012; ZARI, 2012).

A biomimética foi um dos movimentos que serviram de base conceitual para o desenvolvimento da teoria da economia circular (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013a). Além disso, partindo do pressuposto que os componentes e organismos biológicos são complexos, eficazes, multifuncionais, biodegradáveis, adaptados ao entorno, e que desempenham funções positivas e regenerativas para o sistema em que se integram (BENYUS, 1997), imitar a natureza pode gerar diversas vantagens ecológicas e econômicas.

Essas vantagens incluem desde mudanças comportamentais (DARGENT, 2011), redução no uso de energia e materiais (NEVES; FRANCKE, 2012), até o surgimento de produtos inovadores e competitivos com o mercado (DETANICO; TEIXEIRA; SILVA, 2010; FERMANIAN BUSINESS & ECONOMIC INSTITUTE, 2010).

Com base nessas informações, a presente pergunta de pesquisa é: como a biomimética está relacionada com a economia circular? Sendo esta pergunta o passo inicial para compreender se a biomimética pode auxiliar na transição da economia circular.

1.2 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo geral é analisar as relações existentes entre a biomimética e a economia circular.

Para atender este objetivo mais amplo, foram determinados objetivos específicos referentes às seguintes entregas:

- I) Relacionar conceitualmente a biomimética e a economia circular;
- II) Correlacionar princípios biomiméticos com princípios da economia circular;
- III) Demonstrar como estas relações estão representadas em um caso real.

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Ao longo dos últimos anos, houve um aumento no número de publicações acerca tanto da biomimética (BONSER; VINCENT, 2007; HESSELBERG, 2007; LENAU; METZE; HESSELBERG, 2018), quanto da economia circular (GEISSDOERFER et al., 2017; KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017; LIEDER; RASHID, 2016; MERLI; PREZIOSI; ACAMPORA, 2018). Ainda assim, a presente pesquisa encontrou apenas 15 documentos não duplicados, nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, que trazem as palavras-chaves biomimética e economia circular em conjunto. Isso demonstra que, apesar da expansão no interesse sobre ambos os temas, essas áreas de pesquisa estão se desenvolvendo em paralelo até o momento.

A interconexão entre áreas de pesquisa, de forma geral, pode trazer multidisciplinariedade na superação de barreiras, o que é vantajoso uma vez que cada uma pode contribuir com conhecimentos e métodos específicos de seus respectivos campos (AUSTIN; PARK; GOBLE, 2008). Segundo Larrick, (1997), pesquisas feitas de forma fracionada e desconexas é uma tendência comum no campo científico, e isso contribui significativamente para o surgimento de falhas sistêmicas que atrapalham na sustentabilidade a longo prazo. Por isso, são necessárias abordagens colaborativas e transdisciplinares⁴ para solucionar de forma eficaz os desafios envolvendo o contexto da sustentabilidade (LIU et al., 2015).

⁴ Transdisciplinar: conceitos, terminologia, abordagens e métodos que transcendem uma disciplina específica e evoluem para criar um quadro conceitual compartilhado para abordar um problema comum. (AUSTIN; PARK; GOBLE, 2008; COLLIN, 2009).

De forma mais específica, alinhar diferentes áreas do conhecimento pode promover uma conexão em rede, entre contextos econômicos, sociais, ecológicos, comportamentais e tecnológicos, que é necessária para a implementação da economia circular (POMPONI; MONCASTER, 2017). Além de permitir que a análise, o *design* e a implementação das estratégias circulares possam ocorrer de forma efetiva (WALMSLEY et al., 2019; YANG, 2016). Pesquisas interdisciplinares⁵, como a presente, portanto, agregam valor para a construção teórica e prática da EC.

Investigar como ocorrem as relações entre a biomimética e a economia circular e se há uma relação positiva entre as duas áreas de pesquisa pode ser benéfica especialmente no Brasil, onde a busca por uma produção mais responsável está levando os sistemas produtivos à adotarem práticas que beneficiem cada vez mais as esferas ambientais, sociais e econômicas (CE100 BRASIL, 2017; CNI, 2018). Os ecossistemas brasileiros são um rico laboratório para ideias, analogias e soluções baseadas na natureza, uma vez que estes possuem uma das maiores biodiversidades do mundo, representada por um vasto número de biomas e serviços ecossistêmicos (MITTERMEIER; MITTERMEIER, 1997). Alguns desses biomas, contudo, são *hotspots*⁶ (MITTERMEIER et al., 2003; MYERS et al., 2000), o que reforça a importância de se mudar o paradigma sobre como a sociedade se relaciona com os sistemas ecológicos e de buscar melhores alternativas na produção de seus bens e alimentos.

⁵ Interdisciplinaridade é a integração de múltiplas disciplinas e conhecimentos em um todo coerente e coordenado (AUSTIN; PARK; GOBLE, 2008; COLLIN, 2009).

⁶ *Hotspots*: regiões de excepcional riqueza e endemismo de espécies que estão seriamente ameaçadas pela perda de habitats (MYERS et al., 2000). Endemismo, em termos ecológicos, é o termo utilizando quando uma espécie é nativa ou confinada à uma determinada área geográfica (PRINCETON UNIVERSITY, 2010).

2 MÉTODO DE PESQUISA

Para assegurar a qualidade da pesquisa, o método escolhido deve ser coerente com o questionamento da pesquisa e com o fenômeno que está sendo estudado (YIN, 2015). Para isso, é necessário compreender a classificação da pesquisa em relação aos seus objetivos (2.1) e os procedimentos técnicos escolhidos para seu desenvolvimento (2.2) (GIL, 2002).

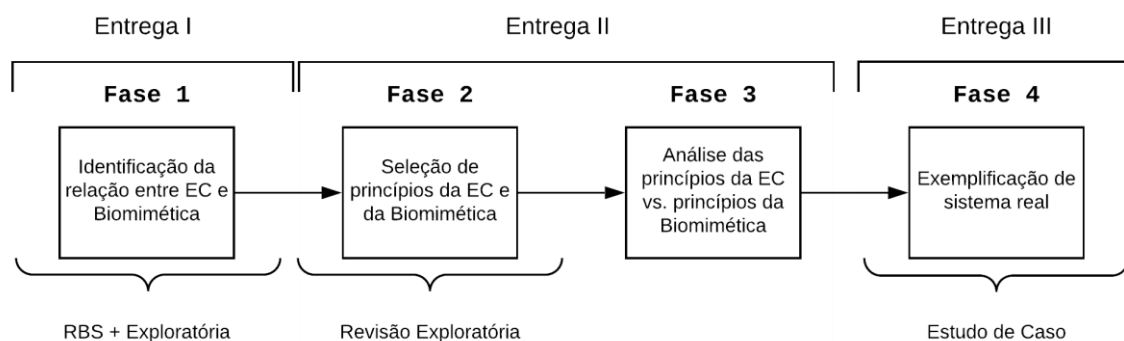
2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Classificar uma pesquisa científica significa compreender como a solução do problema proposto irá contribuir para o corpo de conhecimento e gerar valor para a sociedade (KARLSSON, 2010). Ao levantar informações que geram um conhecimento mais aprofundado sobre o fenômeno de estudo (relação biomimética e economia circular), a presente pesquisa pode ser classificada como exploratória (GERHARDT; SILVEIRA, 2009; GIL, 2002). Ela também é considerada aplicada, pois produz conhecimento que pode ser utilizado para solucionar problemas reais (KARLSSON, 2010). Ademais, a pesquisa é de natureza qualitativa, pois não envolve a coleta ou tratamento de dados numéricos para produzir informações (GERHARDT; SILVEIRA, 2009), mas análises interpretativas da literatura (FONTELLES et al., 2009).

2.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O procedimento qualitativo da presente pesquisa é dividido em 4 fases sequenciais e iterativas. A relação dessas fases com os objetivos desta dissertação está delineada na Figura 2, e as descrições das mesmas foram feitas na sequência.

Figura 2: Procedimento metodológico desta dissertação



Fonte: Autoria própria

2.2.1 FASE 1 – IDENTIFICAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE EC E BIOMIMÉTICA NA LITERATURA

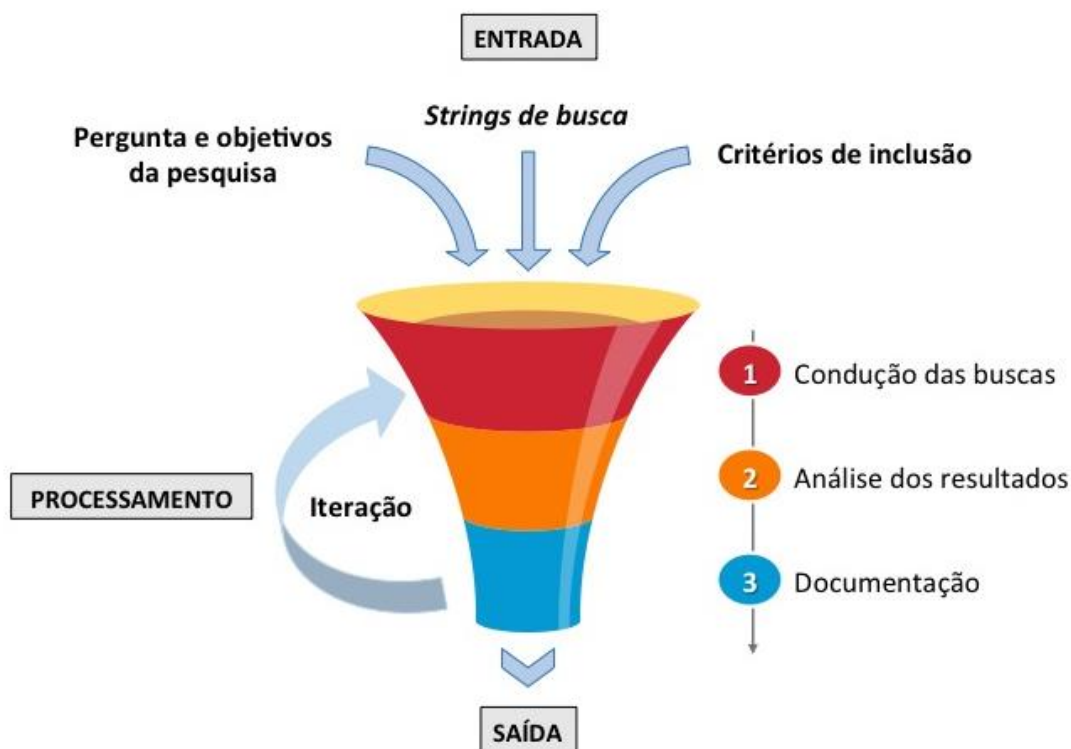
Uma revisão bibliográfica é o passo inicial para qualquer pesquisa (BIOLCHINI et al., 2005). Isso porque, ao mapear o conhecimento existente na área, facilita sua dispersão entre pesquisadores, consolida as evidências, orienta novos processos de investigações, além de evitar duplicações desnecessárias, tanto no esforço amostral quanto nos erros (BIOLCHINI et al., 2005; MOREIRA, 2008; RIDLEY, 2012). Nesta pesquisa, utilizou-se os métodos Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) e revisão exploratória.

2.2.1.1 Revisão Bibliográfica Sistemática

A RBS é uma forma de garantir rigor científico à aquisição de dados provenientes da literatura (KITCHENHAM, 2004). Por meio de uma sequência de etapas pré-definidas e iterativas, a RBS dimensiona o corpo de conhecimento relacionados à uma pergunta e objetivos específicos (BIOLCHINI et al., 2005; CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011; LEVY; ELLIS, 2006). Não sendo apenas uma reorganização dos dados publicados anteriores (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011), mas contribuindo com algo novo para o campo do conhecimento (LEVY; ELLIS, 2006).

Embora recebam nomes diferentes entre os autores (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011; LEVY; ELLIS, 2006), as fases da RBS se resumem em estabelecer as informações que guiaram a RBS, fazer as buscas em ciclos iterativos, e analisar e compilar os dados que irão compor os resultados finais. Essas fases estão ilustradas na Figura 3.

Figura 3: Fases iterativas de uma Revisão Bibliográfica Sistemática



Fonte: Adaptado de Levy e Ellis (2006) e Conforto, Amaral e Silva (2011).

A RBS teve por objetivo identificar as relações existentes entre a EC e a biomimética na literatura. Devido ao caráter abrangente deste objetivo, não houve limitação quanto ao tempo, sendo a última busca feita em junho de 2019. Para isso, utilizou-se a seguinte *string* de busca nas bases de dados ‘*Web of Science*’ e ‘*Scopus*’: *circular economy AND biomim**.

Inicialmente, foram excluídos todos os documentos repetidos, incompletos ou em idiomas que não a portuguesa ou inglesa (critério de exclusão 1). Depois, excluiu-se todos os documentos que apenas citavam os dois conceitos (critério de exclusão 2). O primeiro critério de exclusão foi aplicado na leitura do título, resumo e palavra-chave. O segundo, na leitura completa dos documentos para considerar no resultado final apenas os trabalhos que traziam um nível aprofundado de relação entre a biomimética e a EC, em nível de conceitos, princípios e/ou ferramentas. A filtragem desta revisão sistemática pode ser consultada no Apêndice A.

2.2.2.2 Revisão Exploratória

A revisão exploratória, também conhecida como tradicional ou narrativa (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011; FERENHOF; FERNANDES, 2016; GREEN; JOHNSON; ADAMS, 2006), foi realizada posteriormente para complementar as relações identificadas pela RBS. A revisão exploratória possibilita uma rápida aquisição e atualização de conhecimentos (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011). Sendo uma vantagem em estudos com perguntas amplas e/ou que necessitam de informações complementares à revisão sistemática (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011; FERENHOF; FERNANDES, 2016), como é o caso da presente pesquisa.

Nesta parte, utilizou-se como fonte, artigos e relatórios encontrados por meio de referência cruzadas e das ferramentas de busca online ‘Google Scholar’. Para garantir a similaridade com os resultados da RBS aplicou-se os mesmos critérios de exclusão, descritos anteriormente. As palavras chave buscadas foram: Economia Circular, Biomimetismo e Biomimética, em português e inglês.

2.2.2 FASE 2 – SELEÇÃO DE PRINCÍPIOS

Nesta segunda parte, realizou-se uma nova revisão bibliográfica exploratória para identificar princípios da EC e princípios da biomimética. A busca foi feita no ‘Google Scholar’ utilizando as seguintes palavras chaves: Economia Circular, Biomimética, e Princípios, em português e inglês. Para determinar os princípios da EC foram considerados os frequentemente citados pelos autores. Para determinar os princípios da biomimética foram considerados os seguintes pontos: (1) gerais e aplicados a quaisquer níveis de um sistema de negócios⁷ e (2) já citados no contexto da EC.

2.2.3 FASE 3 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PRINCÍPIOS

Como os resultados da fase 2, comparou-se os princípios da EC e os princípios da biomimética. O objetivo dessa fase foi analisar se os princípios biomiméticos selecionados

⁷ Sistema de negócios: abrange negócios, cadeia de valor e condições facilitadores (como políticas públicas e tecnologias). Os negócios, por sua vez, incluem modelos mentais e modelos de negócio com proposição de valor, design e ciclos reversos (CNI, 2018).

atingiam todos os princípios da EC. Assim, pode-se perceber quão próxima estão essas áreas de conhecimento com base em seus princípios, que são a fundação base de suas práticas.

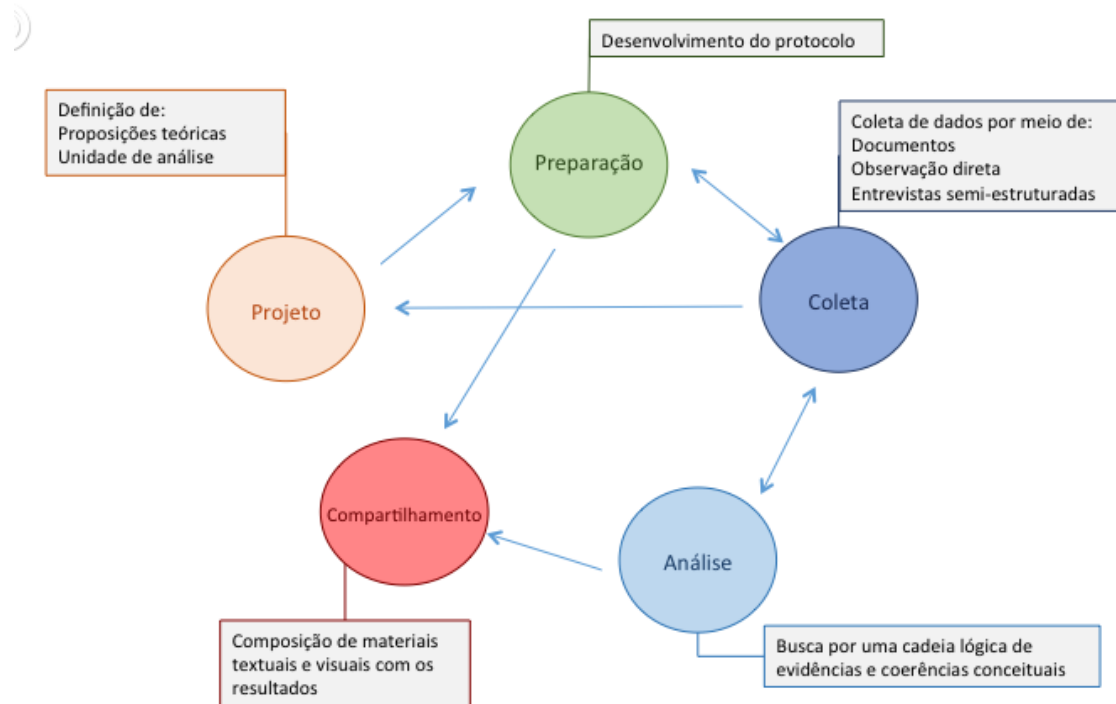
2.2.4 FASE 4 – ESTUDO DE CASO

A Fase 4 veio para trazer um caso real a esta pesquisa. O método Estudo de Caso é um procedimento relevante para questões de pesquisa que se iniciam em “como?” ou “por quê?” (YIN, 2015), como ocorre no contexto desta. Além de ser adequado para investigar um fenômeno contemporâneo e real, já que permite entender as condições contextuais englobadas pelo caso (YIN, 2015), gerando assim um entendimento sobre a complexidade do fenômeno como um todo (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002).

Na presente pesquisa, o estudo de caso veio com a finalidade principal de extensão e refinamento da teoria. Com isso, o estudo de caso pode auxiliar na melhor estruturação dos resultados encontrados, examinando-os mais profundamente e validando os dados (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). Para isso, contou com etapas iterativas de: projeto, preparação, coleta, análise e compartilhamento dos dados (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002; YIN, 2015).

A iteração se deu nas fases de preparação, coleta e análise, uma vez que definir as proposições teóricas, delinear o protocolo e realizar novas buscas é um processo que pode ser construído e modificado ao longo do desenvolvimento da pesquisa (YIN, 2015). Neste trabalho, a coleta e análise de documentos levou à modificações nas proposições teóricas e unidades de análise que, por sua vez, resultou em adaptações do protocolo até que alcançasse sua versão final (Apêndice B), levando à novas coletas e análise de dados. Neste protocolo estão descritas as questões utilizadas na entrevista semiestruturada, a meta do estudo de caso, os procedimentos para coleta dos dados, e o guia para o compartilhamento dos dados (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002; YIN, 2015). A Figura 4 traz a relação dessas etapas com suas entregas.

Figura 4: Etapas do estudo de caso desenvolvido no presente trabalho



Fonte: Adaptado de YIN (2015) e Voss *et al.* (2002).

Foi desenvolvido neste trabalho um estudo de caso do tipo único, analisado em nível holístico. Esse tipo de estudo de caso tem a vantagem de gerar análises com maior profundidade (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002), sendo valioso para confirmar, desafiar ou ampliar um conhecimento ou teoria de natureza também holística (YIN, 2015). Para garantir maior confiabilidade aos resultados desta dissertação, houve convergência de evidências entre fontes primárias (entrevista) e fontes secundárias (documentos) (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002; YIN, 2015).

Para selecionar o caso, buscou-se, na literatura, um sistema produtivo que estivesse de acordo com a prática da biomimética e com os princípios da economia circular. Como resultado, selecionou-se para a entrevista a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a unidade de análise foi o “sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)”. A escolha da EMBRAPA se deu pelo fato dela estar liderando, em parceria com outras empresas e instituições de pesquisa e ensino, o desenvolvimento de tecnologias e conhecimentos necessários para a implantação de sistemas de ILPF em todo o país (EMBRAPA, 2019).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ECONOMIA CIRCULAR

A necessidade de uma economia baseada na circularidade foi observada por diferentes autores ao longo dos anos (FROSCHE; GALLOPOULOS, 1989; PEARCE; TURNER, 1989), mas foi apenas no início do século 21 que o termo economia circular ganhou força dentro e fora da esfera acadêmica (GEISSDOERFER et al., 2017; LIEDER; RASHID, 2016). A economia circular, portanto, é um conceito contemporâneo, dinâmico e que ainda está em construção (CNI, 2018), resultante da interconexão de ideias provenientes de diversas áreas do conhecimento (KORHONEN et al., 2018). Entre elas, biomimética, economia azul, design regenerativo, capitalismo natural, economia de performance, *cradle-to-cradle* e ecologia industrial (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; SUN; MCKINSEY, 2015).

A complexidade envolvida neste conceito faz com sua redução à única definição não seja tão fácil (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2017; KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017). Diversas definições são encontradas na literatura, não havendo um consenso entre os autores (GEISENDORF; PIETRULLA, 2018; GEISSDOERFER et al., 2017; LIEDER; RASHID, 2016; MASI et al., 2018). Uma definição relevante ao contexto deste trabalho, porém, foi encontrada em Prieto-Sandoval *et al.*, (2018). Neste, a economia circular é apresentada em um caráter mais amplo e explicita uma correlação com sistemas ecológicos que é coerente com o objetivo deste trabalho, sendo definida como:

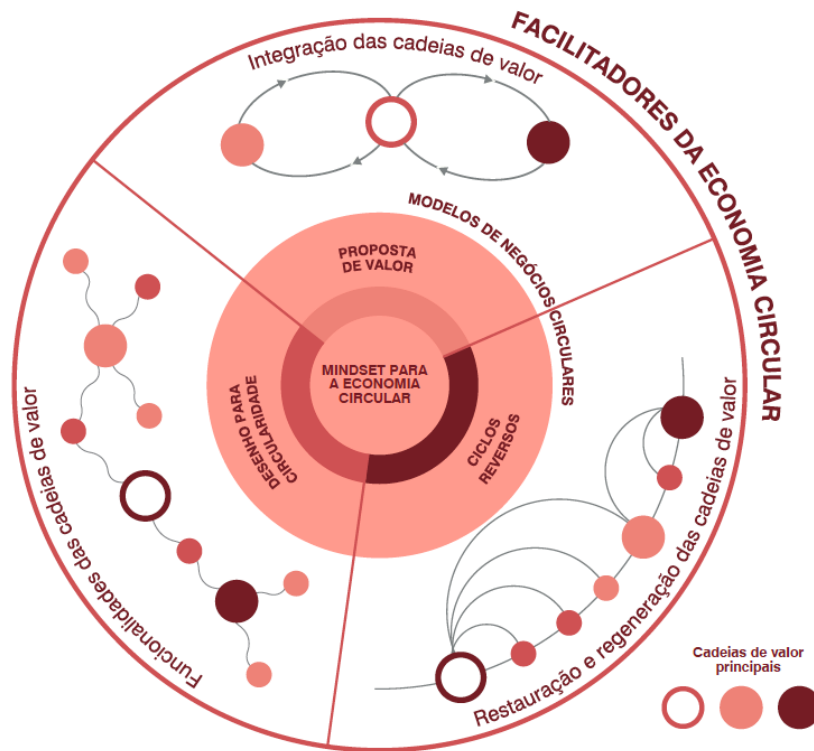
“Um sistema econômico que representa uma mudança de paradigma na maneira como a sociedade humana está inter-relacionada com a natureza e visa impedir o esgotamento de recursos, fechar ciclos de energia e materiais e facilitar o desenvolvimento sustentável através de sua implementação nos níveis micro (empresas e consumidores), meso (agentes econômicos integrados em simbiose) e macro (cidade, regiões e governos)” (PRIETO-SANDOVAL; JACA; ORMAZABAL, 2018 pag. 610).

