

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Modelo de Referência para Desenvolvimento de Produtos no Setor de Embalagens Plásticas com Foco na Economia Circular

Paulo Henrique Paulista

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira Mello

Co-Orientadora: Profa. Dra. Jeniffer de Nadae

ITAJUBÁ, ABRIL DE 2026

Tese de Doutorado



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Paulo Henrique Paulista

**Modelo de Referência para Desenvolvimento
de Produtos no Setor de Embalagens Plásticas
com Foco na Economia Circular**

Abril de 2026
Itajubá-MG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Paulo Henrique Paulista

**Modelo de Referência para Desenvolvimento
de Produtos no Setor de Embalagens Plásticas
com Foco na Economia Circular**

Tese submetida ao programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção como parte dos
requisitos para defesa e obtenção do Título de
Doutor em Ciências em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Carlos H. P. Mello

Coorientador: Profa. Dra. Jeniffer de Nadae

Abril de 2026

Itajubá-MG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Paulo Henrique Paulista

**Modelo de Referência para Desenvolvimento de
Produtos no Setor de Embalagens Plásticas com
Foco na Economia Circular**

Tese aprovada por banca examinadora em 04 de maio de 2026,
conferindo ao autor o título de Mestre ou Doutor em Ciências em
Engenharia de Produção.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira Mello (Orientador)

Profa. Dra. Jeniffer de Nadae (Co-orientadora)

Prof. Dra. Juliana Helena Daroz Gaudencio (Avaliadora interna)

Profa. Dr. Carlos Eduardo Sanches da Silva (Avaliador interno)

Prof. Dra. Graziela Darla Araujo Galvão (Avaliadora externa)

Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro (Avaliador externo)

Abril de 2026

Itajubá-MG

Dedicatória

Dedico mais esta conquista à minha amada esposa Elizângela que sempre está do meu lado em todos os momentos me dando forças e me ajudando; aos pais Renato e Imaculada pelo apoio dado; aos meus irmãos Renato e Gleice pelos incentivos; e a todos os meus familiares pela confiança depositada.

Agradecimentos

Primeiramente, a Deus por ter permitido chegar até aqui, por estar sempre presente em minha vida, por não ter me deixado desanimar nas horas difíceis.

A minha esposa Elizângela Aparecida de Carvalho Paulista por ter tido paciência, compreensão e palavras de incentivo durante todo esse período.

A minha Família, meu pai Renato Siqueira Paulista, minha mãe Maria Imaculada Paulista, meus irmãos Renato Cesar Paulista e Gleice Helena Paulista, que me incentivaram e apoiaram sempre que precisei.

Ao meu orientador Professor Dr. Carlos Henrique Pereira Mello pela confiança, apoio, dedicação, orientação e pela sua amizade.

A professora Dra. Jeniffer de Nade que ajudou e dedicou-se na coorientação do trabalho.

Aos professores que participaram da banca de qualificação e avaliação da tese que contribuíram com sugestões importantes e significativas.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá.

Aos meus colegas do programa de Pós-Graduação que percorreram todo o processo junto comigo e aqueles que de alguma forma colaboraram por mais essa conquista.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo financeiro.

Aos profissionais entrevistados das duas empresas que tiveram tempo para cooperar para o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos, que direta e indiretamente, estiveram presentes neste trabalho.