De forma prática, a economia circular implementa atividades econômicas que geram, recuperam e mantêm valor de longo prazo e para todas as partes envolvidas no sistema, beneficiando negócios, sociedade e o meio ambiente (CNI, 2018). É um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo que busca produzir e reintroduzir produtos, componentes e materiais, mantendo-os em seu mais alto valor e função pelo maior tempo possível (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a). Para isso, os negócios devem preservar e aumentar o capital natural, otimizar o rendimento dos recursos utilizados, e minimizar os riscos

sistêmicos ao gerenciar fluxos de recursos renováveis e não-renováveis, em todas as escalas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; SUN; MCKINSEY, 2015).

Em um sistema de negócios circular, o *mindset* para a circularidade encabeça novos modelos de negócio e cadeias de valor que, por sua vez, são amparados por condições facilitadoras, tais como políticas públicas, infraestrutura, educação e tecnologias (CNI, 2018). Uma ilustração conceitual desse sistema de negócio circular pode ser observada na Figura 5.

Figura 5: Sistema de negócio circular



Fonte: CNI (2018).

Um *mindset* circular significa pensar de forma sistêmica, focar na efetividade, reconhecer o valor agregado nos recursos, e valorizar o lucro obtido por meio da inovação e geração diferenciada de valor (CNI, 2018). Isso influencia no desenho do modelo de negócio que, no contexto da economia circular, é definido como decisões e atividades que determinam como uma organização irá criar, entregar e capturar valor no curto, médio e longo prazo (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2017).

O número e os tipos existentes de modelo de negócio circular variam entre os autores (BAKKER et al., 2014; BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2017; CNI, 2018; TUKKER, 2015). Contudo, suas variações não são mutuamente excludentes e seus arranjos podem variar, desde que tenham o potencial de se encaixar em um sistema de negócio

circular, ou seja, que sejam sustentadas pelos princípios da economia circular (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2017). Alguns exemplos de modelos de negócio circular podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1: Modelos de negócio circular

Forma de criação e entrega de valor	Fluxo de receita principal na captura de valor	Modelos de negócio circular
Produtos duráveis	Vendas de produtos de alta qualidade com vida útil longa	Extensão da vida do produto (BAKKER et al., 2014; CNI, 2018)
Combinação de um produto duradouro com consumíveis de vida curta (muitas vezes descartáveis)	Vendas repetidas dos consumíveis de ciclo rápido	Híbrido (BAKKER et al., 2014)
Acesso ao produto ou à sua performance ao invés da sua propriedade	Pagamento pelo uso, pela função ou pelo resultado final	Modelo de acesso (BAKKER et al., 2014) Modelo de performance (BAKKER et al., 2014) Produto como serviço (CNI, 2018) Sistema produto-serviço (PSS) (TUKKER, 2015)
Terceiros explorando o valor residual do produto, componentes e materiais	Oferecimento de serviços de reparo, e revenda de produtos reparados, recondicionados e atualizados; Ou Venda de produtos, componentes e materiais para remanufatura e reciclagem	Exploração de <i>gap</i> (BAKKER et al., 2014) Recuperação de recursos (CNI, 2018)
Entrega de insumos puros	Venda de energia ou materiais renováveis, materiais reciclados ou materiais biológicos e técnicos não contaminados	Insumos circulares (CNI, 2018)

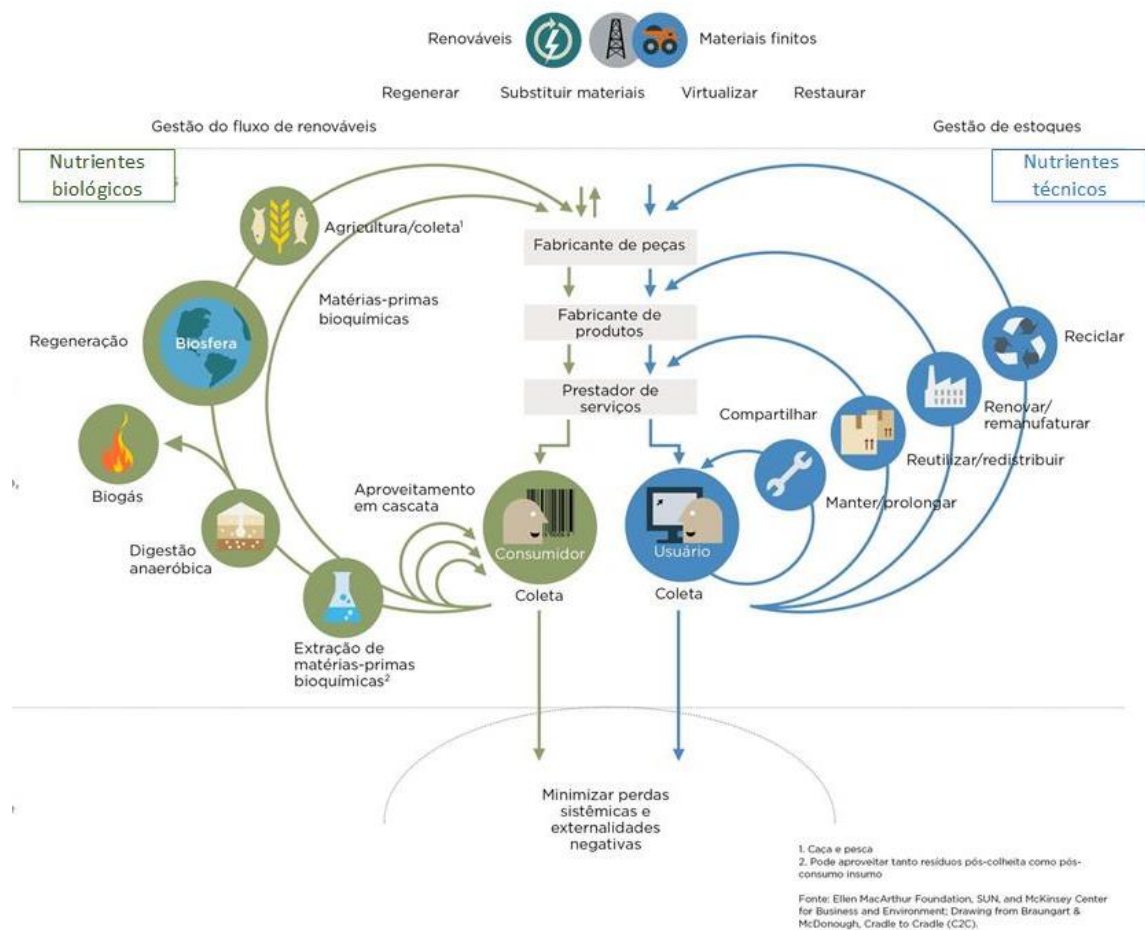
Fonte: Autoria própria

Para que esses modelos circulares tenham sucesso, é necessário que eles levem em consideração as estratégias operacionais envolvidos em suas estratégias de negócio (MENDOZA et al., 2017). Em um sistema de economia circular, os materiais circulam dentro de duas categorias: “nutrientes técnicos” (i.e. materiais sintéticos ou inorgânicos que devem permanecer no sistema sem perda da sua qualidade, podendo ser degradados, mas sem serem transformados em resíduos); e “nutrientes biológicos” (i.e. materiais orgânicos que podem retornar à biosfera, de forma segura, quando nenhuma carga biológica adicional pode ser

recuperada, tornando-se alimento para outras formas de vida) (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b, 2013a; MESTRE; COOPER, 2017).

Assim, as operações da cadeia de valor circular podem variar dependendo do nutriente em questão (Figura 6), como remanufatura e acondicionamento no caso de nutrientes técnicos, e o uso em cascata e compostagem no caso de nutrientes biológicos (CNI, 2018). Como resultado, o valor de cada ciclo, seja ele de curta ou longa duração, pode ser extraído ao máximo (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b).

Figura 6: Diagrama sistêmico do fluxo de nutrientes biológicos e técnicos da economia circular



Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation, (2017b)

Atingir a circularidade de forma efetiva, contudo, enfrenta desafios que dificultam a ruptura com os padrões tradicionais existentes. Entre eles, dificuldades técnicas, legais, de mercado e culturais, tais como comportamento e hábitos de consumos dos indivíduos, e cultura organizacional (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2017; GENG;

DOBERSTEIN, 2008; GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017; PRESTON, 2012; RITZÉN; SANDSTRÖM, 2017; RIZOS et al., 2016). No setor agroalimentar, por exemplo, maior foco e incentivo devem ser dados às práticas e tecnologias que visa recuperar e reciclar os nutrientes biológicos (BORRELLO; LOMBARDI; CEMBALO, 2016; JURGILEVICH et al., 2016). Além disso, há o desafio em perceber a sociedade humana e a natureza como partes de um único ecossistema, e não em uma dualidade, para que de fato hajam mudanças sistêmicas efetivas (YANG, 2016).

Isso demonstra que transitar para uma economia circular requer inovações na forma que a sociedade legisla, produz e consome (PRIETO-SANDOVAL; JACA; ORMAZABAL, 2018). Contudo, segundo Preston (2012), se as barreiras puderem ser superadas, as oportunidades da economia são enormes. Entre elas, é possível citar:

- Redução de custos com recursos, energia e disposição final dos resíduos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b, 2013a);
- Menor dependência de matéria-prima (GALLAUD; LAPERCHE, 2016);
- Mitigação das mudanças climáticas (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2017);
- Aproximação e fidelização dos clientes (CNI, 2018)
- Diferenciação da marca frente ao mercado (CE100 BRASIL, 2017);
- Aumento nos ganhos financeiros por meio das redes de cooperação (CNI, 2018), do oferecimento de novos serviços, e do uso de resíduos e biomassas subutilizados (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2017);
- Geração de novos empregos (CNI, 2018; STAHEL, 2013) e aumento do PIB nacional (WBCSD, 2017);
- Surgimento de tecnologias alinhadas com a efetividade do sistema (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b; WEBSTER, 2013).

Para alcançar esses benefícios é necessário gerar mudanças em toda a cadeia de valor, considerando todos os *stakeholders*⁸ (CNI, 2018; EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2017). Além de alinhar estratégias de modelos de negócio circular com *design* de produtos circulares (BOCKEN et al., 2016), avaliando os benefícios ambientais no contexto de fluxos de materiais e uso de recursos (BOCKEN et al., 2017). Esse processo pode ser facilitado pela biomimética, uma forma de gerar o *design* humanos a partir da perspectiva da natureza (BENYUS, 1997).

⁸ *Stakeholder* pode ser traduzido como partes interessadas (CNI, 2018).

3.2 BIOMIMÉTICA

Observar e aprender com a natureza não é algo novo (BALL, 2001; BHUSHAN, 2009; CAPRA, 2007; VINCENT et al., 2006), mas foi apenas nos anos 90 que o termo biomimética (*Biomimicry*) começou ser utilizado, popularizando-se em 1997 com o livro da Janine Benyus chamado *Biomimética: inovação inspirada na natureza* (JACOBS, 2014). Foi a partir disso que o termo adentrou o mundo dos negócios como uma forma de levar o sistema industrial rumo à sustentabilidade (GOLDSTEIN; JOHNSON, 2015).

Com o passar dos anos, porém, a relação da biomimética com a sustentabilidade foi sendo questionada. Enquanto alguns autores consideram a primeira como uma abordagem que resulta em inovações sustentáveis (BENYUS, 1997; BIOMIMICRY INSTITUTE, 2019a), inclusive adicionando-a ao grupo das inovações orientadas à sustentabilidade⁹ (MEAD, 2014). Outros, acreditam que a melhora da performance ambiental, social e econômica só é alcançada em um contexto holístico (REAP; BAUMEISTER; BRAS, 2005; VOLSTAD; BOKS, 2012). Isso é, quando sua prática busca resolver não apenas um problema específico e de forma isolada, mas considerando o sistema como um todo (VOLSTAD; BOKS, 2012), percebendo os sistemas humanos como parte da natureza (MATHEWS, 2011), gerando soluções que criem condições favoráveis à vida e que perdurem no longo prazo (REAP; BAUMEISTER; BRAS, 2005).

As divergências entre os especialistas também ocorrem quanto ao escopo da biomimética em relação às outras áreas do conhecimento. Dependendo do autor, seu escopo pode abranger diferentes níveis de sobreposição com a biônica, biomecânica, biotecnologia, bioengenharia, biofísica, entre outras disciplinas conhecidas por aplicarem os ensinamentos da natureza (FAYEMI et al., 2017; KULFAN, 2009; LENAU; METZE; HESSELBERG, 2018; LEPORA; VERSCHURE; PRESCOTT, 2013; VOLSTAD; BOKS, 2012; ZARI, 2012). Desse modo, é discutido entre eles se essas disciplinas são sinônimas, compartilham áreas ou são completamente diferentes da biomimética, e se sua diferenciação pode depender do objetivo de sua aplicação.

Para efeito deste trabalho, a biomimética foi definida aqui como uma abordagem de *design* que analisa sistemas biológicos e transfere seus padrões para os sistemas técnicos (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015), devendo faze-

⁹ Inovações orientadas para a sustentabilidade: “fazer mudanças intencionais na filosofia e valores de uma organização, bem em seus produtos, processos e práticas, para atender o específico propósito de criar e perceber valores sociais e ambientais em adição aos retornos econômicos” (ADAMS et al., 2015 p.181).

lo dentro de uma visão sistêmica e holística (VOLSTAD; BOKS, 2012). Nela, os padrões ecológicos são utilizados para criar soluções (natureza como modelo), medir as ações humanas (natureza como medida), e modificar a relação da sociedade com a natureza (natureza como mentora), podendo ser aplicada em todos os setores socioeconômicos (BENYUS, 1997). Assim, ao auxiliar nas mudanças sociotécnicas, ou seja, nas transformações tecnológicas, econômicas, e sociais, a prática da biomimética deve englobar os aspectos éticos ambientais que estão envolvidos nos desafios humanos (DICKS, 2017) e buscar cooperações interdisciplinares (BHUSHAN, 2009; ROWLAND, 2016), independente dos seus limites conceituais.

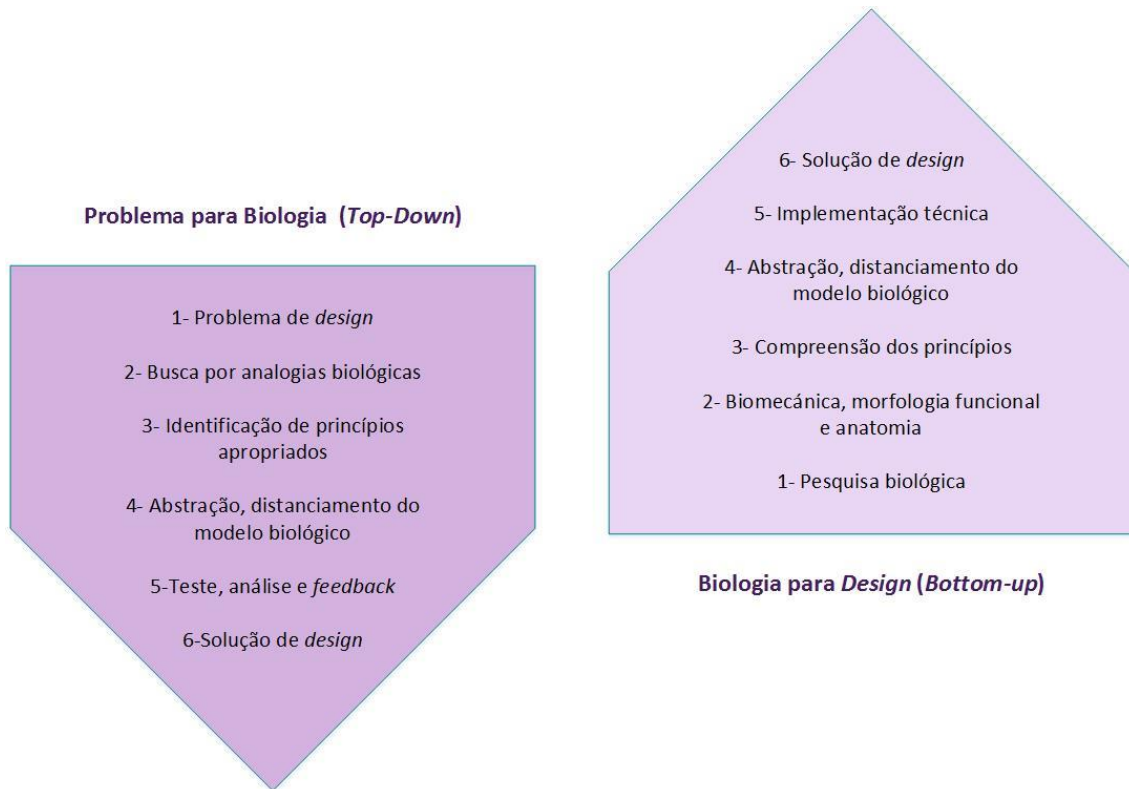
Neste contexto, existem três elementos essenciais, chamados de *ethos*, reconexão e emulação, que devem estar conciliados com a prática da biomimética (BAUMEISTER, 2013):

1. *Ethos* é a ética, a intenção, e a filosofia por trás da prática da biomimética. Vem da responsabilidade de impactar positivamente a biosfera, uma vez que a sobrevivência dos seres humanos depende da sobrevivência das outras entidades biológicas. Isso cria oportunidade de escolha sobre onde, quando e como praticar a biomimética. Desse modo, a natureza passa a ser fonte e objeto da ética humana, garantindo mudanças tecnológicas, econômicas e sociais que realmente tragam benefícios para o meio ambiente (DICKS, 2017).
2. *Reconexão* refere-se à necessidade dos seres humanos em se reconhecerem como parte da natureza. É a oportunidade de redescobrir e reconstruir uma relação que vai além da extração e exploração dos recursos naturais, por meio de práticas e modelos mentais que reforcem o respeito pela natureza, uma vez que esta é fonte de inspiração e conhecimento para as inovações humanas.
3. *Emulação* trata-se da incorporação, propriamente dita, dos princípios, padrões, estratégias e funções encontradas na natureza ao processo de *design*. É utilizar dessas ferramentas baseadas na ecologia para resolver problemas humanos e, intencionalmente, ajustar os sistemas humanos para a sustentabilidade de longo-prazo em harmonia com os outros sistemas terrestres.

O processo de emulação pode seguir dois caminhos diferentes: do problema para a biologia (processo *top-down*), onde um desafio específico leva à uma busca sobre como diferentes entidades biológicas solucionam tal problema (e.g. estratégias biológicas para armazenar líquidos), onde uma ou mais soluções podem surgir ao final do processo; ou da biologia para o *design* (processo *bottom-up*), onde uma estratégia biológica específica (e.g.

auto-limpeza em folhas de lótus) pode resultar em um ou mais *designs* aplicáveis à um ou mais desafios (BHUSHAN, 2009; EL-MAHDY, 2017) (Figura 7).

Figura 7: Abordagens bottom-up e top-down da biomimética

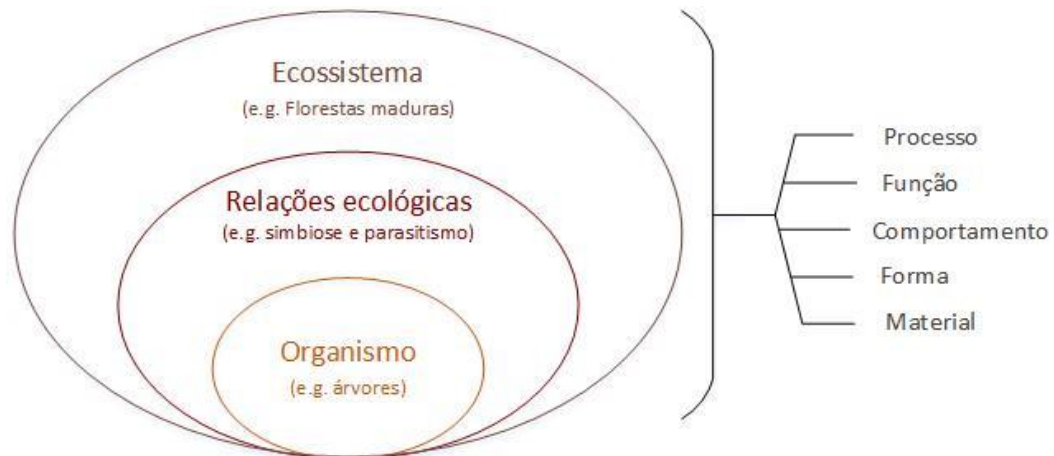


Fonte: Traduzido de El-Mahdy (2017).

A busca por analogias biológicas, por sua vez, pode ocorrer no nível de organismos à ecossistemas, e considerar diversas características (EL-ZEINY, 2012; ZARI, 2007), como ilustrado na Figura 8. Ao olhar para uma árvore, por exemplo, é possível mimetizar¹⁰ a disposição estrutural de suas nervuras foliares para criar um sistema de distribuição em rede; ou a sua função fotossintética, como base de componentes geradores de energia.

¹⁰ Mimetizar = imitar ou se inspirar (BENYUS, 1997).

Figura 8: Níveis para analogia biológica

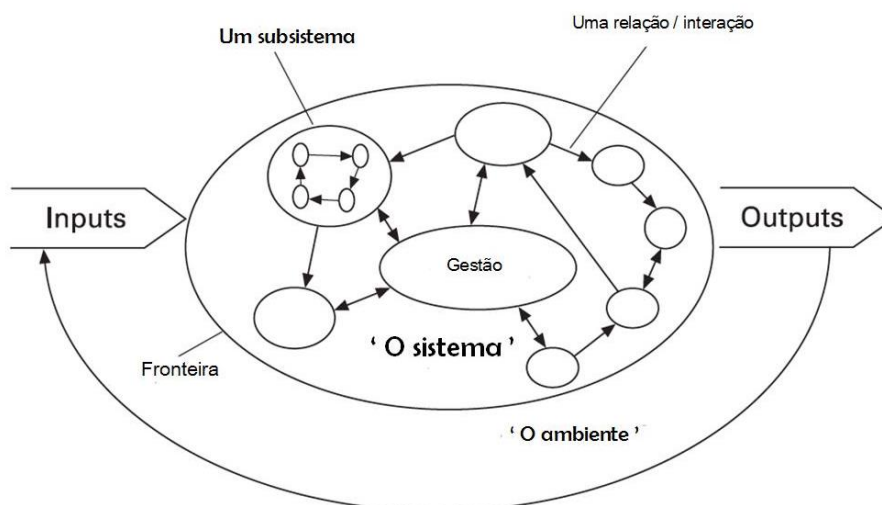


Fonte: Adaptado de El-Zeiny (2012) e Zari (2007).

Contudo, é importante que essas analogias ocorram frente à uma visão sistêmica, uma vez que todos esses níveis são compostos por relações complexas entre sistemas e subsistemas (ZARI, 2007), com estruturas hierárquicas que integram múltiplas funções para resultar em estratégias físicas e químicas (BENSAUDE-VINCENT et al., 2002), de forma auto organizada e adaptativa (CARLISLE; MCMILLAN, 2017).

A teoria de sistemas complexos, em que o todo emerge da interação em rede de suas partes, explica bem como funcionam os sistemas biológicos. Estes, são sistemas abertos, uma vez que há trocas com o ambiente, onde os insumos de materiais, energia e informações são utilizados para a sobrevivência, e o restante é transformado em saídas que ficam disponível para novos *inputs* (JACKSON, 2003). Sua existência, portanto, está relacionada ao seu sistema interno e ao seu entorno (Figura 9).

Figura 9: Representação geral de um sistema biológico



Fonte: Traduzido de Jackson (2013). Um sistema biológico qualquer, separado de seu ambiente por um limite distinto e disposto em uma hierarquia de subsistemas.

A presença de certos genes, selecionados naturalmente, podem levar a adaptações fisiológicas, comportamentais ou anatômicas, é o que garante uma reação positiva ou negativa desses sistemas frente às mudanças do ambiente. Essas respostas, por sua vez, passam por novas seleções naturais, que reafirma ou eliminam esses mecanismos frente à evolução biológica (MORRIS et al., 2015). Assim, a colonização e extinção de populações, e a decomposição, crescimento e a renovação de estruturas, por exemplo, entre outras dinâmicas, ocorrem por meio de relações positivas e negativas intercorrendo entre organismos, de micro à macro escala e de forma orquestrada, levando à um estado de equilíbrio dinâmico (BENYUS, 1997; MORRIS et al., 2015).

A complexidade desses sistemas naturais faz com que a geração de suas analogias também seja um processo complexo. Por isso, os princípios biomiméticos variam muito entre autores e setores de aplicação, ganhando inclusive nomenclaturas diferentes. Benyus (1997), por exemplo, define 9 leis da natureza, e Baumeister (2013) descreve 6 “princípios da vida”, divididos em 20 subprincípios; O Biomimicry Institute (2019b) estabelecem 10 “padrões unificados da natureza”; Mathews (2011), por sua vez, discute dois princípios filosóficos que são subjacentes à organização de todos os sistemas vivos; Já Zari (2015) traz 22 processos ecossistêmicos para serem aplicados no setor da construção, enquanto Reap (2005) apresenta 7 “características da vida” que estão relacionadas com a engenharia.

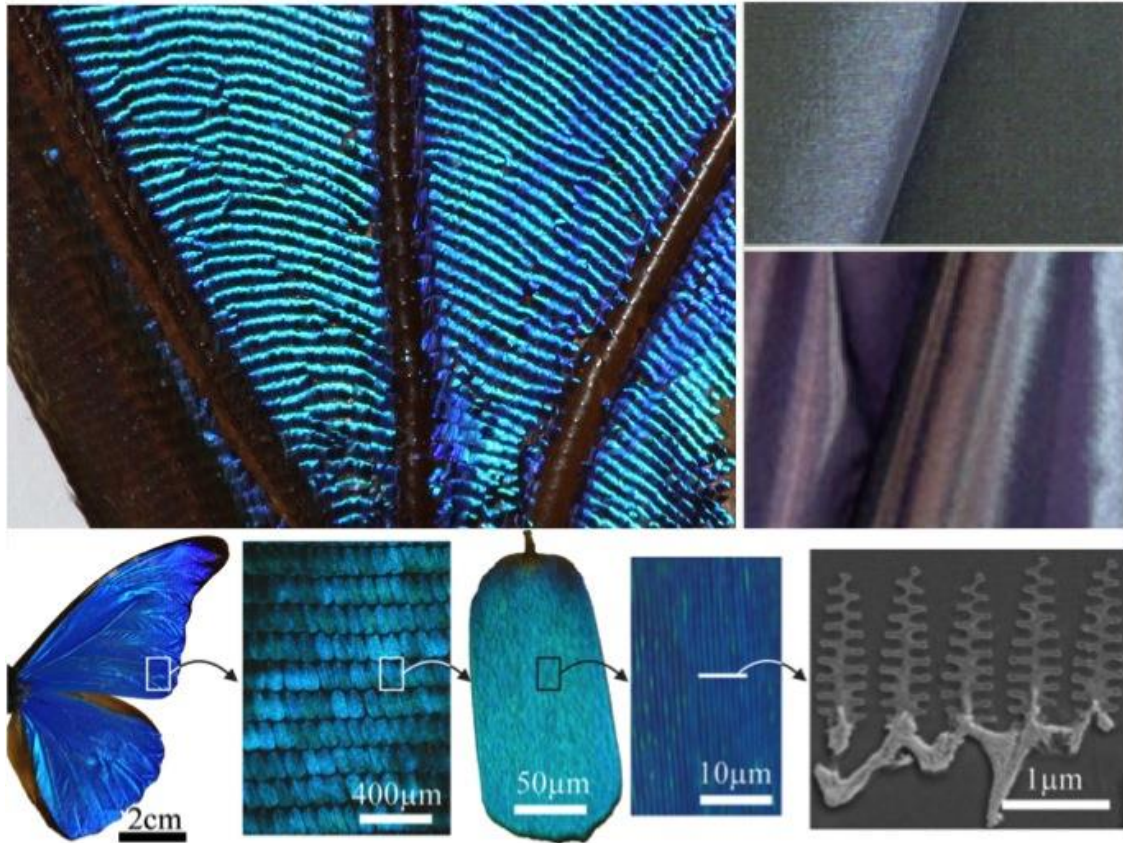
O mesmo ocorre no tocante às suas práticas, uma vez que existem diversas ferramentas e modelos de *design* que facilitam o processo da biomimética (BADARNAH;

KADRI, 2015; FAYEMI et al., 2017; LENAU; METZE; HESSELBERG, 2018). Wanieck *et al.* (2017), por exemplo, fez uma revisão que agrupou mais 40 ferramentas diferentes. Entre eles, o Bioscrabble, um *software* que ajuda extrair informações biológicas de fontes de textos, através de um escaneamento por termos técnicos, ajudando engenheiros na identificação da analogia biológica correta para um dado problema técnico (KAISER; FARZANEH; LINDEMANN, 2013).

Outra ferramenta é a BioTRIZ, uma matriz de resolução de conflitos, que adaptou a Teoria da Resolução de Problemas Inventivos (TRIZ) de transferência de soluções entre áreas da engenharia (VINCENT et al., 2006), para basear-se nas soluções biológicas. Assim, a BioTRIZ pode ajudar, por exemplo, na construção de algo que ganhe em tamanho ao mesmo tempo que fica mais leve, com base nas estratégias biológicas (LENAU; METZE; HESSELBERG, 2018). Essa ferramenta levou ao desenvolvimento do BioOntology que aproxima a matriz de contradição à um banco de dados permitindo que a dinâmica e complexidade dos sistemas biológicos sejam melhor capturadas no processo (LENAU; METZE; HESSELBERG, 2018; VINCENT, 2016).

Embora a transferência de soluções biológicas para sistemas humanos seja um tema complexo, extenso, e muitas vezes controverso entre autores, como apresentando nesta secção, a prática da biomimética e a inserção de seus princípios pode trazer muitos benefícios. Como estabelecido na introdução deste trabalho, a prática da biomimética pode ser fonte de inovação, agregando valor econômico, social e ambiental à produtos e novos negócios. Entre os exemplos biomiméticos em aplicação comercial, estão os tecidos coloridos de forma estrutural (i.e. não usam pinturas ou pigmentos para a coloração, apenas nanoestruturais que difratam ou interferem ondas de luz para refletir uma cor específica), baseada em borboletas (EADIE; GHOSH, 2011; KINOSHITA; YOSHIOKA, 2005; SAITO, 2011), como mostra a Figura 10.

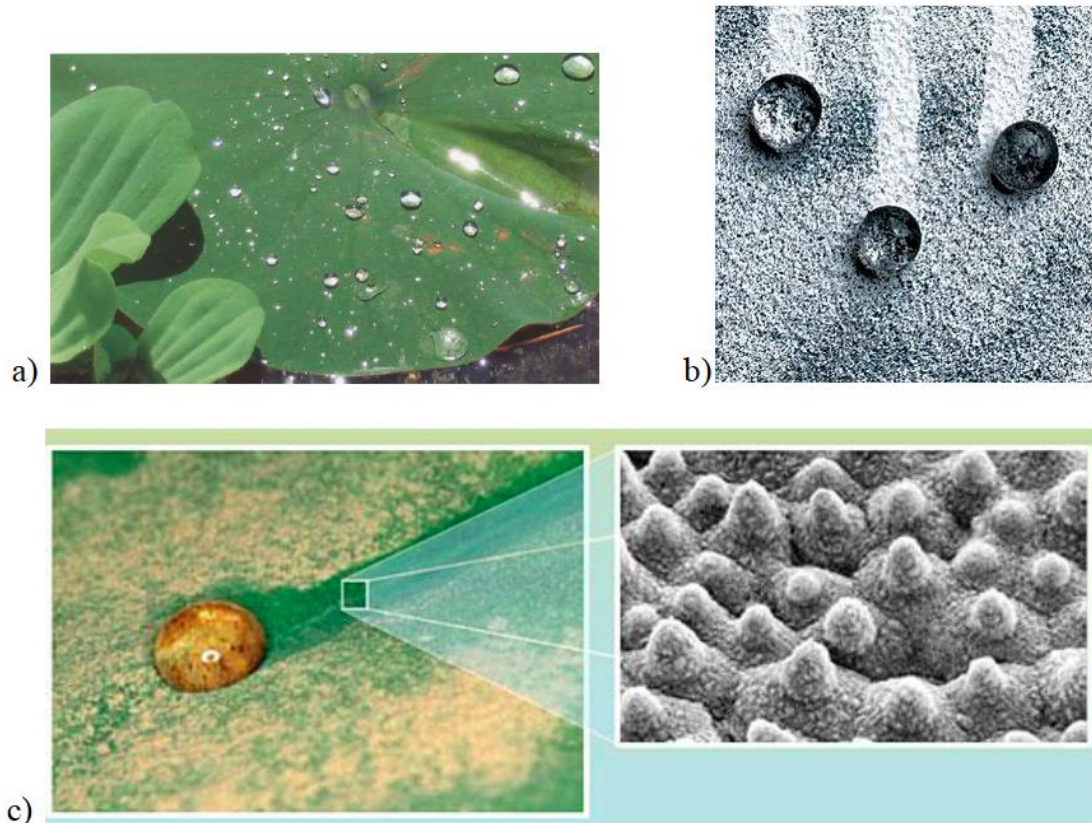
Figura 10: Estruturação da asa de borboletas *Morpho sp.* e sua analogia biomimética no setor têxtil



Fonte: ASKNATURE, (2017). Figuras superiores direta mostram duas aplicações da coloração estrutural, baseada nas borboletas *Morpho sp.*, nas fibras comerciais “Morphotex” (EADIE;GHOSHI, 2011).

Outro exemplo são as propriedades hidrofóbicas e auto-limpantes presentes na superfície foliar da planta lótus (*Nelumbo nucifera*), que estão sendo transferidas à tintas, vidro, cerâmicas, têxteis, entre outros (BHUSHAN, 2009; EADIE; GHOSH, 2011; IVANIĆ; TADIĆ; OMAZIĆ, 2015; ZHANG et al., 2016). A Figura 11 mostra uma imitação dessa estrutura biológica aplicada em uma tinta comercial para superfícies externas.

Figura 11: Superfície de uma folha de lótus e sua analogia biomimética no setor de tintas



Fonte: Ivanić; Tadić; Omazić, (2015). a) Gotas de água na superfície de uma folha de lótus, b) Superfície pintada com Lotusan® - tinta para áreas externas que minimiza a adesão de partículas de sujeira e o crescimento de microorganismos, garantindo propriedades de autolimpeza na chuva (STO, 2019; STO BRASIL, 2017), c) Superfície de uma folha de lótus sob microscópio eletrônico.

Um terceiro exemplo é o cultivador de varanda biomimético, baseado na morfologia do lagarto de chifres do Texas (Figura 12). Esse cultivador possui três partes funcionais (uma para irrigação, uma para cultivo e uma para compostagem), facilitando a produção local de frutas e vegetais orgânicos ao mesmo tempo que reduz o desperdício de alimentos (GEJDOŠ et al., 2018)

Figura 12: Visão 3D do cultivador de varanda biomimético



Fonte: Gejdoš *et al.* (2018). A cúpula superior é a parte para irrigação, o meio é para o cultivo e a base é para compostagem.

A biomimética pode ajudar também na construção de infraestruturas bem-adaptados as condições locais e ao ecossistema do entorno (GAMAGE, 2014); na otimização da gestão e de estratégias organizacionais, ao imitar os sistemas de comunicação, as relações sociais, e os *feedbacks* ecológicos (CELEP; TUNC; DÜREN, 2017; DARGENT, 2011). Além disso, a logística pode ser inspirar na natureza para uma organização dinâmica, funcional e estrutural (HELBING *et al.*, 2009).

Na agricultura, por exemplo, pode levar à sistemas produtivos mais resilientes, saudáveis e ecológicos, que percebem o solo como sistemas vivos (ADAMS *et al.*, 2015; BENYUS, 1997; DICKS, 2017; GEJDOŠ *et al.*, 2018; STOJANOVIC, 2017); à incorporação de animais e vegetais em florestas multicamadas; à implementação de culturas diversificadas, com espécies adaptadas ao bioma local; e à sistemas de gestão de baixo impacto (e.g. controle biológico de praga, baixa interferência externa nos fluxos biogeoquímico), onde os sistemas passar a ser um sumidouro de carbono e refúgio de biodiversidade, ao invés de sistemas degenerativos (STOJANOVIC, 2017).

3.3 SISTEMAS REGENERATIVOS, AGROINDUSTRIAIS E ILPF

Regenerar significa “ ter a capacidade inerente de trazer à existência mais uma vez” (RHODES, 2017 p.25). Para que um sistema seja regenerativo, ele deve fazer que o desenvolvimento humano crie uma saúde ótima tanto para comunidades humanas (física, psicologicamente, socialmente, culturalmente e economicamente), como para outros

organismos e sistemas vivos (JENKIN; ZARI, 2009). Assim, ter um desenvolvimento regenerativo significa:

“Um sistema de tecnologias e estratégias que gera a compreensão do sistema como um todo, e que desenvolva as capacidades de um pensamento sistêmico estratégico e o engajamento/compromisso das partes interessadas que são necessárias para garantir que os processos de *design* regenerativo alcancem o máximo de alavancagem e apoio sistêmico” (MANG; REED, 2012 p.2).

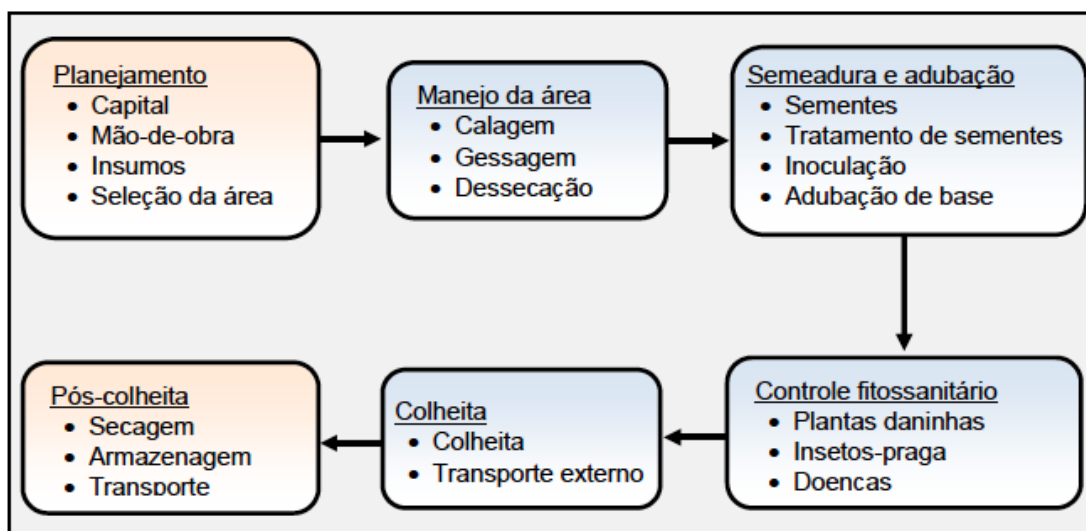
É possível e desejável que se busque o desenvolvimento regenerativo em todos os setores econômicos, mas principalmente no setor agroindustrial, em que a agricultura, silvicultura e outras formas de uso da terra são responsáveis por quase 25% de toda a emissão de gases do efeito estufa provenientes dos setores econômicos mundiais (IPCC, 2019). Esse setor tem um impacto direto na mudança da cobertura do solo, biodiversidade, ciclos biogeoquímicos, qualidade do solo e corpos d'água, e resiliência ecossistêmica (SMITH et al., 2014). Além de, tradicionalmente, apresentar uma cadeia com perdas significativas de biomassa em todas as suas etapas de produção, armazenamento, transporte, processamento e consumo (ALEXANDER et al., 2017). Por isso significa um potencial para o desenvolvimento de negócios agroindustriais regenerativos, principalmente no Brasil (CE100 BRASIL, 2017).

Agronegócio pode ser definido como a “a soma total de todas as operações envolvidas na fabricação e distribuição de suprimentos agrícolas; operações de produção na fazenda; e o armazenamento, processamento e distribuição de produtos agrícolas e itens feitos a partir deles” (DAVIS; GOLDBERG *apud* ZYLBERSZTAJN, 2017 p.115). Portanto, uma cadeia de suprimento agroindustrial tradicional vai desde o fornecimento de insumos agrícolas para a produção da matéria-prima até o alcance do produto ao consumidor final (CHANDRASEKARAN; RAGHURAM; RAGHURAM, 2014; TOLEDO; BATALHA; AMARAL, 2000). Quando inserida no contexto da economia circular, contudo, essa cadeia de suprimento passa a se tornar uma rede, onde busca-se reduzir e aproveitar melhor os resíduos por meio de processos que sejam economicamente viáveis e que aumentem seu valor agregado (TOOP et al., 2017), incluindo-se aqui resíduos orgânicos e inorgânicos.

No segmento agropecuário, considerado aqui como a parte do setor econômico primário que inclui agricultura, silvicultura e pecuária (BRANDÃO et al., 2012), seus sistemas também podem ser vistos sob perspectiva da teoria de sistemas. Para compreender melhor seus limites, será utilizado a classificação proposta por Hirakuri *et al.* (2012):

- a) Sistema agrícola: um supra sistema caracterizado pela organização regional de diversos sistemas de produção vegetal e/ou animal. Reflete os modelos e arranjos mais predominantes de uma região;
- b) Sistema produtivo vegetal/animal: um conjunto de unidades produtivas (sistemas de cultivo/criação), que são definidos a partir dos fatores de produção (terra, capital e mão-de-obra), e interligados por um processo de gestão;
- c) Sistema de cultivo/criação: são práticas comuns de manejo associadas a uma determinada espécie, visando sua produção a partir da combinação lógica e ordenada de um conjunto de atividades e operações. Um exemplo de sistema de cultivo, e suas práticas de manejo, pode ser observado na Figura 13.

Figura 13: Fluxograma resumido de etapas de um sistema de cultivo de soja



Fonte: Hirakuri *et al.* (2012). Etapas de um sistema de cultivo de soja nos blocos em azul, com atividades complementares representadas nos blocos em laranja.

Entre os tipos de sistemas produtivos, estão os sistemas de monocultura/monoprodução (quando a produção vegetal ou animal se dá de forma isolada no período de um ano agrícola); os sistema em sucessão (quando ocorre repetição sazonal e sequencial, por vários anos, de duas espécies vegetais no mesmo espaço produtivo); os sistemas em rotação (quando há alternância temporal e sazonal, em ciclos ordenados, de diferentes espécies vegetais em um espaço produtivo); os sistema em consórcio/policultura (quando duas ou mais culturas ocupam a mesma área agrícola em um mesmo período de tempo); e os sistemas em integração (que ocorre quando sistemas de cultivo/criação com

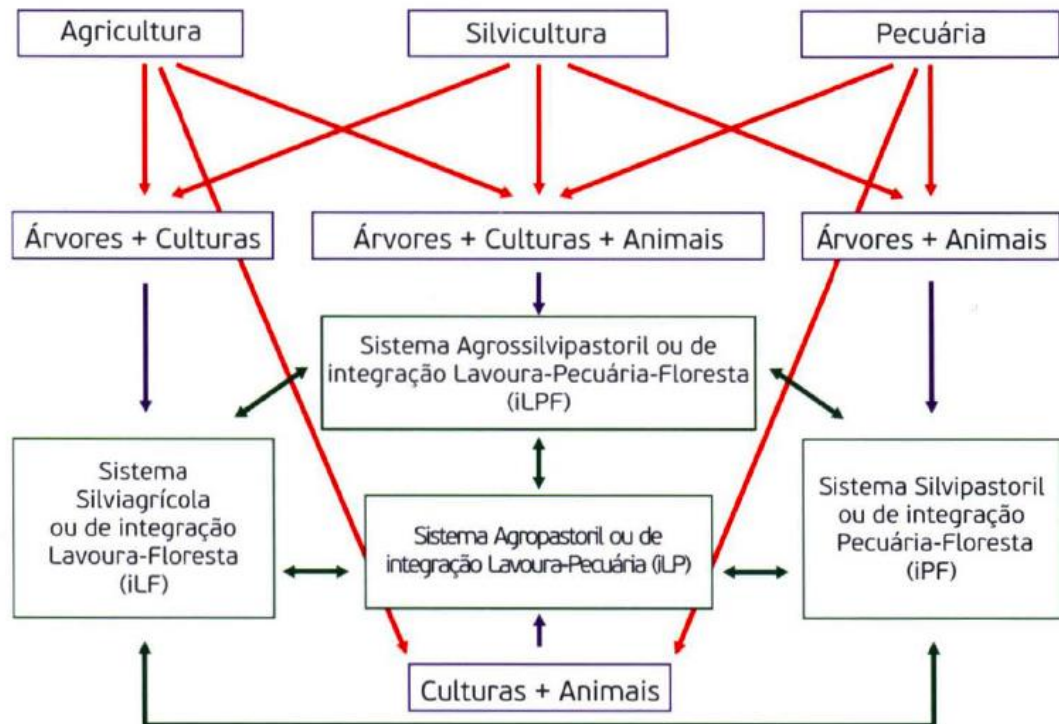
diferentes finalidades são integrados em uma mesma unidade produtiva) (HIRAKURI et al., 2012).