Resumo

A grande maioria das empresas atualmente opera em um sistema de economia linear, no qual a produção, o consumo e o descarte são os pilares fundamentais de seus modelos de negócios. Esse sistema tradicional frequentemente não leva em consideração a regeneração de recursos. No entanto, a economia circular surge como uma abordagem que desafia esse paradigma ao priorizar a sustentabilidade, a redução do desperdício e a manutenção de produtos, materiais e recursos em uso pelo maior tempo possível. Diante desse cenário de transição para a economia circular, as empresas enfrentam o desafio de reformular seus processos de desenvolvimento de produtos, uma vez que os produtos precisam nascer circulares. Esse desafio se torna particularmente relevante no setor de embalagens plásticas, caracterizado pelo elevado consumo de materiais virgens, pela curta vida útil funcional dos produtos e pelos significativos impactos ambientais associados ao descarte inadequado. Embora diversos setores industriais apresentem modelos específicos de processo de desenvolvimento de produtos, muitos desses modelos ainda não integram de forma sistemática os princípios da Economia Circular. Nesse contexto, esta tese propõe e valida um modelo de referência para o desenvolvimento de embalagens plásticas com foco na economia circular, estruturado a partir da lógica Stage-Gate de Cooper e integrado a práticas, ferramentas e critérios de Economia Circular ao longo do Processo de Desenvolvimento de Produto. O modelo operacionaliza a circularidade no PDP ao incorporar decisões relacionadas à redução de material, utilização de conteúdo reciclado pós-consumo (PCR), design para reciclagem, reutilização, desmontagem, rastreabilidade, logística reversa e indicadores pós-lançamento. O desenvolvimento do modelo foi fundamentado em um estudo abrangente sobre os princípios da economia circular e sobre práticas de desenvolvimento de produtos. Para validar sua adequação e aplicabilidade, foi adotado o método de estudo de caso, com a análise de duas empresas do setor de embalagens plásticas selecionadas com base em critérios previamente definidos para assegurar a representatividade do segmento. A coleta de dados foi realizada por meio de questionário estruturado, elaborado especificamente para captar informações relacionadas às práticas de economia circular ao longo das diferentes etapas do processo de desenvolvimento de produtos. A análise dos casos permitiu avaliar o grau de incorporação dos princípios da economia circular nas empresas estudadas, identificar convergências, limitações e oportunidades de aprimoramento, bem como verificar a aderência do modelo proposto ao contexto industrial analisado. Os resultados evidenciam que a circularidade não pode ser incorporada de forma tardia ou pontual, mas deve ser concebida desde as fases iniciais do desenvolvimento. Como principal contribuição científica e aplicada, a tese apresenta um modelo de referência validado para o desenvolvimento de embalagens plásticas circulares, contribuindo para reduzir a lacuna entre os princípios conceituais da Economia Circular e sua operacionalização prática no Processo de Desenvolvimento de Produto.

Palavras-chave: Economia Circular; Processo de Desenvolvimento de Produto; Produtos Circulares; Stage-Gate.

Abstract

The vast majority of companies currently operate within a linear economy framework, where production, consumption, and disposal constitute the fundamental pillars of their business models. This traditional system frequently overlooks resource regeneration. Conversely, the circular economy emerges as an approach that challenges this paradigm by prioritizing sustainability, waste reduction, and the retention of products, materials, and resources in use for as long as possible. Facing this transition toward a circular economy, companies are challenged to redesign their product development processes, as products must be "born circular." This challenge becomes particularly relevant in the plastic packaging sector, which is characterized by high consumption of virgin materials, short functional product lifespans, and significant environmental impacts associated with improper disposal. Although various industrial sectors present specific product development process models, many of these frameworks still do not systematically integrate Circular Economy principles. In this context, this thesis proposes and validates a reference model for plastic packaging development focused on the circular economy, structured around Cooper's Stage-Gate logic and integrated with Circular Economy practices, tools, and criteria throughout the Product Development Process (PDP). The model operationalizes circularity within the PDP by incorporating decisions related to material reduction, the use of post-consumer recycled (PCR) content, design for recycling, reuse, disassembly, traceability, reverse logistics, and post-launch indicators. The development of the model was grounded in a comprehensive study of circular economy principles and product development practices. To validate its suitability and applicability, a case study methodology was adopted, analyzing two companies within the plastic packaging sector selected based on predefined criteria to ensure segment representativeness. Data collection was conducted through a structured questionnaire, specifically designed to capture information regarding circular economy practices across the different stages of the product development process. The cross-case analysis allowed for an assessment of the degree to which circular economy principles are incorporated within the studied companies, identifying convergences, limitations, and opportunities for improvement, as well as verifying the adherence of the proposed model to the analyzed industrial context. The results demonstrate that circularity cannot be integrated late or in an ad-hoc manner; rather, it must be conceived from the early stages of development. As its main scientific and applied contribution, this thesis presents a validated reference model for the development of circular plastic packaging, helping to bridge the gap between the conceptual principles of the Circular Economy and their practical operationalization within the Product Development Process.