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) consiste em uma estratégia de sistemas produtivos em integração, em que os sistemas de cultivos/criação, com as finalidades de agricultura, pecuária e/ou floresta, são integrados em uma mesma área. Nesta, o cultivo é consorciado, sequencial ou rotacionado, e as atividades de produção buscam os efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema (BALBINO et al., 2011).

Existem 4 diferentes modalidades em que a estratégia ILPF pode ser implementada, segundo Balbino *et al.* (2011): (1) Integração Lavoura-Floresta (ILF ou silviagrícola); (2) Integração Pecuária-Floresta (IPF ou silvipastoril); (3) Integração Lavoura-Pecuária (ILP ou agropastoril); e (4) Lavoura-Pecuária-Floresta (LPF ou agrosilvipastoril). A adoção dessas estratégias pode ocorrer de forma única ou em fases, de modo que seus arranjos variem ao longo do tempo dependendo dos aspectos socioeconômicos e ambientais das unidades de produção (BEHLING et al., 2013).

Essas modalidades se assemelham à classificação dos sistemas agrofloretais (BALBINO et al., 2012). Contudo, o sistema ILPF abrange a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), que não é englobado pelo conceito de sistemas agrofloretais, sendo este o seu diferencial (CORDEIRO et al., 2015). Na Figura 14, estão as associações entre os componentes dos sistemas de produção que formam as quatro modalidades dos sistemas ILPF.

Figura 14: As quatro modalidades do sistema ILPF e sua relação com os componentes do sistema produtivo

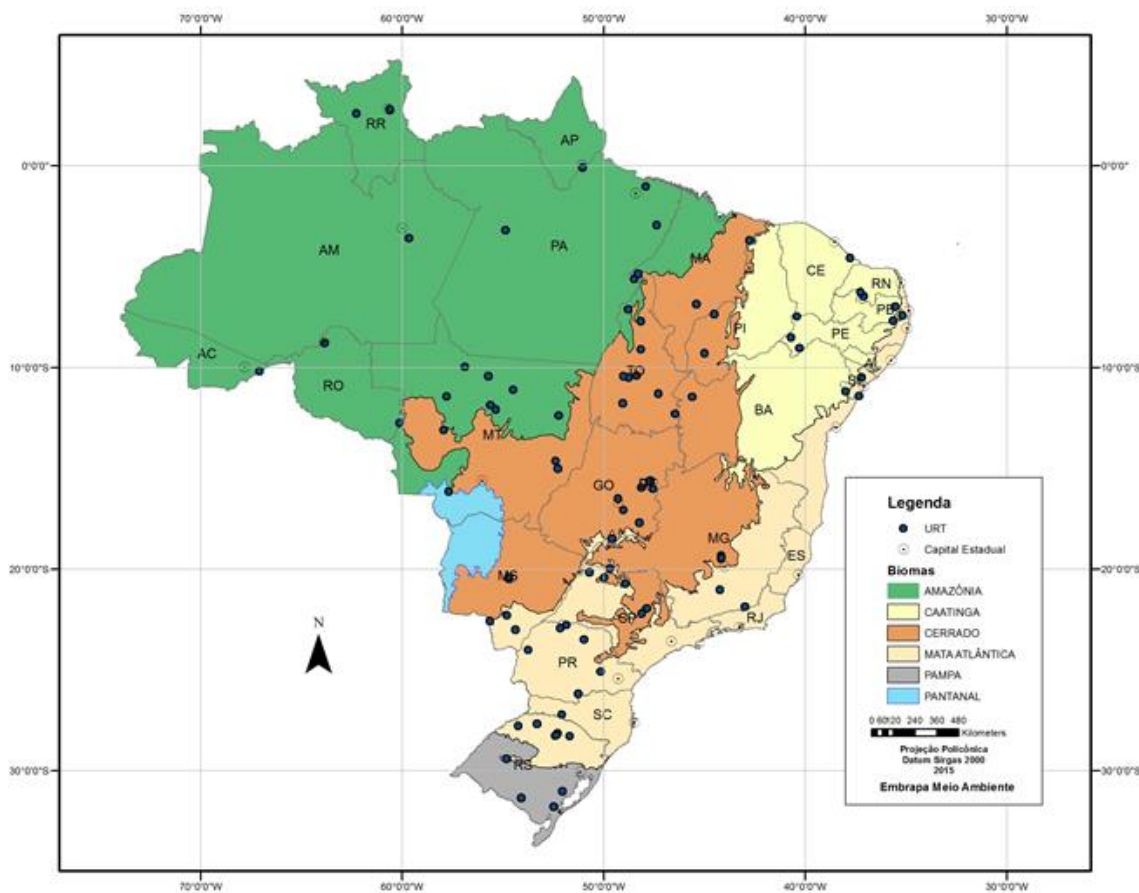


Fonte: Behling *et al.* (2013). As setas vermelhas são os sistemas de produção presente em cada integração (caixas azuis) que, por sua vez, caracterizam as 4 modalidades de ILPF (caixas verdes), sendo sistemas dinâmicos que adota diferentes estratégias dependendo da fase de produção e implementação (setas verdes).

Com o objetivo de acelerar a adoção da ILPF, existe uma parceria público-privada, chamada Rede ILPF, que conta com 107 Unidades de Referência Tecnológica distribuídas por todos os biomas brasileiros (Figura 15), envolvendo 22 unidades de pesquisa da Embrapa¹¹.

¹¹ <https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf/rede-ilpf>

Figura 15: Distribuição das Unidades de Referência Tecnológica de ILPF no Brasil



Fonte: Embrapa (2019c).

Em 2010, as áreas de ILPF no Brasil eram de aproximadamente 1,5 milhões de hectares, representando 2,29% do potencial de áreas aptas à estratégia de ILPF, em suas diferentes modalidades (BALBINO et al., 2011; FRANCA; SILVA, 2017). No estado de São Paulo, esse percentual é ainda menor, atingindo apenas 1,13% dos 10,5 milhões de hectares aptos à estratégia de ILPF, sem que haja a incorporação de novas áreas. Se todas essas áreas potenciais forem atingidas, São Paulo passaria de 7,7% a 15,6% do percentual de áreas de ILPF no Brasil (Tabela 1). Sendo um indicativo sobre quanto o uso da terra a nível São Paulo e Brasil têm potencial para atingir práticas mais sustentáveis na produção de suas *commodities* (FRANCA; SILVA, 2017).

Tabela 1: Áreas de ILPF em 2010 e áreas potenciais à nível São Paulo e Brasil

Área geográfica	Cultivos agrícolas	Pastagens cultivadas	Agropecuária ¹	Área total	Área atual ILPF ² (2010)	Área potencial ILPF
Estado de São Paulo	9.740.583	5.737.187	1.986.200	17.463.970	120.000	10.563.966 (15,6%/BR)
Brasil	49.410.798	114.848.439	60.644.370	224.903.607	1.557.785	67.850.161

¹Área agropecuária (polígonos onde não foi possível distinguir se eram culturas ou pastagens nas imagens de satélite).

²Área atual de ILPF a ser validada (MMA, 2010).

Fonte: Adaptado de Franca; Silva (2017)

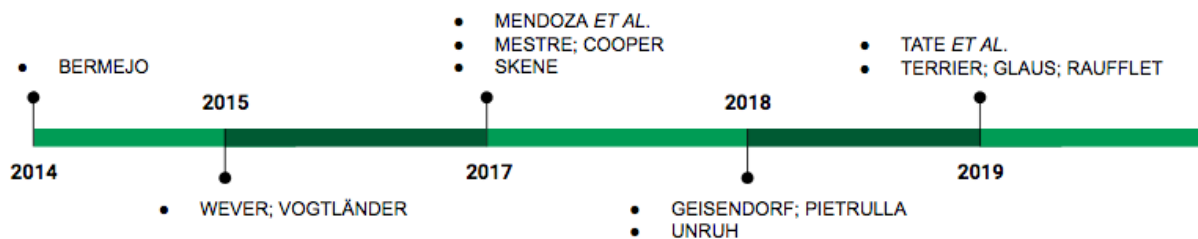
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESCOPO CONCEITUAL BIOMIMÉTICA E ECONOMIA CIRCULAR

Dos 22 documentos encontrados na revisão bibliográfica sistemática (RBS), sendo 8 deles da base de dados *Web of Science* e 14 da *Scopus*, 7 trabalhos foram excluídos por estarem duplicados ou em outra língua. Dos 15 documentos restantes, apenas 7 traziam uma relação detalhada entre a biomimética e a economia circular (BERMEJO, 2014; GEISENDORF; PIETRULLA, 2018; MENDOZA et al., 2017; SKENE, 2017; TATE et al., 2019; UNRUH, 2018; WEVER; VOGTLÄNDER, 2015).

Na revisão exploratória, os resultados não foram muito diferentes. Apenas 2 trabalhos trazem uma associação direta e aprofundada entre os dois conceitos (MESTRE; COOPER, 2017; TERRIER; GLAUS; RAUFFLET, 2019), onde um deles é uma ferramenta para avaliar de forma quantitativa a performance dos *designs* biomiméticos (TERRIER; GLAUS; RAUFFLET, 2019), sendo o único trabalho que traz algum nível de relação em termos quantitativo. Ao final da RBS e revisão exploratória, portanto, foram analisados 9 documentos publicados entre os anos de 2014 e 2019 (Figura 16). O escasso número e o período de publicação dos trabalhos revelam que a conexão entre esses dois campos de pesquisa ainda está em fase inicial.

Figura 16: Linha do tempo das publicações que trazem uma relação aprofundada entre os temas economia circular e biomimética



Fonte: Autoria própria

Dos nove trabalhos analisados, cinco relacionam a biomimética e a economia circular apenas em nível conceitual (BERMEJO, 2014; GEISENDORF; PIETRULLA, 2018;

MENDOZA et al., 2017; SKENE, 2017; WEVER; VOGTLÄNDER, 2015), enquanto os outros quatro trazem uma relação aplicada à um determinado contexto (MESTRE; COOPER, 2017; TATE et al., 2019; TERRIER; GLAUS; RAUFFLET, 2019; UNRUH, 2018).

O trabalho de Skene (2017) é crítico quanto ao conceito da economia circular e sua relação com a biomimética. Segundo este autor, o modelo da economia circular é utópico, uma vez que não considera as leis da termodinâmica ou as características de um sistema complexo, sendo, portanto, um conceito contrário aos verdadeiros princípios ecológicos. Além disso, ele discute que a biomimética busca apenas transferir informações ecológicas para sistemas humanos, o que não garante uma sustentabilidade que visa uma simbiose sistêmica. Segundo Skene (2017), para que isso ocorra, é imprescindível buscar uma bio-participação, onde os sistemas humanos são desenhados para se tornar parte dos sistemas naturais, e não apenas imitando-os.

Discute-se aqui, contudo, que embora a biomimética possa realmente resultar em inovações que não visam a sustentabilidade, caso praticada em uma visão reducionista (VOLSTAD; BOKS, 2012), quando aplicada em contexto holístico, ela pode alcançar seu total potencial (REAP; BAUMEISTER; BRAS, 2005; VOLSTAD; BOKS, 2012). Isso leva à uma relação mutualística entre sistemas humanos e natureza não-humana, onde os benefícios são recíprocos (MATHEWS, 2011). Além disso, existem trabalhos que discutem a importância de perceber as leis da termodinâmica no contexto da economia circular e sua relação com os sistemas naturais (KORHONEN et al., 2018; KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018). Consequentemente, os sistemas produtivos humanos e o próprio conceito da economia circular têm muito a aprender com a natureza (WEBSTER, 2013), e, por isso, podem se beneficiar da sua interação com a biomimética.

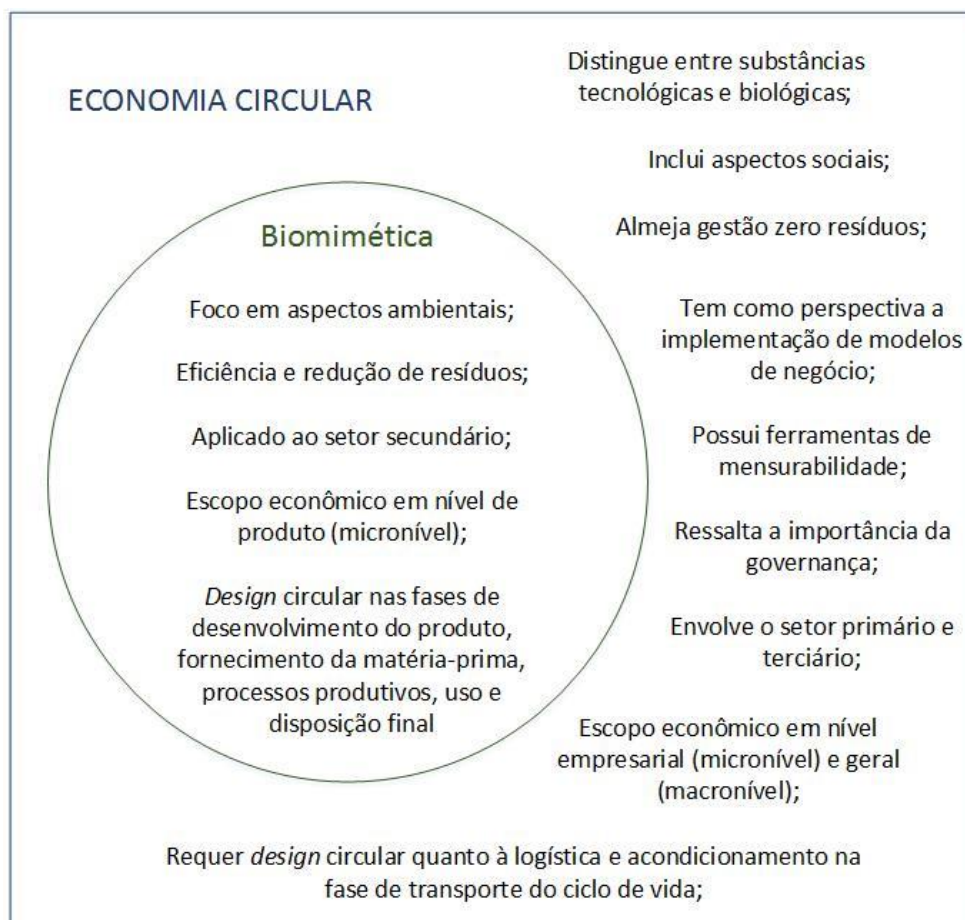
Bermejo (2014) e Geisendorf; Pietrulla (2017) também consideram a relação da economia circular com a biomimética como positiva, embora o nível de sobreposição desses conceitos difere entre os autores. Bermejo (2014) discorre que a biomimética é o caminho para um futuro sustentável, por meio de um desenvolvimento técnico-científico baseado na natureza. Saindo de uma relação de exploração dos recursos naturais, para uma relação do uso de seu conhecimento. No tocante à economia circular, o autor apresenta-a como uma forma de não ultrapassar o uso de recursos renováveis, de reutilizar e reciclar recursos não-renováveis, e de atingir zero resíduos. Assim, sustentando o máximo de riqueza, utilizando o mínimo de fluxos de materiais, e construindo tecnologias altamente eficientes e sustentáveis (BERMEJO, 2014).

Vale ressaltar, porém, que, embora a redução de resíduos e sua reintrodução nos sistemas produtivos sejam uma grande preocupação da economia circular (ADAMS et al., 2017), a prática da economia circular vai além da ciclagem de materiais. Ela é abrangente, levando em consideração também as inovações em modelos de negócio e redes de valor, e mudanças técnicas, legislativas e culturais, que podem ajudar na criação e retenção de novos valores (CNI, 2018).

No tocante à biomimética, por sua vez, apesar do seu conceito ser amplo e filosófico acerca da relação ser humano e natureza, e do papel ético do primeiro na busca pela sustentabilidade (BENYUS, 1997; DICKS, 2016, 2017; MATHEWS, 2011), sua prática é mais pontual. A biomimética foca nos problemas operacionais e organizacionais, tais como fomentar processos de ideação voltados para a sustentabilidade (ADAMS et al., 2015); criar nanomateriais funcionais e sustentáveis (MARTIN-MARTINEZ et al., 2018); desenvolver de novos produtos e tecnologias melhores (BAR-COHEN, 2005, 2006; LURIE-LUKE, 2014; NEVES; FRANCKE, 2012); estruturar de sistemas agrícolas mais ecológicos (BENYUS, 1997; BLOK; GREMMEN, 2018; STOJANOVIC, 2017); gerar designs regenerativos em termos de material ou energia (LIEDER; RASHID, 2016), além de outras soluções específicas para os diferentes níveis socioeconômicos (BENYUS, 1997).

Essa diferença acerca da aplicação dos dois conceitos também foi evidenciada por Geisendorf; Pietrulla (2017). Segundo estes autores, a economia circular tem um caráter mais abrangente que a biomimética, uma vez que a primeira engloba a segunda, ao menos no tocante às características selecionadas e analisadas por eles (Figura 17). De forma geral, a biomimética é o meio para se atingir um *design* ambientalmente sustentável inspirado pela natureza, enquanto a economia circular tem maior abrangência organizacional e econômica (GEISENDORF; PIETRULLA, 2018).

Figura 17: Sobreposição da economia circular e biomimética, segundo Geisendorf; Pietrulla (2017), em relação às características analisadas pelos autores



Fonte: Autoria própria baseada nos dados de Geisendorf; Pietrulla (2017).

Uma vez que a biomimética foi uma das bases teóricas utilizadas para o desenvolvimento conceitual da economia circular (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b; POLLARD et al., 2016; SARIATLI, 2017), faz sentido que a última englobe a primeira dentro de sua concepção, como estabelecido por Geisendorf; Pietrulla (2017). No entanto, a EC foi desenvolvida para buscar prosperidade econômica, qualidade ambiental e equidade social (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017), baseada na complexidade dos sistemas industriais (ADAMS et al., 2015). Isso justifica a aplicabilidade da economia circular abranger aspectos diferentes da prática da biomimética.

Wever; Vogtänder (2015) reforçam essa ideia ao classificarem a biomimética e a economia circular como abordagens holísticas de *design* para a sustentabilidade, mas que possuem diferentes focos de atuação. Para eles, a primeira é o meio para desenvolver novos materiais, produtos e sistemas baseados na natureza, enquanto que a segunda enfatiza inovações em modelos de negócio e *designs* para o alcance de oportunidades econômicas.

Assim, os autores sugerem que o desenvolvimento da economia circular pode ser complementado pela biomimética, já que esta pode trazer soluções em nível técnico e de sistemas, ajudando os negócios a avançarem de forma mais sustentável, como objetivado pela primeira.

Por outro lado, Mendonza *et al.* (2017) diz que, embora a biomimética tenha o potencial de melhorar a performance ambiental das empresas e sistemas de produtos, ela não necessariamente leva à criação de novos modelos de negócio. Por isso, Mendonza *et al.* (2017), sugerem o uso de estratégias de *design*, tais como a biomimética, em conjunto com estratégias de negócio baseadas na economia circular, resultando em implementações mais efetivas.

O fato da economia circular ser um tópico recente e dinâmico (CNI, 2018; GEISSDOERFER *et al.*, 2017), que ainda está em estágio inicial de implementação (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016), faz com que suas definições variem entre os autores (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017), e não haja um consenso compartilhado quanto ao seu entendimento (REIKE; VERMEULEN; WITJES, 2018). Isso, aliado ao interesse por *designs* biomiméticos também estar em crescimento e sua forma de aplicação e áreas relacionadas serem foco de discussões (FAYEMI *et al.*, 2017; LENAU; METZE; HESSELBERG, 2018; VOLSTAD; BOKS, 2012), pode ter levado à essas divergências entre os autores quanto ao escopo conceitual.

Já entre os trabalhos que trazem uma relação mais aplicada entre biomimética e economia circular, estão:

1. Princípios biomiméticos desenvolvidos especificamente para a criação de um sistema de valor circular em ecossistemas de negócio (TATE et al., 2019).
2. Um *framework* de gestão bio-inspirado (“Regras da Biosfera”), desenvolvido para iniciativas circulares de manufatura (UNRUH, 2018);
3. Quatro estratégias integradas de *design* circular, sendo a biomimética utilizada em uma delas (MESTRE; COOPER, 2017);
4. Uma ferramenta que ajuda a quantificar a performance dos *designs* e inovações biomiméticas, combinando seus princípios com a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (TERRIER; GLAUS; RAUFFLET, 2019). Nesta ferramenta, a implementação em nível de produto da economia circular é considerada uma categoria de impacto da Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

A seguir, essas 4 relações são detalhadas nas subseções de 4.1.1 à 4.1.4.

4.1.1 SISTEMA DE VALOR

Ao comparar o sistema industrial atual com sistemas florestais e redes de micorrizas (associação mutualista entre fungos e raízes vegetais), Tate *et al.*, (2019), estabeleceu princípios biomiméticos que auxiliam sistemas de negócio à transitarem para um sistema de valor circular, onde matérias e informações são permutados em rede. Nestes chamados ecossistemas de negócio, é necessário:

- (a) Equilíbrio entre atores (produtores, consumidores, catadores, decompositores);
- (b) Fluxos de informações e materiais geridos de forma integrada;
- (c) Produtores com saídas projetadas para fluxos de materiais reversos;
- (d) Fluxos de materiais secundários precisam atravessar, continuamente, os limites da indústria;
- (e) Densidade de rede entre membros heterogêneos;
- (f) Armazenamento confiável e descentralizado de informações.

Segundo Tate *et al.*, (2019), há a necessidade de aumentar o número de catadores (empresas de desmontagem, triagem e transporte dos materiais para os decompositores) e decompositores (empresas que usam recursos residuais dos produtores, consumidores e

catadores, transformando-os ou reciclando-os de volta ao sistema), que ainda são limitados no sistema industrial atual. Assim, as ações de logística reversa e recuperação de materiais podem ocorrer em equilíbrio, uma vez que estes são os elementos integradores do sistema de valor circular (TATE et al., 2019).

Para isso, é necessário que os *designs* dos produtos permitam uma desmontagem eficiente e segura, e que retenha a qualidade do material, tendo em mente que a acumulação de recursos/materiais é apenas temporária. Assim, o negócio deve pensar em quão “digestível” seu produto é em relação aos outros atores do ecossistema de negócio, além de considerar as fontes de materiais secundários como “minas urbanas”, de modo que suas características diferenciais de qualidade são incorporadas à produção e ao *design*. Deve-se buscar também múltiplos ciclos de vida, que permitam uso futuro dos seus materiais em setores industriais completamente diferente, evitando que, em algum momento, esses materiais acabem em aterros. Para isso, também é necessário que as empresas desenvolvam a infraestrutura necessária para processar materiais secundários (TATE et al., 2019).

Devido à essa constante transformação dos itens em uma sociedade circular, é importante também que os produtores sejam capazes de confirmar a composição dos mesmos. Isso poderia ser facilitado por um “passaporte material”, que informaria todos os materiais contidos em um produto ou construção, tais como uso percentual de reciclados e elementos químicos. Além disto, o estabelecimento de bancos de materiais secundários¹², com indústrias que representam funções especializadas dos diferentes atores (produtores, consumidores, catadores, decompositores), ajuda na alocação dos recursos de forma mais eficiente e cria sistemas de cooperação (TATE et al., 2019). Segundo estes mesmos autores, a coordenação do passaporte de material e dos bancos de materiais secundário, pode ser beneficiada com as novas tecnologias que permitem um rastreamento e armazenamento confiável e descentralizado dessas informações.

Dessa forma, esses princípios biomiméticos servem para fomentar uma colaboração em rede, com o objetivo de circular informações e materiais. Isso implica na adição de processos que facilitam na manutenção, compartilhamento, reparo, atualização e remanufatura de produtos (TATE et al., 2019). Além de ter como vantagem, impulsionar as capacidades dos membros para solucionar desafios em comum (por exemplo, desmanchar um produto complexo em seus materiais originais), o que gera benefícios mútuos e constrói parcerias

¹² Banco de materiais: empresas e indústrias se conectam para transacionar recursos (TATE et al 2019).

estratégicas importantes no desenvolvimento de negócios circulares (LEWANDOWSKI, 2016).

4.1.2 REGRAS DA BIOSFERA

As “Regras da biosfera” são um “*framework* de gestão bio-inspirado para iniciativas de economia circular” (UNRUH, 2018 p.95) e consistem em cinco princípios biomiméticos:

(a) Parcimônia de materiais – minimizar os tipos de materiais utilizados em produtos, focando no uso de materiais seguros (não tóxicos) e economicamente recicláveis. Não deve ser confundido com eco-eficiência, pois não visa apenas a diminuição na quantidade de materiais, mas também uma simplicidade na sua paleta (baseada na busca pela não-toxicidade, reciclabilidade e monomaterialidade), facilitando os processos de separação e reciclagem. A acessibilidade à esses materiais pode ser facilitada pelo design modular e rotulagem para fácil verificação quanto à quantidade, qualidade e utilidade dos materiais (UNRUH, 2010).

(b) Ciclos de valor – recuperar materiais dos bens em seu fim de uso e reintroduzi-los em novos produtos de valor agregado, de forma contínua e sem perda de performance ou função (UNRUH, 2018). Esses materiais podem ser valorizados em ciclos “rasos” (busca-se extrair o máximo de um investimento original feito em um ativo, mantendo a qualidade e o uso já construídos; Ou seja, ciclagem ocorrendo em nível de componentes e produtos, e lucro recorrente da venda secundária) ou em ciclos “profundos” (ciclagem ocorrendo em nível de materiais constituintes, de modo que possam emergir como componentes e produtos completamente novos e superiores – compostagem e reciclagem) (UNRUH, 2010).

(c) Autonomia de energia – maximizar a autonomia energética dos produtos e processos de modo que eles possam funcionar com energia renovável. Esse princípio engloba aumentar a eficiência energética e adotar novas tecnologias de geração e armazenamento da energia renovável, levando os negócios à um estado energético autônomo (UNRUH, 2010).

(d) Plataforma de produtos¹³ sustentáveis – Combinação de uma paleta de materiais parcimoniosa e tecnologias de processamento, associados em um ciclo de valor economicamente viável, e que é flexível o bastante para produzir uma variedade de produtos

¹³ Plataforma de produto: conjunto de parâmetros, recursos e/ou componentes que permanecem constantes dentro de um grupo de produtos que são relacionados entre si e satisfazem uma variedade de nichos de mercado (SIMPSON; SIDDIQUE; JIAO, 2006).

(UNRUH, 2010). Aproveita-se os ciclos de valor para alavancar economia de escala¹⁴, escopo¹⁵ e conhecimento¹⁶. Com isso, possibilita ganho de escala e diversidade na produção (UNRUH, 2010, 2018).

(e) Função sobre forma – atender as necessidades funcionais dos clientes de forma que sustente o ciclo de valor. Requer uma mudança no pensamento de *design* para fornecer a função desejada acima da forma do produto. Na natureza, diferentes espécies em diferentes formas ocupam os nichos ecológicos existentes e desempenham funções ordenadas (produtor, predador, polinizador, parasitas, entre outros), significando a importância da função acima da forma biológica (UNRUH, 2018).

Unruh (2018), aplica as Regras da biosfera ao contexto da manufatura aditiva. Nesta, o *design* do produto pode ser refinado nas formas que melhor entregam a função desejada, sendo este armazenado em arquivos digitais e distribuído globalmente, mas localmente produzidos e coletados no pós-uso com o auxílio de impressoras 3D, acoplados à equipamentos de reciclagem. Essa produção deve utilizar uma paleta parcimoniosa de materiais e energias renováveis, utilizando as habilidades da plataforma de produtos, para entregar uma variedade de produtos sustentáveis que atinjam diversas categorias e mercados. Os resíduos da produção e pós-consumo pode então re-adentrar a manufatura aditiva, com maior facilidade, criando ciclos de valor.

As regras da biosfera, porém, não precisam necessariamente serem aplicadas no contexto da manufatura aditiva. Elas podem ser interpretadas e integradas no modelo de negócio de qualquer produção industrial que almejam alcançar uma sustentabilidade ambiental e econômica (UNRUH, 2010).

No tocante às oportunidades de negócio circular associada às regras da biosfera, Jabbour *et al.* (2019) relaciona o trabalho de Unruh (2018) com as áreas de ação Troca e

¹⁴ Economia de escala: custo de produção diminuindo em função do aumento na escala de produção (PALUMICKAITĖ; MAKSVYTIENĖ, 2015). No tocante às regras da biosfera, isso pode ser obtido pela rápida expansão produtiva que a plataforma e os grupos de produto permitem (UNRUH, 2018).

¹⁵ Economia de escopo: custos de produção diminuindo em função do aumento na variedade de produtos resultantes de uma produção compartilhada (PANZAR; WILLIG, 1981). Podendo ser uma junção vertical ou horizontal, levando a firmas multiprodutos ou com diversas linhas de produtos que compartilham da mesma entrada, respectivamente (GOLDSTEIN; GRONBERG, 1984). Por meio da estratégia de plataforma de produto, a produção conjunta é facilitada e a economia de escopo é fomentada (UNRUH, 2018).

¹⁶ Economia de conhecimento: produção e serviços que dependem mais das capacidades intelectuais do que de insumos físicos ou recursos naturais, combinada com esforços para integrar melhorias em todas as etapas do processo produtivo (POWELL; SNELLMAN, 2004). Na manufatura aditiva, em especial, as informações codificam as especificações de design, atendendo as funções desejadas, que só, então, são produzidos com materiais locais, na forma e localidade necessárias (UNRUH, 2018), alavancando a importância do conhecimento acima da forma e recursos físicos.

Virtualização do ReSOLVE. Isso porque, elas são aplicadas para fomentar tecnologias de manufatura aditiva, manufatura digital, impressão 3D e novos processos de modelagem de material, que reduzem o estoque supérfluo por customização em massa. Isso entrega valor sem a necessidade de materializá-lo como ativo físico (Virtualização) e adota novas tecnologias são adotadas, melhorando a forma como a sociedade produz bens e serviços (Troca) (JABBOUR et al., 2019).

Ao selecionar de materiais não-tóxicos, utilizar energias renováveis, e desenhar ciclos de valores fechados, tanto para ciclos biológicos e técnicos, os negócios podem aumentar sua performance ambiental (UNRUH, 2010) e os recursos podem retornar para a biosfera ou para o sistema econômico de forma segura, como almejado pelos princípios da EC, fazendo com que negócios que apliquem essas regras auxiliem com a restauração e regeneração dos sistemas humanos e ecossistemas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; SUN; MCKINSEY, 2015).

4.1.3 DESIGN PARA MÚLTIPLOS CICLOS DE VIDA

Ao estabelecer que a biomimética é uma prioridade da economia circular, e que a circularização, tanto dos biológicos quanto técnicos, é um conceito biomimético por natureza, Mestre; Cooper (2017) propõem quatro estratégias de *design* a serem consideradas no ciclo de vida de um produto circular. Essas estratégias estão divididas em dois grupos: *design* para o ciclo técnico e *design* para o ciclo biológico. O primeiro grupo inclui as estratégias para desacelerar o ciclo e para fechar o ciclo, enquanto que no segundo grupo estão as estratégias para ciclos bio-inspirados e para ciclos bio-baseados.

No *design* para ciclo técnico, ao desacelerar o ciclo, o foco está na otimização e extensão do ciclo de vida, por meio de uma forte relação produto-usuário (e.g. *design* para durabilidade emocional), produtos duráveis, escolhas mais conscientes de materiais e energia, e uso compartilhado do produto. Para fechar o ciclo, no entanto, objetiva-se o uso de materiais reciclados, recicláveis ou degradáveis, a entrega da função como serviço, a promoção de serviços que mantenham a função e substitua os produtos em seu fim-de-vida, a eliminação da logística (e.g. impressão 3D local), e otimização do fim-de-vida por meio da re-coleta, reciclagem, compostagem, entre outras (MESTRE; COOPER, 2017)

No *design* para ciclo biológico, por sua vez, o *design* para ciclos bio-inspirados refere-se as soluções de *design* que são inspiradas pela natureza, adotando a biomimética como abordagem. Nesta, o *design* imita estruturas biológicas, almeja menor produção de resíduos, otimiza a relação material-volume-peso por meio de *designs* estruturais, produz em simbiose industrial, fomenta o reuso do produto, e busca o reaproveitamento da função. Já a estratégia para ciclos bio-baseados visa a utilização de materiais biológicos que no final da sua vida podem retornar com segurança à biosfera e fornecer nutrientes à vida biológica. Por isso, busca fomentar atividades de baixo impacto e rápido consumo, por meio da produção local (e.g. bio-impressão 3D e cultivo de alimentos em casa), embalagens com bio-materiais, fim-de-vida compostável ou solúvel (MESTRE; COOPER, 2017).

Bocken *et al.* (2016) já tinham proposto estratégias para desacelerar e para fechar o ciclo de vida dos produtos, contudo, neste trabalho, os dois grupos eram colocados como táticas opostas para se obter um *design* circular. Além disso, o *design* para ciclos biológicos era proposto dentro da estratégia de fechamento do ciclo, visto que considera apenas os produtos consumíveis. Mestre; Cooper (2017), por outro lado, separa essas estratégias, visto que eles podem ser utilizados de forma paralela, mas sugere que sejam consideradas como complementares em todas as fases do ciclo de vida do produto.

A separação entre ciclos biológicos e técnicos de Mestre; Cooper (2017) não se limita à divisão tradicional da EC, referente ao uso de materiais orgânicos biológicos ou materiais inorgânicos, respectivamente (ver secção 3.1). Para Mestre; Cooper (2017), o *design* para ciclo técnico está relacionado ao uso e transformação técnica e/ou tecnológica dos recursos e materiais, em que se busca a otimização de *design* para os mais altos níveis possíveis de eficiência. Já o *design* para ciclo biológico representa as soluções de *design* biológico que ocorrem nos (ou inspirados pelos) ecossistemas naturais, onde materiais são ciclados na natureza ao longo do tempo. Assim, essa classificação aparenta estar mais relacionada ao objetivo das estratégias de *design* do que com a organicidade do material utilizado, como estabelecido pela Fundação Ellen MacArthur (2015).

Até mesmo porque, a aplicabilidade da biomimética abrange tanto os “nutrientes técnicos”, quanto os “nutrientes biológicos” (BENYUS, 1997). Na verdade, a aplicação da biomiméticas, na atualidade, estão majoritariamente focadas para o desenvolvimento de produtos e tecnologias do ciclos técnicos (BAR-COHEN, 2005, 2006; BHUSHAN, 2009; EL-ZEINY, 2012; IVANIĆ; TADIĆ; OMAZIĆ, 2015; LAKHTAKIA; MARTÍN-PALMA, 2013;

LURIE-LUKE, 2014; NKANDU; ALIBABA, 2018; VINCENT, 2016). Sendo que a aplicação da biomimética na agricultura representa apenas 9% das publicações na área (MEAD; JEANRENAUD, 2017). Isso porque esses, e outros setores industriais que possuem um *link* menos óbvio com natureza estão começando agora a perceber as vantagens dessa aproximação (FERMANIAN BUSINESS & ECONOMIC INSTITUTE, 2010).

Um exemplo disso é o protótipo da Mercedes-Benz de um carro inspirado no peixe-cofre (*ostracion meleagris*) (Figura 18). A aplicação da biomimética, neste protótipo, realocou eixos de materiais em pontos estratégicos e trouxe várias vantagens (KULFAN, 2009; SPECK et al., 2017). Entre elas, gerou a redução no uso de materiais e estruturas mais leves (SPECK et al., 2017), melhor aerodinâmica, eficiência energética na fase de uso, e alcançou os padrões de segurança e durabilidade e otimizando o ciclo de vida do produto (KULFAN, 2009; MESTRE; COOPER, 2017). Ao olhar pelo contexto da economia circular, contudo o protótipo do carro não visa o uso de materiais de baixo impacto e não oferece um sistema de fim-de-vida otimizado (MESTRE; COOPER, 2017). Assim, essa aplicação biomimética resultou em uma inovação fragmentada e incremental. Ou seja, não levando às mudanças radicais e disruptivas que são necessárias para solucionar os problemas atuais e mover para uma economia circular (ANTIKAINEN; VALKOKARI, 2016).

Figura 18: Protótipo biomimético do carro da Mercedes-Benz



Fonte: Zari, (2007)

Na verdade, nenhuma das quatro estratégias propostas por Mestre; Cooper (2017), conseguem garantir uma circularidade efetiva do sistema por si só. Por isso, os próprios autores sugerem que as estratégias para desacelerar o ciclo, para ciclos bio-inspirados e para ciclos bio-baseados, sejam utilizadas de forma complementar às estratégias de fechamento do ciclo, em todas as fases do ciclo de vida de um produto, visto que esta é o objetivo final da economia circular.

4.1.4 BIOMIMETRIC

Para facilitar o uso de abordagens biomiméticas, Terrier; Glaus; Raufflet (2019) desenvolveram uma ferramenta que avalia quantitativamente a performance dos *designs* biomimético. Para isso, agrupou princípios biomiméticos nas dimensões: (1) eficácia e frugalidade; (2) circularidade e abordagem sistêmica; e (3) preservação e resiliência.

A dimensão “circularidade e abordagem sistêmica” é responsável por agrupar os 3 princípios biomiméticos que encorajam a utilização dos resíduos como recursos; a diversidade e cooperação; além de buscar e compartilhar informações, e implementar *loops de feedback* (TERRIER; GLAUS; RAUFFLET, 2019). Na dimensão “Eficácia e frugalidade¹⁷”, os princípios são usar materiais com moderação; usar energia de forma eficiente; não esgotar recursos; comprar ou produzir localmente; otimizar o todo ao invés de maximizar cada componente individualmente. Já a dimensão “Preservação e resiliência” estão a não contaminação do entorno e permanecer em equilíbrio dinâmico com a biosfera.

De forma prática, a ferramenta combina esses princípios biomiméticos com diferentes métodos de Análise de Impacto do Ciclo de Vida (AICV). A relação desta com a dimensão “circularidade e abordagem sistêmica”, pode ser observada no Quadro 2.

¹⁷ Frugalidade: prudência em evitar resíduos (PRINCETON UNIVERSITY, 2010).

Quadro 2: Princípios biomiméticos e AICV

Dimensões biomiméticas e princípios	Método	Categoria de Impacto	Informação	Unidade
<i>Circularidade e abordagem sistêmica</i>				
Resíduos como recursos	ReCIPE	11- Uso da terra	Quantidade de terra transformada ou ocupada por um período de tempo	m ² *yr. crop eq
Diversidade e cooperação	Questões específicas	5 questões avaliadas e ponderadas de acordo com o nível de consideração no <i>design</i> produto 1) Ferramentas de economia funcional ou cooperativa são conhecidas e utilizadas? 2) O projeto pode ser posicionado em um nicho não-competitivo para evitar competição? 3) As partes interessadas foram identificadas e consultadas durante o projeto? 4) A abordagem sistêmica é utilizada? 5) Os princípios da economia circular são conhecidos e aplicados?	Implementa a economia circular	De acordo com o peso e avaliação da questão, uma pontuação entre -2 e 2 é concedida
Ser informado, compartilhar informações e implementar <i>loops de feedback</i>	Questões específicas	5 questões avaliadas e ponderadas de acordo com o nível de consideração no <i>design</i> produto	Adota uma visão sistêmica	De acordo com o peso e avaliação da questão, uma pontuação entre -2 e 2 é concedida

Fonte: Traduzido de Terrier; Glaus; Raufflet (2019)

O desenvolvimento da Biomimetric se deu pelo fato da biomimética almejar impactos ambientais positivos por meio do *design*, enquanto a ACV mede os impactos ambientais negativos associado ao produto durante seu ciclo de vida (TERRIER; GLAUS; RAUFFLET, 2019). Porém, todos os princípios biomiméticos, dispostas 3 dimensões citadas anteriormente, devem ser elementos presentes em uma economia circular, como trazem os relatório da Ellen MacArthur Foundation (2013a, 2013b, 2015, 2015b). Além disso, a ACV já

é utilizada no desenvolvimento de indicadores para avaliar a circularidade, a eficiência dos recursos e a produção sustentável em sistemas circulares (MERLI; PREZIOSI; ACAMPORA, 2018). Dessa forma, pode-se dizer que a BiomiMETRIC tem potencial para ser considerada como uma ferramenta que auxilia também no dimensionamento do impacto ambiental da circularidade no ciclo de vida de um produto.

Por fim, de forma geral e com base nestes trabalhos encontrados na literatura, é possível perceber que:

- O conceito da economia circular e da biomimética são de natureza complementar, com possibilidades positivas de interação (BERMEJO, 2014; GEISENDORF; PIETRULLA, 2018; MENDOZA et al., 2017; MESTRE; COOPER, 2017; TATE et al., 2019; TERRIER; GLAUS; RAUFFLET, 2019; UNRUH, 2018; WEVER; VOGTLÄNDER, 2015)
- O objetivo da EC é alcançar um novo modelo econômico e novos padrões de produção-consumo, e a faz por meio de inovações de modelo de negócio. Já a biomimética é uma das formas de auxiliar na implementação deste objetivo, fornecendo meios para superar dos desafios e trazendo uma visão mais ecológica para os processos de inovação de produtos, processos e sistemas (GEISENDORF; PIETRULLA, 2018; MENDOZA et al., 2017; MESTRE; COOPER, 2017; TATE et al., 2019; UNRUH, 2018; WEVER; VOGTLÄNDER, 2015).
- Os princípios e práticas da biomimética, no contexto da economia circular, estão centrados em desenhar fluxos de materiais que facilitem sistemas de valor entre setores industriais (TATE et al., 2019), otimizar o ciclo de vida dos produtos por meio do *design* (MESTRE; COOPER, 2017; UNRUH, 2018), e avaliar seu impacto ambiental (TERRIER; GLAUS; RAUFFLET, 2019).
- Embora possam ser aplicados no setor agroindustrial, com suas devidas alterações, uma vez que são gerais e aplicáveis aos diversos setores (MESTRE; COOPER, 2017; TATE et al., 2019; TERRIER; GLAUS; RAUFFLET, 2019; UNRUH, 2018), nenhum trabalho aponta de forma específica para o agro-setor.

Para perceber melhor como a biomimética pode estar relacionada com a economia circular, além dos resultados obtidos nesta fase, comparou-se de forma direta os princípios da biomimética em relação aos princípios da EC.

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR VS. PRINCÍPIOS DA VIDA

Os princípios da economia circular também variam entre autores (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2017; LEIPOLD; PETIT-BOIX, 2018; LEWANDOWSKI, 2016; MASI et al., 2018; PRIETO-SANDOVAL; JACA; ORMAZABAL, 2018). Nesta pesquisa, emprega-se os princípios estabelecidos pela Fundação Ellen Macarthur (2015), por serem frequentemente utilizados na comunidade acadêmica (CNI, 2018; DE SOUZA; BLOEMHOF-RUWAARD; BORSATO, 2019; PAVEL, 2018; SAIDANI et al., 2019). Uma breve descrição desses princípios pode ser lida a seguir (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; SUN; MCKINSEY, 2015):

1. *Regenerar sistemas naturais*: preservar e aprimorar o capital natural, controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis. Isso significa evitar ao máximo a utilização dos recursos naturais, através da desmaterialização de produtos e utilização de serviços; e quando necessário sua utilização, estimular o uso de recursos renováveis; e promover a regeneração, recuperação e manutenção dos ecossistemas;
2. *Manter produtos e materiais em uso*: otimizar o rendimento dos recursos através da circulação de produtos, componentes e materiais com maior utilidade e valor em todos os momentos do ciclo técnico e biológico. Implicando em buscar a melhoria no desempenho e na eficiência do produto; promover a circulação dos materiais, envolvendo-os nos ciclos menores e maiores; e estimular o maior número de ciclos consecutivos e compartilhamentos quanto possível; estimular a reutilização, remanufatura, e reciclagem dos nutrientes técnicos; visar o aproveitamento em cascata dos nutrientes e o seu retorno seguro à biosfera dos nutrientes biológicos;
3. *Eliminar resíduos e poluição*: promover a efetividade do sistema, revelando e eliminando externalidades negativas. intencionalmente reduzir os prejuízos gerados para os sistemas e para a biosfera, através da melhoria no desempenho e na eficiência dos processos; evitar o desperdício na produção, o uso

indiscriminado de recursos naturais, o vazamento de substâncias tóxicas, e a poluição dos ecossistemas.

Já os princípios da biomimética selecionados são os propostos pelo autor Baumeister (2013), chamados de princípios da vida (Quadro 3). Estes princípios são gerais, aplicáveis a qualquer nível de um sistema de negócio (ou seja, de produto, processo e sistema, incluindo proposição de valor, design, ciclos reversos, tecnologias e políticas públicas, cadeia de valor, entre outros), e foram citados em um trabalho prévio de comparação entre os temas (MENDOZA et al., 2017), embora o autor não tenha explorado uma relação direta entre os princípios da vida e os princípios da economia circular.