Keywords: Circular Economy; Product Development Process; Circular Products; Stage-Gate.

Lista de Figuras

Figura 1: Distribuição do valor bruto da produção das embalagens.....	17
Figura 2: Evolução do pensamento da economia circular	27
Figura 3: Ciclo da economia circular	31
Figura 4: Diagrama do sistema de economia circular	33
Figura 5: Modelo <i>Stage-Gate</i> proposto por Cooper	72
Figura 6: Modelo de PDP proposto por Rozenfeld	74
Figura 7: <i>Design</i> e desenvolvimento de produtos.	75
Figura 8: Abordagem de <i>design</i> de produto baseada na experiência do usuário	77
Figura 9: Método de <i>design</i> verde considerando os três DNAs Verdes	80
Figura 10: Fatores de produtos circular nas fases de PDP	81
Figura 11: Etapas do método de PDP e planilha de mapeamento	85
Figura 12: Proposta de modelo de negócio sustentável.....	93
Figura 13: Estratégias de modelos de negócios circulares	96
Figura 14: Modelo de PDP proposto para embalagens.....	100
Figura 15: Exemplo de um CFD para o setor de embalagens.....	110
Figura 16: Relação dos produtos com as estratégias de EC	112
Figura 17: Formulário de produto com as estratégias de EC incorporadas	114
Figura 18: Atividades do Método de Estudo de Caso	124
Figura 19: Modelo de PDP ajustado depois das análises	203
Figura 20: Atividades da etapa de descoberta	204
Figura 21: Atividades do estágio de escopo.....	205
Figura 22: Atividades do estágio plano de negócio	208
Figura 23: Atividades do estágio desenvolvimento	209
Figura 24: Atividades do estágio de teste e validação	210
Figura 25: Atividades do estágio de lançamento.....	212
Figura 26: Atividades do estágio de revisão pós-lançamento	213
Figura 27: Modelo de PDP para embalagens plásticas considerando práticas da EC	229

Lista de Quadros

Quadro 1: Termos utilizados para a definição de economia circular	36
Quadro 2: Principais limites e desafios da transição para a Economia Circular	40
Quadro 3: Rs citados por cada autor como princípio da economia circular	42
Quadro 4: Indicadores citados por cada autor que são usados na economia circular	44
Quadro 5: Classificação dos autores segundo os benefícios da EC apresentados – Parte 1	59
Quadro 5: Classificação dos autores segundo os benefícios da EC apresentados – Parte 2	60
Quadro 6: Classificação dos autores segundo as barreiras da EC apresentados – Parte 1	68
Quadro 6: Classificação dos autores segundo as barreiras da EC apresentados – Parte 2	69
Quadro 7: Lógicas para criação de valor em modelo de negócio	99
Quadro 8: Lógicas para criação de valor em modelo de negócio	130
Quadro 9: Estratégias ou práticas de economia circular no desenvolvimento de embalagens	168
Quadro 10: Principais stakeholders na estratégia de economia circular	169
Quadro 11: Metas e objetivos na integração da economia circular	172
Quadro 12: Barreiras na implementação da economia circular	173
Quadro 13: Tipos de materiais e componentes utilizados	175
Quadro 14: Garantia de origem renovável dos materiais	176
Quadro 15: Benefícios da EC no desenvolvimento de embalagens: comparação entre as empresas	177
Quadro 16: Comparativo dos custos associados a práticas da EC	179
Quadro 17: Comparativo dos impactos que buscam reduzir com a EC	180
Quadro 18: Comparativo das Parcerias para promover a EC	181
Quadro 19: Comparativo das estratégias para estender a vida útil das embalagens	182
Quadro 20: Exemplos de embalagens circulares	183