Quadro 3: Princípios da vida de Baumeister *et al.* (2013) utilizados neste trabalho para posterior comparação

Evoluir para sobreviver	<ol style="list-style-type: none"> 1. Replicar estratégias que funcionam (bem-sucedidas) 2. Integrar o inesperado (incorpore erros de maneiras que possam levar a novas formas e funções) 3. Remodelação de informações (trocar e alterar informações para criar novas opções)
Ser eficiente em recursos (material e energia)	<ol style="list-style-type: none"> 4. Usar <i>designs</i> multifuncionais (entregar múltiplas funções com uma solução elegante) 5. Usar processos de baixa energia (minimizar consumo de energia) 6. Reciclar todos os materiais (manter todos materiais em um ciclo fechado) 7. Ajustar forma à função (selecionar formato ou padrão baseado na necessidade)
Adaptar as mudanças de condições	<ol style="list-style-type: none"> 8. Manter a integridade através da auto-renovação (adicionar constantemente energia e matéria para curar e melhorar o sistema) 9. Incorporar resiliência através de variação, redundância e descentralização 10. Incorporar diversidade (incluir várias formas, processos ou sistemas para atender a uma necessidade funcional)
Integrar desenvolvimento com crescimento	<ol style="list-style-type: none"> 11. Combinar componentes modulares e aninhados (instalar várias unidades dentro de cada uma progressivamente, do simples ao complexo) 12. Construir de baixo para cima (montar uma unidade de componente por vez) 13. Auto-organização (criar condições que permitam uma interação conjunta entre os componentes para avançar para um sistema enriquecido)
Ser localmente sintonizado e responsivo	<ol style="list-style-type: none"> 14. Usar materiais e energia prontamente disponíveis (construir com materiais acessíveis e abundantes, enquanto aproveita energia acessível) 15. Cultivar relações de cooperação (encontrar valor através de interações ganha-ganha) 16. Alavancar processos cíclicos (tirar vantagem de fenômenos que se repetem) 17. Usar loops de feedback (envolver fluxos de informação cíclicos para modificar uma reação apropriadamente)
Usar química favorável à vida	<ol style="list-style-type: none"> 18. Construir seletivamente com um pequeno subconjunto de elementos (utilizar poucos elementos de forma elegante) 19. Dividir os produtos em componentes benignos (usar química na qual a decomposição não resulte em subprodutos prejudiciais) 20. Fazer “química na água” (usar a água como solvente)

Fonte: Adaptado de Baumeister *et al.* (2013).

Analisando os princípios de EC da Fundação Ellen MacArthur com os Princípios da vida foi possível perceber quais princípios da biomimética atendem completa ou parcialmente cada um dos três princípios de EC propostos. Essa relação pode ser observada na Quadro 4

Quadro 4: Comparativo entre Princípios da vida e Princípios da EC

Princípios da EC	Princípios da vida																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Regenerar sistemas naturais</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Manter produtos e materiais em uso</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Eliminar resíduos e poluição</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Legenda

✓ atende

Fonte: Autoria própria

Com base no quadro comparativo, percebe-se que todos os princípios da vida atendem todos os princípios da EC. Ou seja, os 20 princípios biomiméticos descritos são favoráveis e intrínsecos aos princípios da EC, já que o alcance destes podem ser auxiliados pela aplicação dos primeiros. Uma vez que a EC é restaurativa e regenerativa por natureza, e que seus princípios são uma forma de assegurar que esta restauração e regeneração dos sistemas socioeconômicos e ecológicos ocorram (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; SUN; MCKINSEY, 2015), pode-se dizer que a biomimética pode ajudar no desenvolvimento de sistemas restaurativos e regenerativos. Um maior detalhamento desta relação pode ser observado na seção 4.3.

4.3 SISTEMAS REGENERATIVOS, BIOMIMÉTICA E ECONOMIA CIRCULAR

De forma geral, para implementar sistemas restaurativos e regenerativos, a EC busca eliminar resíduos da produção, utilizar nutrientes biológicos não tóxicos, com mínimo gasto energético e alta retenção de qualidade, construir resiliência através da diversidade, depender do uso de energias renováveis, empregar o pensamento sistêmico, fomenta a aplicação de insights biológicos em desafios de engenharia e de negócios, e alavancar sistemas colaborativos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b). Assim, produzindo benefícios para negócios, sociedade e meio ambiente (CNI, 2018; WBCSD, 2018). Para que a implementação da EC ocorra de forma efetiva, contudo, é necessário uma mudança de paradigma na forma como a sociedade humana está inter-relacionada com a natureza, gerando inovações que reparam danos, conectam sistemas, fecham os ciclos, e criam valor agregado para ambos os sistemas (PRIETO-SANDOVAL; JACA; ORMAZABAL, 2018).

Isso porque obter uma verdadeira regeneração sistêmica significa sair de um desenvolvimento socioeconômico que destrói seus recursos para um que participe e co-evolua

com os processos naturais, assim, gerando benefícios para o sistema como um todo (MANG; REED, 2012; REED, 2007; WAHL, 2016). Nesta, deve-se buscar não apenas reverter a degradação dos sistemas naturais, ou harmonizar esteticamente com a natureza, mas tornar-se parte simbiótica dela (MANG; REED, 2012). Com isso, leva à uma visão de sustentabilidade que vai além do equilíbrio entre economia, sociedade e meio ambiente, mas que seja baseada na resiliência, na capacidade adaptativa e na parceria entre humanos e o ambiente natural do qual eles fazem parte (PLESSIS; COLE, 2013).

A trajetória para essa regeneração sistêmica é uma progressão contínua em que todos os níveis de melhorias são necessárias para alcançar uma mudança efetiva (REED, 2007). Nesta trajetória, se reconhece o papel das práticas restaurativas e reconciliatórias entre esses sistemas (COLE, 2012b), mas almeja-se práticas que prosperem, ao invés de degenerar, os sistemas e os recursos sócio-ecológicos (MANG; REED, 2012; ZARI; STOREY, 2007). Com a progressividade dessas práticas restaurativas, reconciliatórias e regenerativas, cada vez menos recursos externos são requeridos e uma maior vitalidade dos sistemas humanos e ecológicos é alcançada (WAHL, 2016).

Práticas restaurativas são as que, por meio de intervenções humanas, retorna o sistema degradado ao seu estado inicial ou à um estado aceitável (MANG; REED, 2012). As práticas reconciliatórias, por sua vez, inserem os sistemas humanos como parte integral dos ecossistemas (REED, 2007), mas ainda almeja apenas melhorias antropocêntricas e não uma co-evolução sistêmica (MANG; REED, 2012). Por exemplo, reconciliação pode ser por meio do *design* biofílico, onde se busca uma conexão humana com a natureza para melhor a saúde e o bem-estar humano (RYAN et al., 2014). Já as práticas regenerativas são aquelas que alcançam impactos positivos em rede, por meio da cooperação regenerativa, aumentando o capital social, econômico e natural, e chegando à um estado melhor que o anterior (PLESSIS; COLE, 2013). Nesta, se projeta como a natureza (WAHL, 2016), pois os sistemas humanos e naturais estão inter-relacionados em busca de benefícios mútuos (MANG; REED, 2012).

O desenho e a implementação desses sistemas tem como elemento principal as inovações que utilizam a vitalidade do sistema para criar valor agregado para humanos e natureza (HOFSTRA; HUISINGH, 2014). Para isso, é importante que os sistemas humanos gerem redes de interação positiva com o entorno (CRAFT et al., 2017), considerando os seres humanos e outras espécies biológicas como parte de um todo, e utilizando os fluxos de materiais e energia em uma relação sistêmica (HOFSTRA; HUISINGH, 2014). Isso porque a saúde desses sistemas são interdependentes (MANG; REED, 2012). Portanto, é importante

que se crie projetos e inovações guiados por sistemas vivos, que fomentem relações de colaboração e levem a abundância (WAHL, 2016).

Os sistemas maduros da natureza são o melhor exemplo de como redesenhar os sistemas socioeconômicos para alcançar a regeneração sistêmica. Por isso, a prática da biomimética é considerada uma forma gerar inovações duradouras (BENYUS, 1997), eco-efetivas (DE SOUZA; BLOEMHOF-RUWAARD; BORSATO, 2019; EL-ZEINY, 2012) e regenerativas (LIEDER; RASHID, 2016), que podem guiar os sistemas humanos à uma relação sinérgica com os sistemas ecológicos (ZARI, 2012).

Assim, a economia circular cria um ambiente que aumenta significativamente o efeito e a eficácia dos projetos biomiméticos, visto que sua aplicação ganha potencial quando inserida em uma visão sistêmica (VOLSTAD; BOKS, 2012). Porém, a EC também ganha em nível de produto, processo e sistema, ao utilizar a biomimética com o objetivo de compreender e imitar os ecossistemas naturais, trazendo benefícios positivos para sistemas humanos e ecológicos, como discutido nas seções 4.1. e 4.2.

Isso porque a biomimética tem como base considerar o domínio natural e a sociedade como partes de um mesmo sistema (BAUMEISTER, 2013), e a ausência de pesquisas com este tipo de visão, no contexto da economia circular, é um dos grandes desafios para que esta alcance a transformação sistêmica almejada (YANG, 2016). Além disso, a biomimética olha para a natureza, aprende e aplica ensinamentos do exemplo maior de regeneração sistêmica existente (BENYUS, 1997). Portanto, aplicar a biomimética pode ajudar no alcance da regeneração sistêmica almejada pela economia circular, passando pelas práticas restaurativas e reconciliatórias, que são indispensáveis neste processo.

O caso dos sistemas ILPF foi utilizado como exemplo acerca de como a biomimética pode auxiliar no alcance de sistemas regenerativos e, portanto, circulares. Isso faz com que a teoria construída por meio dos achados desta pesquisa possa ser analisada em um contexto real, servindo para o seu refinamento e expansão (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002).

4.4 SISTEMAS ILPF

No Brasil, há um grande potencial para o desenvolvimento de negócios de agricultura que são regenerativos em ativos da biodiversidade, desenvolvem e aplicam biointeligência da natureza nas cadeias de valor da agroindústria, e que alavanque a tecnologias digitais para

destravar a bioeconomia, como almeja a economia circular (CE100 BRASIL, 2017) e necessário para uma regeneração sistêmica (CRAFT et al., 2017; REED, 2007; WAHL, 2016).

Sistemas regenerativos no setor agrícola, segundo a EC, são caracterizados por utilizarem o mínimo de inputs externos, fecharem ciclos de nutrientes, valorizarem os resíduos produtivos, e integrarem os sistemas humanos aos sistemas ecológicos, gerando benefícios econômicos, sociais e ambientais expressivos, como mitigação das mudanças climáticas, evitar degradação do solo, economizar água, melhoria na saúde, além de produções e fontes de renda mais diversas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

Os sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta, empregam todas essas características, uma vez que aplicada diversidade de produção para otimizar os ciclos biológicos, fazer controle biológico de pragas, diminuir o uso de insumos externos, e reaproveitar resíduos biológicos, ao mesmo tempo que alcança o desenvolvimento socioeconômico das unidades de produção (BALBINO et al., 2011). Por isso, pode-se dizer que os sistemas de integração agropecuária estão associados tanto ao contexto da economia circular (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013a; THEROND et al., 2017).

Pode-se dizer também que o ILPF é biomimético (BENYUS, 1997; STOJANOVIC, 2017). Isso porque sistemas que consideram os ecossistemas naturais em seu desenho e objetivam a sustentabilidade. Contudo, os sistemas em integração imitam as relações estruturais dos sistemas naturais, implementando-as nas técnicas agrícolas convencionais (STOJANOVIC, 2017). Isso significa que se aplica as técnicas de integração das unidades de produção, e busca-se o controle biológico de pragas, mas ao mesmo tempo, a adequação o sistema por meio de soluções químicas e medidas agro mecânicas são aceitas para atingir os resultados comerciais desejáveis (CORDEIRO et al., 2015; STOJANOVIC, 2017). Este uso químico, contudo, é feito de forma eficiente e racional, e as tecnologias são otimizadas (BALBINO et al., 2012).

Por imitarem certos aspectos da natureza (STOJANOVIC, 2017) e por serem sistemas agrícolas baseado na biodiversidade em um contexto de mercado global de commodities (THEROND et al., 2017), sua implementação é uma vantagem aos negócios que produzem commodities (CORDEIRO et al., 2015). Assim, esses sistemas são melhores que os sistemas convencionais de monocultura, do ponto de vista dos aspectos ecológicos, sociais e econômicos (BALBINO et al., 2012; CORDEIRO et al., 2015; STOJANOVIC, 2017).

Na entrevista, foi reafirmado que a ILPF busca uma diversidade produtiva e com isso, gera benefícios ambientais, tais como, melhor qualidade do solo, biodiversidade e bem-estar animal, presença de forragem e composição arbórea. Isso condiz com a literatura, que traz os sistemas integrados como soluções criativas, inspiradas na natureza, que integram pecuária, agricultura, e serviços ecossistêmicos (STOJANOVIC, 2017). Por isso, como resultado, a adoção da ILPF melhora os atributos físico, químicos e biológicos do solo; diminuição no uso de agroquímicos para controlar pragas e doenças; aumento no estoque de carbono e de nutrientes; redução dos riscos de erosão; e melhoraria da recarga e qualidade da água (BALBINO et al., 2011; MACHADO; BALBINO; CECCON, 2011). Assim, a ILPF é uma forma de obter resultados econômicos enquanto regenera a natureza.

Em relação aos benefícios socioeconômicos, os entrevistados citaram menor incidência de doenças nas culturas, eliminação de custos com a reforma do pasto, controle biológico de plantas daninhas que significa menor uso de agrotóxicos, diversificação da renda do produtor. Isto também se confirmou na literatura publicada, onde o ILPF foi descrito como um meio para alcançar a diversificação da produção, estabilidade econômica e o aumento da renda líquida do produtor (BEHLING et al., 2013); além da dinamização da economia em nível regional; e estímulo à qualificação profissional (BALBINO et al., 2011). Dessa forma, garante oportunidades para a retenção de uma larga proporção do valor agregado (THEROND et al., 2017). Além disso, a produção mais ecológica da ILPF é um ótimo exemplo de como agregar valor às commodities brasileiras (HERRMANN, 2013).

Porém, a implementação de ILPF no Brasil ainda enfrenta restrições técnicas e econômicas. Entre os desafios que a literatura coloca sobre a adoção da ILPF, estão as barreiras em níveis técnicos, tais como alto investimento econômico, limitação a mecanização, falta de infraestrutura e mão de obra capacitada (BEHLING et al., 2013; DIAS-FILHO; B, 2017). Isso foi reforçado pelos entrevistados. Estes estabeleceram que também estabeleceram que embora na teoria existam 4 modalidades de ILPF, na prática os arranjos são infinitos, pois variam conforma a espécie animal e vegetal (de cultivo e silvicultura) que será empregado na propriedade.

Segundo os entrevistados, essas diversas possibilidades de arranjos, somadas os diferentes elementos físicos desta integração (e.g. distância entre as árvores, com quantos % da área será feita rotação e com quais culturas), trazem resultados e benefícios ambientais e socioeconômicos variados. Por exemplo, a inserção de árvores nativas na ILPF pode ter benefícios ambientais para o bioma local e até maior valor agregado, mas o tempo para o

corte é extenso, há burocracias para plantar e cortar, e dificuldade de padronizar as mudas (crescimento variado), tornando-se uma barreira na adoção dessa estratégia em específico. A adoção de um percentual alto de árvores também tem *trade-off* associados. Neste caso há um aumento do sombreamento, que pode melhorar o bem-estar animal, mas ao mesmo tempo dificultar o cultivo e fazer com que as manobras entre as faixas de árvores fiquem mais difíceis.

Além disso, a estratégia ILPF demanda grande conhecimento sobre as práticas produtivas implementadas e sobre como acontecem suas interações (MACHADO; BALBINO; CECCON, 2011). Na entrevista foi dado um exemplo sobre isto, onde mesmo com pastagem, milho e eucalipto, em que as técnicas de produção das três são conhecidas e bem-dominadas, o manejo integrado destas não é simples. Por isso, é necessário que os produtores estejam dispostos a mudar o modelo de gestão, introduzir riscos no sistema, e fazer parcerias que facilitem a execução destes sistemas integrados. Outra barreira na implementação da ILPF, são limitações financeiras que dificultam o acesso do pequeno produtor ao maquinário necessário, devido a este ser caro e ter tempos de ociosidade.

Por outro lado, a biomimética também pode auxiliar no desenvolvimento de agro tecnologias que levam à benefícios ambientais, econômicos e sociais. Sua aplicação já levou à máquinas agrícolas que imitam patas de animais escavadores para uma abertura do solo menos agressiva e mais eficiente (ZHIJUN; HONGLEI; JIYU, 2016); robôs que ajudam equipamentos agrícolas a caminharem por áreas montanhosas e acidentadas, imitando o movimento de animais características dessas áreas (ZHANG et al., 2018); robôs com capacidade tátil de temperatura e humidade para auxiliar na exploração e monitoramento de solos, baseado em raízes de plantas (SADEGHI et al., 2016); e um sistema de detecção de pestes em folhas verdes com maior precisão, baseado na visão de seus predadores (CHAHL; LIU, 2018).

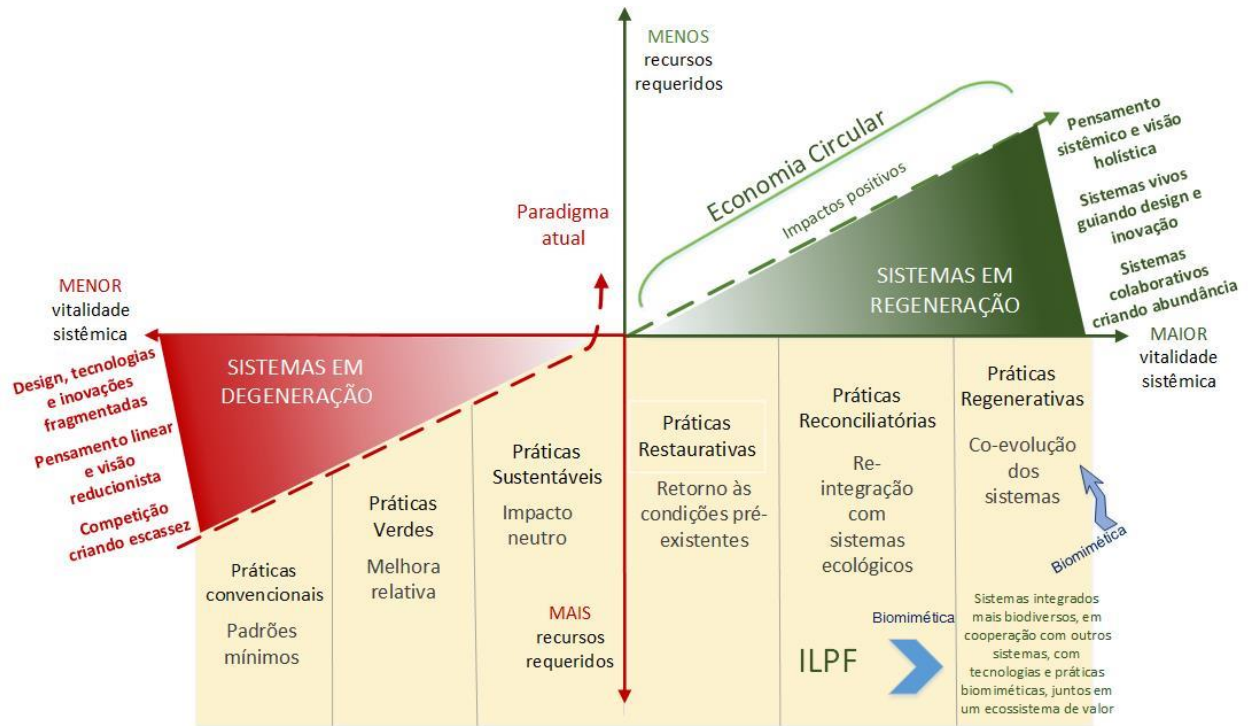
A própria agricultura de precisão, já dita como sustentável (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004), pode alcançar novos níveis na otimização de sua performance ao incorporar novas tecnologias de ponta no seu processo, incluindo tecnologias desenvolvidas por métodos biomiméticos (FRANKELIUS; NORRMAN; JOHANSEN, 2017). Blok; Gremmen, (2018), por sua vez, argumentam sobre a necessidade de se incorporar os princípios da natureza nos cultivos e criações baseadas em tecnologias *smart*, para que assim esses sistemas produtivos sejam vistos como processos interligados que atuam juntos em uma rede complexa, entrando em conformidade com os ambientes naturais.

Para essa melhoria, porém, é necessário utilizar redes de *stakeholders* para novos criar valores e ampliar o ecossistema de negócio, de modo que os resíduos e materiais secundários possam ciclar em um sistema de valor (TATE et al., 2019). É necessário o surgimento de novos modelos de negócio e novas condições facilitadoras que possam extrair esses valores de forma “rasa” e profunda”. Por exemplo, a digestão anaeróbica e a extração bioquímica são processos de extração de valor do ciclo biológico, em que no primeiro caso, o valor é capturado por meio da produção de biogás e sólido residual, enquanto que no segundo é pela geração de produtos químicos de baixo volume e alto valor agregado ou combustíveis líquidos de alto volume e baixo valor agregado (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b). Assim, esses processos podem vir como um novo ciclo de valor agregado, antes da compostagem e fotodegradação (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015b).

Além disso, regeneração sistêmica demanda que sistemas ecológicos e humanos co-evoluam e gere impactos positivos mútuos (MANG; REED, 2012). Isso demanda sempre se busque a implementação de sistemas integrados com a maior biodiversidade envolvida possível, uma vez os benefícios ecológicos da ILPF podem variar dependendo do tipo de sistema integrado que é utilizado (MACHADO; BALBINO; CECCON, 2011; STOJANOVIC, 2017; THEROND et al., 2017). Isso significa também fazer parcerias para superar os desafios técnicos. Ademais, deve-se aplicar os princípios e as práticas biomiméticas no contexto da EC, sejam estas as descritas neste trabalho, ou novos desenvolvimentos, de modo que haja inovações de produto, processo e sistemas com maior valor ambiental agregado para todos os envolvidos, ajudando a alcançar patamares maiores de regeneração sistêmica.

A Figura 19 destaca essa progressão e gera a compreensão sobre como os sistemas ILPF se dividem em relação às suas práticas, uso de energias e materiais, vitalidade sistêmica, e sua relação com a economia circular e a biomimética.