Quadro 21: Comparativo de alguns aspectos entre clientes e as embalagens sustentáveis	185
Quadro 22: Formas de solicitação de embalagens sustentáveis	187
Quadro 23: Obstáculos para implementar a EC	188
Quadro 24: Superação dos desafios para implementar a EC	190
Quadro 25: Gestão do ciclo de vida das embalagens	191
Quadro 26: Envolvimento dos clientes no ciclo de vida das embalagens	193
Quadro 27: Envolvimento dos clientes no ciclo de vida das embalagens	194
Quadro 28: Benefícios percebidos pelos clientes.....	195
Quadro 29: Medição e avaliação dos resultados da EC.....	196
Quadro 30: Métricas utilizadas no monitoramento da EC	197
Quadro 31: Síntese geral e comparação das empresas – parte 1	199
Quadro 31: Síntese geral e comparação das empresas – parte 2	200

Lista de Abreviaturas

3R – Redução, Reutilização e Reciclagem

ABRE – Associação Brasileira de Embalagens

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

BOPP – Polipropileno Biorientado

CFD (*Circular Function Deployment* – Desdobramento da Função Circular)

DFX – *Design for X*

EC – Economia Circular

EI – Ecologia Industrial

ENEC – Estratégia Nacional de Economia Circular

EPR – *Extended Producer Responsibility* (Responsabilidade Estendida do Produtor)

EU – União Europeia

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise de Modos de Falha)

GEE – Gases de Efeito Estufa

IoT – Internet das Coisas

LIR – Lei de Incentivo à Reciclagem

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PCR – Pós-Consumo Reciclado

PE – Polietileno

PET – Polietileno Tereftalato

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto

PIB – Produto Interno Bruto

PNEC – Política Nacional de Economia Circular

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PP – Polipropileno

PVC – Polietileno Cloreto de Vinila

QFD – *Quality Function Deployment* (Desdobramento da Função Qualidade)

SPS – Sistema de Produto-Serviço

SWOT – *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças)

Sumário

1. Introdução	15
1.1 Caracterização da Pesquisa	15
1.2 Justificativa	19
1.3 Objetivos	23
1.3.1 Objetivo Geral	23
1.3.2 Objetivos específicos	23
1.4 Estrutura da Tese	25
2. Fundamentação Teórica	26
2.1 Economia Circular	26
2.1.1 Definições de Economia Circular	29
2.1.2 Princípios da Economia Circular	37
2.1.3 Indicadores para a Economia Circular	42
2.1.4 Logística Reversa	44
2.1.5 Ciclo de Vida	48
2.1.6 Legislação	51
2.1.7 Benefícios da Economia Circular	54
2.1.8 Barreiras da Economia Circular	61
2.2 Processo de Desenvolvimento de Produto	70
2.2.1 Modelos de Processos de Desenvolvimento de Produtos	71
2.2.2 Produto Circular	86
2.2.3 Modelos de Negócios – Sistemas de Produtos-Serviços	91
3. Modelo Proposto de Desenvolvimento de Produto com Abordagem de Economia Circular	100
3.1 Modelo de PDP para embalagens	100
3.2 Descoberta: Embalagens	101