Figura 19: Trajetória de sistemas em degeneração para sistemas em regeneração



Fonte: Autoria própria, baseado em Craft *et al.* (2017); Whal (2016) e Reed (2007). A parte de ILPF, economia circular e da biomimética foram adicionadas pela autora, para demonstrar como esses conceitos se relacionam com os sistemas que almejam a regeneração sistêmica.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa condensou e destacou as informações mais relevantes sobre como biomimética está relacionada com a economia circular, em termos conceituais, de princípios e práticos. Com base nos resultados, conclui-se que:

- A área de pesquisa que integra a biomimética à economia circular ainda está em estágio inicial, com poucas e recentes publicações;
- O conceito da economia circular e da biomimética são de natureza complementar, com possibilidades positivas de interação;
- Enquanto a economia circular é o objetivo a ser alcançado em termos de um novo modelo econômico e novos padrões de produção-consumo, a biomimética é a forma de auxiliar na superação dos desafios práticos e na mudança para uma visão mais holística entre homem-natureza, de modo que soluções mais ecológicas possam surgir e auxiliar na implementação efetiva da EC.
- Os princípios e práticas encontrados na literatura, no contexto da economia circular, são todos voltados para o contexto da manufatura. Embora possam ser aplicados aos sistemas agrícolas e setor agroindustrial, com devidas modificações, nenhum desses princípios e práticas foram desenvolvidos para auxiliar no desenvolvimento regenerativo, e circular, específico deste setor;
- Todos os princípios da EC, proposta pela Fundação Ellen MacArthur, estão relacionados com os princípios biomiméticos, chamados de Princípios da vida. Demonstrando assim, que a biomimética pode ser o meio para ajudar na implementação da economia circular, que é um sistema restaurativo e regenerativo por natureza;
- A biomimética pode auxiliar a economia circular por meio da estruturação dos sistemas produtivos e da aplicação de práticas e ferramentas para desenvolver produtos e tecnologias que mimetizam a natureza. Tanto no tocante à circularização dos nutrientes técnicos quanto de nutrientes biológicos, em ambos os casos sendo guiados pelos diferentes princípios da biomimética.
- Sistema regenerativo significam sistemas humanos co-evoluindo com sistemas ecológicos. Para que a EC seja, de fato, restaurativa e regenerativa por *design*, como definida por EMF 2013a, ela precisa atender a co-evolução sistêmica.

Isso demanda aprender com os sistemas ecológicos, que são regenerativos por natureza, sendo a biomimética o meio para isso.

Por meio desta pesquisa, portanto, foi possível discutir sobre o nível de sobreposição existentes entre a biomimética e a EC, sendo ele complementar e positivo tanto em sua teoria, quanto em sua prática, e perceber a relação desta sobreposição com o desenvolvimento de sistemas regenerativos, posteriormente exemplificado por meio do método estudo de caso.

Um aumento no interesse por uma intersecção entre esses dois temas pode ser benéfico tanto para a área da biomimética quanto da economia circular. Com isso, o presente trabalho contribui sinalizando para estas correntes de pesquisa, que se desenvolviam separadamente, novas a possibilidade de integração acadêmica e prática, fazendo com a biomimética e a economia circular atinjam seu pleno potencial e objetivo, que são a implementação de sistemas regenerativos.

Além disso, os trabalhos acerca da economia circular focam majoritariamente em soluções para nutrientes técnicos (LEIPOLD; PETIT-BOIX, 2018). Assim, ao focar em um caso inerente ao ciclo biológico, este trabalho possui adicional relevância acadêmica. Principalmente no Brasil, onde a agricultura e a biodiversidade são dois focos de reconhecimento e importância global, reforçando a importância nacional de integrar a biomimética e a economia circular em um contexto de regeneração.

Ademais, a relação entre biomimética, economia circular, sistemas ILPF ainda não havia sido explorada na literatura. Essa análise conjunta permitiu conectar informações de forma inovadora, resultando em uma compreensão mais aprofundada sobre como a biomimética pode auxiliar sistemas produtivos, como o ILPF, a transitarem para sistemas fechados, baseados na natureza e com práticas regenerativas, com valor ambiental, econômico e social agregado, como almejado pela economia circular.

Com relação às limitações da presente pesquisa, pode-se pontuar a aplicação de um estudo de caso único. Embora a EMBRAPA seja referência em sistemas ILPF no Brasil, e possua uma visão ampla do contexto atual e futuro desses sistemas no contexto nacional, visto sua atuação direta com todas as partes interessadas, um estudo de caso único limita a generalização das conclusões e as possibilidades de comparações.

Apesar dos resultados desta dissertação terem um caráter exploratório inicial, o posicionamento de sistemas ILPF frente à transição de sistemas em degeneração para sistemas em regeneração fica comprometido frente as diversas modalidades e arranjos possíveis dos

sistemas ILPF. De modo que, dependendo da espécie de cultivo/criação e outros aspectos agroecológicos, a relação entre esses arranjos e as práticas regenerativas podem variar.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a aplicação de *surveys* com diversos produtores de variados sistemas produtivos do setor agropecuário, de modo que se possa ter uma gradação comparativa, por meio de critérios pré-estabelecidos, entre esses sistemas frente à transição para modelos fechados e regenerativos. Recomenda-se, principalmente, analisar as implicações que a relação entre economia circular e biomimética traz para sistemas de permacultura, fazendo um comparativo com as atividades de ILPF, visto que a PC é um sistema de manejo permanente que apresenta uma visão holística de agricultura com uma forte carga ética e busca imitar e se integra ao máximo quanto possível às relações ecossistêmicas (CAMPANHOLA; VALARINI, 2001; STOJANOVIC, 2017).

Além disso, é importante que se verifique a aplicação prática da biomimética e da economia circular em diversas modalidades de sistemas ILPF, analisando suas diferenças, bem como os possíveis impactos positivos e negativos para todos os *stakeholders* no curto, médio e longo prazo, fazendo um comparativo com as atividades de ILPF frente ao contexto dos sistemas regenerativos. Outro passo futuro é estudar a relação de práticas biomiméticas e circulares dentro de uma abordagem de sistemas complexos e emergentes para compreender como operar os sistemas humanos de forma co-evolutiva como sistemas biológicos.

Vale ressaltar que esta pesquisa é apenas o primeiro passo na busca por uma transdisciplinaridade entre a biomimética e a economia circular, de modo que sua relação possa resultar na solução dos problemas complexos e sistêmicos que a sociedade atual está enfrentando. Espera-se que com este trabalho, pesquisadores e praticantes da economia circular e da biomimética possa perceber as oportunidades de integração entre esses conceitos.

Por fim, é necessário deixar claro que os princípios e práticas da biomimética, no contexto da EC e de sistemas regenerativos, vem para auxiliar negócios a manterem no longo prazo, onde eles não apenas não ameacem a saúde do ecossistema, mas alcancem novos patamares de desenvolvimento e benefícios mútuos, em uma relação simbiótica com a natureza. Com isso, a biomimética ensina a EC como deve ser seu metabolismo, ou seja, quais os conjuntos de atividades que devem ocorrer para que o sistema como um todo, humanos e não-humanos, continue “vivo”, se restaurando e regenerando.

REFERÊNCIA

- ADAMS, K. T. et al. Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management**, v. 170, n. 1, p. 15–24, 1 fev. 2017.
- ADAMS, R. et al. Sustainability-oriented Innovation: A Systematic Review. **International Journal of Management Reviews**, v. 18, 1 maio 2015.
- ALEXANDER, P. et al. Losses, inefficiencies and waste in the global food system. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 190–200, 1 maio 2017.
- ANTIKAINEN, M.; VALKOKARI, K. A Framework for Sustainable Circular Business Model Innovation. **Technology Innovation Management Review**, v. 6, n. 7, p. 5–12, 2016.
- ASKNATURE. **Wing scales cause light to diffract and interfere : Morpho**. Disponível em: <<https://asknature.org/strategy/wing-scales-cause-light-to-diffract-and-interfere/>>. Acesso em: 17 ago. 2019.
- AUSTIN, W.; PARK, C.; GOBLE, E. From Interdisciplinary to Transdisciplinary Research: A Case Study: **Qualitative Health Research**, 1 abr. 2008.
- BADARNAH, L.; KADRI, U. A methodology for the generation of biomimetic design concepts. **Architectural Science Review**, v. 58, n. 2, p. 120–133, 3 abr. 2015.
- BAKKER, C. A. et al. **Products That Last - product design for circular business models**. First edition edition ed. Delft: TU Delft Library/Marcel den Hollander IDRC, 2014.
- BALBINO, L. C. et al. **Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta / Reference document crop-livestock-forestry integration / editors, Luiz Carlos Balbino, Alexandre de Oliveira Barcellos, Luís Fernando Stone**. Brasília, DF: Embrapa, 2011.
- BALBINO, L. C. et al. Agricultura Sustentável por Meio da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPP). **Informações Agronômicas (BRASIL) - IPNI**, n. 138, p. 18, jun. 2012.
- BALL, P. **Life's lessons in design**. Special Features. Disponível em: </articles/35053198>. Acesso em: 3 jun. 2018.
- BAR-COHEN, Y. **Biomimetics: Biologically Inspired Technologies**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.
- BAR-COHEN, Y. Biomimetics—using nature to inspire human innovation. **Bioinspiration & Biomimetics**, v. 1, n. 1, p. P1, 2006.
- BAUMEISTER, D. **Biomimicry Handbook**. Missoula, MT, USA.: Biomimicry 3.8, 2013.
- BEHLING, M. et al. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPP). In: **Boletim de pesquisa de soja 2013/2014. Rondonópolis: Fundação MT**. [s.l: s.n.]. p. 306–325.
- BENSAUDE-VINCENT, B. et al. Chemists and the school of nature. **New Journal of Chemistry**, v. 26, n. 1, p. 1–5, 1 jan. 2002.
- BENYUS, J. M. **Biomimicry: Innovation Inspired by Nature**. New York: Morrow, 1997.
- BERMEJO, R. **Handbook for a Sustainable Economy**. [s.l.] Springer Netherlands, 2014.

BERTASSINI, A. C. **Captura de valor em uma economia circular: guia para a identificação de oportunidades de valor circular**. text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 28 set. 2018.

BHUSHAN, B. Biomimetics: lessons from nature—an overview. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 367, n. 1893, p. 1445–1486, 28 abr. 2009.

BIOLCHINI, J. et al. **Systematic Review in Software Engineering**. Rio de Janeiro: PESC, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228638363_Systematic_Review_in_Software_Engineering>. Acesso em: 14 jul. 2017.

BIOMIMICRY INSTITUTE. **What Is Biomimicry?** Disponível em: <<https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>>. Acesso em: 17 ago. 2019a.

BIOMIMICRY INSTITUTE. **Nature's Unifying Patterns**. Disponível em: <<https://toolbox.biomimicry.org/core-concepts/natures-unifying-patterns/>>. Acesso em: 23 nov. 2017b.

BLOK, V.; GREMMEN, B. Agricultural Technologies as Living Machines: Toward a Biomimetic Conceptualization of Smart Farming Technologies. **Ethics, Policy & Environment**, v. 21, n. 2, p. 246–263, 4 maio 2018.

BOCKEN, N. M. P. et al. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 5, p. 308–320, 3 jul. 2016.

BOCKEN, N. M. P. et al. Taking the Circularity to the Next Level: A Special Issue on the Circular Economy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 476–482, 1 jun. 2017.

BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision Agriculture and Sustainability. **Precision Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 359–387, 1 ago. 2004.

BONSER, R. H. C.; VINCENT, J. F. V. Technology trajectories, innovation, and the growth of biomimetics. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science**, v. 221, n. 10, p. 1177–1180, 2007.

BORRELLO, M.; LOMBARDI, A.; CEMBALO, S. P. AND L. **The Seven Challenges for Transitioning into a Bio-based Circular Economy in the Agri-food Sector**. Disponível em: <<http://www.eurekaselect.com/140182/article>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. DE A.; MACEDO, M. O MÉTODO DA REVISÃO INTEGRATIVA NOS ESTUDOS ORGANIZACIONAIS. **Gestão e Sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121–136, 2 dez. 2011.

BRANDÃO, F. S. et al. O papel do agronegócio brasileiro na redução de emissão de gases de efeito estufa (GEES). **REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE**, v. 6, n. 1, p. 84–90, 1 maio 2012.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 8001:2017 - Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://cfsd.org.uk/wp-content/uploads/2016/10/BS%208001%20FLYER%20v4.pdf>>.

BUREN, N. V. et al. Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments. **Sustainability**, v. 8, n. 7, p. 1–17, 2016.

CAMPANHOLA, C.; VALARINI, P. J. A AGRICULTURA ORGÂNICA E SEU POTENCIAL PARA O PEQUENO AGRICULTOR. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 18, n. 3, p. 69–101, 1 jan. 2001.

CAPRA, F. **A Ciência de Leonardo da Vinci**. Cultrix ed. São Paulo: [s.n.].

CARLISLE, Y. M.; MCMILLAN, E. Complex Adaptive Systems and Strategy as Learning. In: LITTLE, S. E.; GO, F. M.; POON, T. S.-C. (Eds.). **Global Innovation and Entrepreneurship: Challenges and Experiences from East and West**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 43–60.

CE100 BRASIL. **Uma economia circular no Brasil: Uma abordagem exploratória inicial**. Brasil: CE100, 2017. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/A-Circular-Economy-in-Brazil-An-initial-exploration.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

CELEP, S.; TUNC, A. O. T. O.; DÜREN, A. Z. Can Biomimicry and Managerial Concepts Come Together? **Global Business and Management Research: An International Journal**, v. 9, n. 3, p. 15, 2017.

CHAHN, J. S.; LIU, H. **Bioinspired invertebrate pest detection on standing crops**. Bioinspiration, Biomimetics, and Bioreplication VIII. **Anais...** In: BIOINSPIRATION, BIOMIMETICS, AND BIOREPLICATION VIII. International Society for Optics and Photonics, 27 mar. 2018 Disponível em: <<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10593/105930B/Bioinspired-invertebrate-pest-detection-on-standing-crops/10.1117/12.2296580.short>>. Acesso em: 18 ago. 2019

CHANDRASEKARAN, N.; RAGHURAM, G.; RAGHURAM, G. **Agribusiness Supply Chain Management**. [s.l.] CRC Press, 2014.

CNI. **Economia Circular: Oportunidades e Desafios para a Indústria Brasileira**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://portaldaindustria.com.br/publicacoes/2018/4/economia-circular-oportunidades-e-desafios-para-industria-brasileira/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

COLE, R. J. Regenerative design and development: current theory and practice. **Building Research & Information**, v. 40, n. 1, p. 1–6, 1 jan. 2012a.

COLE, R. J. Transitioning from green to regenerative design. **Building Research & Information**, v. 40, n. 1, p. 39–53, 1 jan. 2012b.

COLLIN, A. Multidisciplinary, interdisciplinary, and transdisciplinary collaboration: implications for vocational psychology. **International Journal for Educational and Vocational Guidance**, v. 9, n. 2, p. 101–110, 1 jul. 2009.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática : aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. . In: 80 CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO - CBGDP. Porto Alegre: 2011

CORDEIRO, L. A. M. et al. **Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. [s.l.] Brasília, DF: Embrapa, 2015., 2015.

CRAFT, W. et al. Development of a Regenerative Design Model for Building Retrofits. **Procedia Engineering**, International High-Performance Built Environment Conference – A Sustainable Built Environment Conference 2016 Series (SBE16), iHBE 2016. v. 180, p. 658–668, 1 jan. 2017.

DARGENT, E. **BIOMIMICRY FOR BUSINESS? A business literature and critical review of nature's principles applied to business practice, as suggested by Biomimicry for Creative Innovation.** [s.l.] University of Exeter Business School MBA 2010-2011, Setembro 2011.

DE SOUZA, V.; BLOEMHOF-RUWAARD, J.; BORSATO, M. Towards Regenerative Supply Networks: A design framework proposal. **Journal of Cleaner Production**, v. 221, p. 145–156, 1 jun. 2019.

DETANICO, F. B.; TEIXEIRA, F. G.; SILVA, T. L. K. DA. A biomimética como método criativo para o projeto de produto. **Design e Tecnologia**, v. 1, n. 02, p. 101–113, 2010.

DIAS-FILHO, M. B.; B, M. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar.** Embrapa Amazônia Oriental, , 2017. Disponível em:
<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1070416>>. Acesso em: 18 ago. 2018

DICKS, H. The Philosophy of Biomimicry. **Philosophy & Technology**, v. 29, n. 3, p. 223–243, 1 set. 2016.

DICKS, H. Environmental Ethics and Biomimetic Ethics: Nature as Object of Ethics and Nature as Source of Ethics. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 30, n. 2, p. 255–274, 1 abr. 2017.

EADIE, L.; GHOSH, T. K. Biomimicry in textiles: past, present and potential. An overview. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 8, n. 59, p. 761–775, 6 jun. 2011.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the Circular Economy 2: opportunities for the consumer goods sector.** [s.l.] EMF, 2013a. Disponível em:
<<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-2-opportunities-for-the-consumer-goods-sector>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the Circular Economy 1: economic and business rationale for an accelerated transition.** [s.l.] EMF, 2013b. Disponível em:
<<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition>>. Acesso em: 13 maio. 2018.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition.** [s.l.: s.n.]. Disponível em:
<<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>>. Acesso em: 15 ago. 2019a.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Anaerobic Digestion: The Potential of Organic Waste.** Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/news/anaerobic-digestion-the-potential-of-organic-waste>>. Acesso em: 19 ago. 2018b.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The Circular Economy In Detail.** Disponível em:
<<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail>>. Acesso em: 17 ago. 2019a.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Diagrama Sistêmico.** Disponível em:
<<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/diagrama-sistêmico>>. Acesso em: 21 nov. 2017b.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; SUN; MCKINSEY. **Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe.** [s.l.: s.n.]. Disponível em:

<<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

EL-MAHDY, D. Behavior of natural organisms as a mimicking tool in architecture. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, v. 12, n. 2, p. 214–224, 28 fev. 2017.

EL-ZEINY, R. M. A. Biomimicry as a Problem Solving Methodology in Interior Architecture. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 50, p. 502–512, 2012.

EMBRAPA. **Integração Lavoura Pecuária Floresta - ILPF**. Disponível em: <hpa>. Acesso em: 17 ago. 2019a.

EMBRAPA. **Rede ILPF - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf/rede-ilpf>>. Acesso em: 19 ago. 2019b.

EMBRAPA. **Quem somos - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/quem-somos>>. Acesso em: 17 ago. 2019c.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Circular by design - Products in the circular economy**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/circular-by-design>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

FAYEMI, P. E. et al. Biomimetics: process, tools and practice. **Bioinspiration & Biomimetics**, v. 12, n. 1, p. 011002, 23 2017.

FERENHOF, H. A.; FERNANDES, R. F. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SFF DEMYSTIFYING THE LITERATURE REVIEW AS BASIS FOR SCIENTIFIC WRITING: SSF METHOD. **Revista ACB**, v. 21, n. 3, p. 550–563, 29 dez. 2016.

FERMANIAN BUSINESS & ECONOMIC INSTITUTE. **The Global Biomimicry Efforts: An Economic Game Changer**. [s.l.] Commissioned by San Diego Zoo Global, Outubro 2010.

FERNANDES, P. **Sustentabilidade e a Economia Circular**. Disponível em: <<https://www.apcergroup.com/pt/newsroom/218/sustentabilidade-e-a-economia-circular>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

FONTELLES, M. J. et al. **METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTÍFICA: DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE UM PROTOCOLO DE PESQUISA**.

FRANCA, T. J. F.; SILVA, J. R. DA. O SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (ILPF) NO ESTADO DE SÃO PAULO. **Informações Econômicas**, v. 47, n. 1, p. 17, 2017.

FRANKELIUS, P.; NORRMAN, C.; JOHANSEN, K. Agricultural Innovation and the Role of Institutions: Lessons from the Game of Drones. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, 29 dez. 2017.

FROSCH, R. A.; GALLOPOULOS, N. E. Strategies for Manufacturing. **Scientific American**, v. 261, p. 144–152, 1 set. 1989.

GALLAUD, D.; LAPERCHE, B. **Circular Economy, Industrial Ecology and Short Supply Chain: Towards Sustainable Territories**. USA/UK: Wiley-ISTE, 2016.

GAMAGE, A. U. Exploring a Biomimicry Approach to Enhance Ecological Sustainability in Architecture. 2 out. 2014.

- GEISENDORF, S.; PIETRULLA, F. The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition. **Thunderbird International Business Review**, v. 60, n. 5, p. 771–782, 2018.
- GEISSDOERFER, M. et al. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? 1 fev. 2017.
- GEJDOŠ, M. et al. Balcony cultivator: New biomimicry design approach in the sustainable device. **Futures**, v. 98, p. 32–40, 1 abr. 2018.
- GENG, Y.; DOBERSTEIN, B. Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving “leapfrog development”. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 15, n. 3, p. 231–239, 1 jun. 2008.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.
- GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, Towards Post Fossil Carbon Societies: Regenerative and Preventative Eco-Industrial Development. v. 114, n. Supplement C, p. 11–32, 15 fev. 2016.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOLDSTEIN, G. S.; GRONBERG, T. J. Economies of scope and economies of agglomeration. **Journal of Urban Economics**, v. 16, n. 1, p. 91–104, 1 jul. 1984.
- GOLDSTEIN, J.; JOHNSON, E. Biomimicry: New Natures, New Enclosures. **Theory, Culture & Society**, v. 32, n. 1, p. 61–81, 2015.
- GREEN, B. N.; JOHNSON, C. D.; ADAMS, A. Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade. **Journal of Chiropractic Medicine**, v. 5, n. 3, p. 101–117, 2006.
- HELBING, D. et al. Biologistics and the struggle for efficiency: concepts and perspectives. **Advances in Complex Systems**, v. 12, n. 06, p. 533–548, 1 dez. 2009.
- HERRMANN, P. Integração é a palavra que rege o futuro. p. 1, 2013.
- HESSELBERG, T. Biomimetics and the case of the remarkable ragworms. **Die Naturwissenschaften**, v. 94, n. 8, p. 613–621, ago. 2007.
- HIRAKURI, M. H. et al. **Sistemas de Produção: conceitos e definições no contexto agrícola** Embrapa Soja, , Setembro 2012.
- HOFSTRA, N.; HUISINGH, D. Eco-innovations characterized: a taxonomic classification of relationships between humans and nature. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 459–468, 1 mar. 2014.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 18458:2015(en) Biomimetics — Terminology, concepts and methodology**. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18458:ed-1:v1:en>>. Acesso em: 22 nov. 2017.
- IPCC. **Climate Change and Land**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/srccl/>>. Acesso em: 18 ago. 2018.
- IVANIĆ, K.-Z.; TADIĆ, Z.; OMAZIĆ, M. A. BIOMIMICRY – AN OVERVIEW. **The holistic approach to environment**, v. 5, n. 1, p. 19–36, 1 mar. 2015.

JABBOUR, A. B. L. DE S. et al. Circular economy business models and operations management. **Journal of Cleaner Production**, v. 235, p. 1525–1539, 20 out. 2019.

JACKSON, M. C. **Systems Thinking: Creative Holism for Managers**. Inglaterra: John Wiley&Sons Ltd, 2003.

JACOBS, S. Biomimetics: a simple foundation will lead to new insight about process. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, v. 9, n. 2, p. 83–94, 30 jun. 2014.

JENKIN, S.; ZARI, M. P. **Rethinking our built environments: Towards a sustainable future** Ministry for the Environment, , 2009. Disponível em: <https://www.academia.edu/9583610/Rethinking_our_built_environments_Towards_a_sustainable_future>. Acesso em: 16 ago. 2018

JURGILEVICH, A. et al. Transition towards Circular Economy in the Food System. **Sustainability**, v. 8, n. 1, p. 69, jan. 2016.

KAISER, M. K.; FARZANEH, H. H.; LINDEMANN, U. **BIOscrabble - Extraction of Biological Analogies out of Large Text Sources**. 2013

KALMYKOVA, Y.; SADAGOPAN, M.; ROSADO, L. Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools. **Resources, Conservation and Recycling**, 23 nov. 2017.

KARLSSON, C. **Researching Operations Management**. [s.l.] Routledge, 2010.

KINOSHITA, S.; YOSHIOKA, S. Structural Colors in Nature: The Role of Regularity and Irregularity in the Structure. **ChemPhysChem**, v. 6, n. 8, p. 1442–1459, 2005.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221–232, 2017.

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. UK/Austrália: Software Engineering Group Department of Computer Science and Empirical Software Engineering National ICT Australia Ltd, 2004. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

KORHONEN, J. et al. Circular economy as an essentially contested concept. **Journal of Cleaner Production**, v. 175, p. 544–552, 20 fev. 2018.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. **Ecological Economics**, v. 143, p. 37–46, 1 jan. 2018.

KORHONEN, J.; SEAGER, T. P. Beyond eco-efficiency: a resilience perspective. **Business Strategy and the Environment**, v. 17, n. 7, p. 411–419, 2008.

KULFAN, B. M. **Paleoaerodynamic exploration of the evolution of nature's flyers and man's aircraft and options for future technology innovations**. . In: PROCEEDINGS OF SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING. 2009

LAKHTAKIA, A.; MARTÍN-PALMA, R. J. **Engineered Biomimicry**. [s.l.] Elsevier, 2013.

LARRICK, S. **A Living Systems Model for Assessing and Promoting the Sustainability of Communities**. . In: ANNUAL MEETING OF THE COMMUNITY DEVELOPMENT SOCIETY. Atenas:

jun. 1997Disponível em: <http://archive.org/details/ERIC_ED417338>. Acesso em: 17 ago. 2019

LEIPOLD, S.; PETIT-BOIX, A. The circular economy and the bio-based sector - Perspectives of European and German stakeholders. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 1125–1137, 10 nov. 2018.

LENAU, T. A.; METZE, A.-L.; HESSELBERG, T. **Paradigms for biologically inspired design. Bioinspiration, Biomimetics, and Bioreplication VIII. Anais...** In: BIOINSPIRATION, BIOMIMETICS, AND BIOREPLICATION VIII. International Society for Optics and Photonics, 27 mar. 2018Disponível em: <<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10593/1059302/Paradigms-for-biologically-inspired-design/10.1117/12.2296560.short>>. Acesso em: 15 ago. 2019

LEPORA, N. F.; VERSCHURE, P.; PRESCOTT, T. J. The state of the art in biomimetics. **Bioinspiration & Biomimetics**, v. 8, n. 1, p. 013001, jan. 2013.

LEVIN, S. A. Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems. **Ecosystems**, v. 1, n. 5, p. 431–436, 1998.

LEVY, Y.; ELLIS, T. J. A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science Journal**, v. 9, p. 181–212, 2006.

LEWANDOWSKI, M. Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework. **Sustainability**, v. 8, n. 1, p. 43, jan. 2016.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 36–51, 1 mar. 2016.

LIU, J. et al. Systems integration for global sustainability. **Science**, v. 347, n. 6225, p. 1258832, 27 fev. 2015.

LURIE-LUKE, E. Product and technology innovation: What can biomimicry inspire? **Biotechnology Advances**, v. 32, n. 8, p. 1494–1505, 1 dez. 2014.

MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. Integração lavoura-pecuária-floresta. 1. Estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária. 2011.

MANG, P.; REED, B. Regenerative Development and Design. In: MEYERS, R. A. (Ed.). . **Encyclopedia of Sustainability Science and Technology**. New York, NY: Springer New York, 2012. p. 8855–8879.

MARTIN-MARTINEZ, F. J. et al. The Rise of Hierarchical Nanostructured Materials from Renewable Sources: Learning from Nature. **ACS Nano**, v. 12, n. 8, p. 7425–7433, 28 ago. 2018.

MASCARENHAS, M. P. V.; COSTA, C. DOS A. F. Responsabilidade Social e Ambiental das Empresas. Uma perspectiva sociológica. **Latitude**, v. 5, n. 2, 16 maio 2018.

MASI, D. et al. Towards a more circular economy: exploring the awareness, practices, and barriers from a focal firm perspective. **Production Planning & Control**, v. 29, n. 6, p. 539–550, 26 abr. 2018.

MATHEWS, F. Towards a deeper philosophy of biomimicry. **Organization and Environment**, v. 24, n. 4, p. 364–387, 2011.

- MEAD, T.; JEANRENAUD, S. The elephant in the room: biomimetics and sustainability? **Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials**, v. 6, n. 2, p. 113–121, 12 jan. 2017.
- MEAD, T. L. Biologically-Inspired innovation in large companies: a path for corporate participation in biophysical systems? **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, v. 9, n. 3, p. 216–229, 30 set. 2014.
- MENDOZA, J. M. F. et al. Integrating Backcasting and Eco-Design for the Circular Economy: The BECE Framework. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 526–544, 2017.
- MERLI, R.; PREZIOSI, M.; ACAMPORA, A. How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 703–722, 20 mar. 2018.
- MESTRE, A.; COOPER, T. Circular Product Design. A Multiple Loops Life Cycle Design Approach for the Circular Economy. **The Design Journal**, v. 20, n. sup1, p. S1620–S1635, 28 jul. 2017.
- MITTERMEIER, R. A. et al. Wilderness and biodiversity conservation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 18, p. 10309–10313, 2 set. 2003.
- MOREIRA, W. Revisão de literatura e desenvolvimento científico: conceitos e estratégias para confecção. **Janus**, v. 1, n. 1, 24 out. 2008.
- MORRIS, J. et al. **Biology: How Life Works - Standalone book**. Second edition ed. New York, NY: W. H. Freeman, 2015.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, fev. 2000.
- NEVES, J. C. L.; FRANCKE, I. C. M. Creative product design using biomimetics. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 160, p. 149–155, 2012.
- NKANDU, M. I.; ALIBABA, H. Z. Biomimicry as an Alternative Approach to Sustainability. **Architecture Research**, v. 8, n. 1, p. 1–11, 2018.
- PALUMICKAITĖ, J.; MAKSVYTIENĖ, I. **Economy Scale Impact on the Enterprise Competitive Advantages**. 2015
- PANZAR, J. C.; WILLIG, R. D. Economies of Scope. **The American Economic Review**, v. 71, n. 2, p. 268–272, 1981.
- PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural Resources and the Environment**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1989.
- PHEIFER, A. G. **BARRIERS & ENABLERS to Circular Business Models**. [s.l.] ValueC, Abril 2017.
- PLESSIS, C. DU; COLE, R. J. **Motivating change : shifting the paradigm**. 2013
- POLLARD, S. J. T. et al. **The Circular Economy - a Reappraisal of the “Stuff” We Love**. Disponível em: </paper/The-Circular-Economy-a-Reappraisal-of-the-“Stuff”-Pollard-Turney/aec833e238a99c4bba2208c2ce4cddf2de6148e6>. Acesso em: 15 ago. 2019.
- POMPONI, F.; MONCASTER, A. Circular economy for the built environment: A research framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, n. Supplement C, p. 710–718, 1 fev. 2017.

POWELL, W. W.; SNELLMAN, K. The Knowledge Economy. **Annual Review of Sociology**, v. 30, n. 1, p. 199–220, 2004.

PRESTON, F. A Global Redesign? Shaping the Circular Economy. p. 20, 2012.

PRIETO-SANDOVAL, V.; JACA, C.; ORMAZABAL, M. Towards a consensus on the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 605–615, 1 abr. 2018.

PRINCETON UNIVERSITY. **WordNet | A Lexical Database for English**. Disponível em: <<https://wordnet.princeton.edu/>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

REAP, J. J.; BAUMEISTER, D.; BRAS, B. **HOLISM, BIOMIMICRY AND SUSTAINABLE ENGINEERING**. Disponível em: </paper/HOLISM%2C-BIOMIMICRY-AND-SUSTAINABLE-ENGINEERING-Reap-Baumeister/5cd4bb2011161d2105cd49789643910f1b06c1e2d>. Acesso em: 15 ago. 2019.

REED, B. Shifting from ‘sustainability’ to regeneration. **Building Research & Information**, v. 35, n. 6, p. 674–680, 1 nov. 2007.

REIKE, D.; VERMEULEN, W. J. V.; WITJES, S. The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. **Resources, Conservation and Recycling**, Sustainable Resource Management and the Circular Economy. v. 135, p. 246–264, 1 ago. 2018.

RHODES, C. J. The imperative for regenerative agriculture. **Science Progress**, v. 100, n. 1, p. 80–129, 1 mar. 2017.

RIDLEY, D. **The Literature Review: A Step-by-Step Guide for Students**. 2 edition ed. Los Angeles: SAGE Publications Ltd, 2012.

RITZÉN, S.; SANDSTRÖM, G. Ö. Barriers to the Circular Economy – Integration of Perspectives and Domains. **Procedia CIRP**, 9th CIRP IPSS Conference: Circular Perspectives on PSS. v. 64, p. 7–12, 1 jan. 2017.

RIZOS, V. et al. Implementation of Circular Economy Business Models by Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs): Barriers and Enablers. **Sustainability**, v. 8, n. 11, p. 1212, nov. 2016.

ROWLAND, R. Biomimicry step-by-step. **Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials**, v. 6, n. 2, p. 102–112, 2016.

RYAN, C. O. et al. BIOPHILIC DESIGN PATTERNS: Emerging Nature-Based Parameters for Health and Well-Being in the Built Environment. **International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR**, v. 8, n. 2, p. 62–76, 12 jul. 2014.

SADEGHI, A. et al. A plant-inspired robot with soft differential bending capabilities. **Bioinspiration & Biomimetics**, v. 12, n. 1, p. 015001, 20 2016.

SAITO, A. Material design and structural color inspired by biomimetic approach. **Science and Technology of Advanced Materials**, v. 12, n. 6, p. 064709, dez. 2011.

SARIATLI, F. Linear Economy Versus Circular Economy: A Comparative and Analyzer Study for Optimization of Economy for Sustainability. **Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development**, v. 6, n. 1, p. 31–34, 24 maio 2017.

SIMPSON, T. W.; SIDDIQUE, Z.; JIAO, R. J. (EDS.). **Product Platform and Product Family Design: Methods and Applications**. [s.l.] Springer US, 2006.

SKENE, K. R. **Circles, spirals, pyramids and cubes: why the circular economy cannot work**. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11625-017-0443-3>>. Scopus.

SMITH, P. et al. Chapter 11 - Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. IPCC Working Group III Contribution to AR5**. [s.l.] Cambridge University Press, 2014.

SPECK, O. et al. Biomimetic bio-inspired biomorph sustainable? An attempt to classify and clarify biology-derived technical developments. **Bioinspiration & Biomimetics**, v. 12, n. 1, p. 011004, 2017.

STAHEL, W. R. Policy for material efficiency—sustainable taxation as a departure from the throwaway society. **Phil. Trans. R. Soc. A**, v. 371, n. 1986, p. 20110567, 13 mar. 2013.

STO. **Facade Paints | Sto Ltd**. Disponível em: <[/en/products/facade-finishes/facade-paint/facade-paints.html](https://www.sto.com/en/products/facade-finishes/facade-paint/facade-paints.html)>. Acesso em: 17 ago. 2019.

STO BRASIL. **StoCoat Lotusan 80217Sto Brasil**, 2017. Disponível em: <<https://stobrasil.com.br/produtos/tintas/stocoat-lotusan-80217/>>. Acesso em: 17 ago. 2019

STOJANOVIC, M. Biomimicry in Agriculture: Is the Ecological System-Design Model the Future Agricultural Paradigm? **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, 22 nov. 2017.

TATE, W. L. et al. Seeing the forest and not the trees: Learning from nature's circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 149, p. 115–129, 1 out. 2019.

TERRIER, P.; GLAUS, M.; RAUFFLET, E. BiomiMETRIC Assistance Tool: A Quantitative Performance Tool for Biomimetic Design. **Biomimetics (Basel, Switzerland)**, v. 4, n. 3, 10 jul. 2019.

THEROND, O. et al. A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 3, p. 21, 6 jun. 2017.

TOLEDO, J. C. DE; BATALHA, M. O.; AMARAL, D. C. Qualidade na indústria agroalimentar: situação atual e perspectivas. **Revista de Administração de Empresas**, v. 40, n. 2, p. 90–101, jun. 2000.

TOOP, T. A. et al. AgroCycle – developing a circular economy in agriculture. **Energy Procedia**, Proceedings of 1st International Conference on Sustainable Energy and Resource Use in Food Chains including Symposium on Heat Recovery and Efficient Conversion and Utilisation of Waste Heat ICSEF 2017, 19-20 April 2017, Windsor UK. v. 123, p. 76–80, 1 set. 2017.

TUKKER, A. Product services for a resource-efficient and circular economy – a review. **Journal of Cleaner Production**, Special Volume: Why have 'Sustainable Product-Service Systems' not been widely implemented? v. 97, p. 76–91, 15 jun. 2015.

UNRUH, G. **Earth, Inc.: Using Nature's Rules to Build Sustainable Profits**. Boston, Mass: Harvard Business Review Press, 2010.

UNRUH, G. Circular Economy, 3D Printing, and the Biosphere Rules. **California Management Review**, v. 60, n. 3, p. 95–111, 1 maio 2018.

- VINCENT, J. TRIZ as a Primary Tool for Biomimetics. In: CHECHURIN, L. (Ed.). **Research and Practice on the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ): Linking Creativity, Engineering and Innovation**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 225–235.
- VINCENT, J. F. V. et al. Biomimetics: its practice and theory. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 3, n. 9, p. 471–482, 22 ago. 2006.
- VOLSTAD, N. L.; BOKS, C. On the use of Biomimicry as a Useful Tool for the Industrial Designer. **Sustainable Development**, v. 20, n. 3, p. 189–199, 1 maio 2012.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, 1 fev. 2002.
- WAHL, D. C. **Designing Regenerative Cultures**. Axminster, England: Triarchy Press Ltd, 2016.
- WALMSLEY, T. G. et al. Circular Integration of processes, industries, and economies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 107, p. 507–515, 1 jun. 2019.
- WANIECK, K. et al. Biomimetics and its tools. 2017.
- WBCSD. **The new big circle**. Disponível em: <<https://www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Factor-10/Resources/The-new-big-circle>>. Acesso em: 15 ago. 2019.
- WEBSTER, K. What Might We Say about a Circular Economy? Some Temptations to Avoid if Possible. **World Futures**, v. 69, n. 7–8, p. 542–554, 17 nov. 2013.
- WEVER, R.; VOGTLÄNDER, J. Design for the value of sustainability. In: **Handbook of Ethics, Values, and Technological Design: Sources, Theory, Values and Application Domains**. [s.l.: s.n.]. p. 513–549.
- YANG, H. **Design for Transition to a Circular Economy**. Cross-Cultural Design. **Anais...: Lecture Notes in Computer Science**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CROSS-CULTURAL DESIGN. Springer, Cham, 17 jul. 2016 Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-40093-8_79>. Acesso em: 14 jul. 2017
- YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- ZARI, M. P. **BIOMIMETIC APPROACHES TO ARCHITECTURAL DESIGN FOR INCREASED SUSTAINABILITY**. New Zealand: 2007
- ZARI, M. P. **Ecosystem Services Analysis for the Design of Regenerative Urban Built Environments**. New Zealand: Victoria University of Wellington, 2012.
- ZARI, M. P. Ecosystem processes for biomimetic architectural and urban design. **Architectural Science Review**, v. 58, n. 2, p. 106–119, 3 abr. 2015.
- ZARI, M. P.; STOREY, J. B. An ecosystem based biomimetic theory for a regenerative built environment. p. 1–8, 2007.
- ZHANG, F. et al. Biomimetic walking mechanisms: Kinematic parameters of goats walking on different slopes. **Concurrency and Computation: Practice and Experience**, v. 30, n. 24, p. e4913, 2018.
- ZHANG, M. et al. Lotus effect in wetting and self-cleaning. **Biotribology**, v. 5, p. 31–43, 1 mar. 2016.

ZHIJUN, Z.; HONGLEI, J.; JIYU, S. Review of application of biomimetics for designing soil-engaging tillage implements in Northeast China. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 9, n. 4, p. 12–21, 31 jul. 2016.

ZINK, T.; GEYER, R. Circular Economy Rebound. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 593–602, 2017.

ZYLBERSZTAJN, D. Agribusiness systems analysis: origin, evolution and research perspectives. **Revista de Administração**, v. 52, n. 1, p. 114–117, 1 jan. 2017.

APÊNDICE A – FILTRAGEM E RESULTADOS DA RBS

Os artigos que foram considerados como resultado final nesta pesquisa estão destacados em negrito.

Base de dados	Autor	Título	Fonte	Critérios de exclusão
WoS	Kubler, S; Rondeau, E; Georges, JP; Mutua, PL; Chinnici, M	Benefit-cost model for comparing data center performance from a biomimicry perspective	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	2
WoS	Asciuto, A; Schimmenti, E; Cottone, C; Borsellino, V	A financial feasibility study of an aquaponic system in a Mediterranean urban context	URBAN FORESTRY & URBAN GREENING	2
WoS	Morris, JP; Backeljau, T; Chapelle, G	Shells from aquaculture: a valuable biomaterial, not a nuisance waste product	REVIEWS IN AQUACULTURE	2
WoS	Geisendorf, S; Pietrulla, F	The circular economy and circular economic concepts a literature analysis and redefinition	THUNDERBIRD INTERNATIONAL BUSINESS REVIEW	
WoS	Unruh, G	Circular Economy, 3D Printing, and the Biosphere Rules	CALIFORNIA MANAGEMENT REVIEW	
WoS	Skene, KR	Circles, spirals, pyramids and cubes: why the circular economy cannot work	SUSTAINABILITY SCIENCE	
WoS	Mendoza, JMF; Sharmina, M; Gallego-Schmid, A; Heyes, G; Azapagic, A	Integrating Backcasting and Eco-Design for the Circular Economy The BECE Framework	JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY	
WoS	Browaeyns, D	The living as inspiration to rebuild innovation, economy and democratic consistency	VIE ET LE VIVANT: DE NOUVEAUX DEFIS A RELEVER DANS L'EDUCATION	1
Scopus	Tate, W.L., Bals, L., Bals, C., Foerstl, K.,	Seeing the forest and not the trees: Learning from nature's circular economy	Resources, Conservation and Recycling	
Scopus	Asciuto, A., Schimmenti, E., Cottone, C., Borsellino, V.,	A financial feasibility study of an aquaponic system in a Mediterranean urban context	Urban Forestry and Urban Greening	1
Scopus	Morris, J.P., Backeljau, T., Chapelle, G.,	Shells from aquaculture: a valuable biomaterial, not a nuisance waste product	Reviews in Aquaculture	1
Scopus	Geisendorf, S., Pietrulla, F.,	The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition	Thunderbird International Business Review	1
Scopus	Unruh, G.	Circular Economy, 3D Printing, and the Biosphere Rules	California Management Review	1

Scopus	Gao, M., Pan, S.-Y., Chen, W.-C., Chiang, P.-C.,	A cross-disciplinary overview of naturally derived materials for electrochemical energy storage	Materials Today Energy	2
Scopus	Edgeman, R.,	Urgent evolution: excellence and wicked Anthropocene Age challenges	Total Quality Management and Business Excellence	2
Scopus	Taylor, C., Sours, A.N.S.,	Materials stewardship: A framework for managing and preserving materials in the circular economy	NACE - International Corrosion Conference Series	2
Scopus	Skene, K.R.,	Circles, spirals, pyramids and cubes: why the circular economy cannot work	SUSTAINABILITY SCIENCE	1
Scopus	Skene, K.R.,	Circles, spirals, pyramids and cubes: why the circular economy cannot work	SUSTAINABILITY SCIENCE	1
Scopus	Aberkane, I.J.,	From waste to kwaste: On the blue economy in terms of knowledge flow	Springer Proceedings in Complexity	2
Scopus	Iannuzzi, A.,	Greener products: The making and marketing of sustainable brands, second edition	<i>Greener Products: The Making and Marketing of Sustainable Brands, Second Edition</i>	2
Scopus	Wever, R., Vogtländer, J.,	Design for the value of sustainability	Handbook of Ethics, Values, and Technological Design: Sources, Theory, Values and Application Domain	
Scopus	Bermejo, R.,	Handbook for a sustainable economy	Handbook for a sustainable economy	

APÊNDICE B – PROTOCOLO DO ESTUDO DE CASO

Objetivo do estudo de caso

Obter dados objetivos e subjetivos sobre sistemas ILPF, e sua relação com os conceitos e práticas da economia circular e da biomimética. Com isso, pode-se refinar a relação teórica proposta. Ademais, busca-se compreender como a entender os desafios práticos e atuais que estes sistemas estão enfrentando, de modo que a teoria analisada possa ser expandida, caso necessário.

Procedimentos para coleta dos dados

Fonte de dados	Entrevista semiestruturada, sendo que alguns dados foram ser obtidos via e-mail ou telefone; Sites e documentos elaborados pela EMBRAPA; Estudos em ILPF redigidos por especialistas, citados pela EMBRAPA;
Tempo estimado da entrevista	1h30min
Nome da organização:	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)
Relevância da organização no setor:	É uma empresa de inovação tecnológica focada na geração de conhecimento e tecnologia para agropecuária brasileira, criada em 1973, e vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (EMBRAPA, 2019c). Em 2013, estruturou o Portfólio de ILPF para mapear e apoiar a organização, geração, integração e disseminação do conhecimento e das tecnologias ILPF. Já implementou, junto com parceiro, 192 Unidades de Referência Tecnológica em todo território nacional (EMBRAPA, 2019c).
Local da entrevista:	Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, São Paulo
Data da entrevista:	04/04/2019
Entrevistados:	Pesquisador de fertilidade do solo - Embrapa Pecuária Sudeste Pesquisador de gestão de cadeias produtivas - Embrapa Pecuária Sudeste
Registro dos dados	Os dados foram documentados em um bloco de anotação

Questões da entrevista semiestruturada

Seguindo o modelo funil (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002), a entrevista semiestruturada começou com questionamentos mais amplos, descritos neste protocolo, que direcionaram a entrevista para perguntas mais específicas ao longo da conversa

- O sistema de ILPF imita a natureza? Como?
- Como o ILPF está interligado aos princípios da economia circular?
- Quais são os benefícios do ILPF?
- Quais são as práticas utilizadas em um sistema de ILPF?
- Como é o cenário brasileiro atual para a implementação da ILPF?
- Quais são as oportunidades e barreiras de sua implementação?

Guia para compartilhamento dos dados

Os dados obtidos nas entrevistas serão utilizados como parte dos resultados desta dissertação e poderão fazer parte de publicação em revistas de relevância na área. Os dados serão submetidos à EMBRAPA para validação e autorização de sua publicação em periódicos nacionais e internacionais.