3.3 Estágio 1: Escopo – Embalagens Plásticas Sustentáveis	103
3.4.1 Análise de Materiais	107
3.4.2 CFD (<i>Circular Function Deployment</i>)	108
3.4.3 Atividade de <i>Design for X</i> (Estratégia de EC)	110
3.4.4 Atividade de Simbiose Industrial	112
3.5 Estágio 3: Desenvolvimento	113
3.5.1 Estratégias de DFX para EC e Procedimentos e Processos	114
3.6 Estágio 4: Teste e Validação	116
3.7 Lançamento	118
3.7.1 Logística Reversa	118
3.7.2 Ciclo de Vida	119
3.7.3 Indicadores de Circularidade	120
4. Método de Pesquisa	122
4.1 A Pesquisa	122
4.2 Método de Estudo de Caso	122
4.3 Critérios para seleção de caso	125
4.4 Instrumento para coleta de dados	125
4.5 Validação do instrumento para coleta de dados	128
5. Estudo de caso	131
5.1 Descrição das empresas	131
5.1.1 Descrição da Empresa A	131
5.1.2 Descrição da Empresa B	133
5.2 Análise intracasos	135
5.2.1 Caso da Empresa A	135
5.2.2 Caso da Empresa B	150
5.3 Análise intercasos	165
5.3.1 Síntese dos casos	197

6. Modelo proposto ajustado.....	202
6.1 Descoberta: Embalagens	202
6.2 Estágio 1: Escopo – Embalagens Plásticas Sustentáveis	204
6.3 Estágio 2: Plano de Negócio	206
6.4 Estágio 3: Desenvolvimento	208
6.5 Estágio 4: Teste e Validação	209
6.6 Lançamento	210
6.7 Revisão Pós-Lançamento	212
6.8 Validação do modelo	213
6.9 Análise das respostas para adequação do modelo	214
6.9.1 Repostas para o estágio 1	214
6.9.2 Repostas para o estágio 2	217
6.9.3 Repostas para o estágio 3	219
6.9.4 Repostas para o estágio 4	221
6.9.5 Repostas para o estágio 5	223
6.9.6 Repostas para os <i>gates</i>	225
7. Considerações finais	230
7.1 Conclusões.....	230
7.2 Limitações e trabalhos futuros	237
Referências	240

1. Introdução

1.1 Caracterização da Pesquisa

Segundo Assunção (2019), diversos setores econômicos discutem sobre questões ambientais e ações para diminuir os impactos ambientais causados pelas empresas.

Considerando as pressões ambientais e a escassez de matéria-prima, houve um crescente interesse na economia circular por parte das comunidades industriais, políticas e acadêmicas (Dias, 2019; Mulgan, 2015; Nguyen, Stuchtey e Zils, 2014).

Pode-se dizer que a diferença entre a economia linear e a circular é que, na primeira, faz-se uso de recursos naturais de forma caótica sem lembrar que estes são escassos. Já na economia circular, o que é descartado é reaproveitado pelo próximo sistema (Assunção, 2019).

A economia circular sugere que os recursos sejam aproveitados de forma inteligente, de modo que os materiais extraídos e produzidos fiquem em circulação, podendo criar cadeias produtivas integradas. Então, o destino de um material deixa de ser uma questão somente de gerenciamento de resíduos, mas passa a fazer parte do processo de desenvolvimento de produtos e sistemas (Sehnem e Pereira, 2019; Webster, 2015).

Com o avanço da sustentabilidade, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu em 2015 a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A Agenda 2030 é uma declaração global de compromissos assumidos para, até 2030, implementar 17 objetivos e 169 metas, visando apoiar ações em áreas cruciais para a vida humana (João, 2022).

Segundo João (2022), as ODS (ii) fome zero e agricultura sustentável, (iii) saúde e bem-estar, (vi) água potável e saneamento, (vii) energia limpa e acessível, (viii) trabalho decente e crescimento econômico, (ix) indústria, inovação e infraestrutura, (x) redução das desigualdades, (xi) cidades e comunidades sustentáveis, (xii) consumo e produção responsáveis, (xiii) ação contra a mudança global do clima, e (xvii) parcerias e meios de implementação apresentam alguma característica relacionada com a economia circular.

Além da economia circular, é necessário pensar no processo de desenvolvimento de produtos para que todos os conceitos possam estar alinhados e harmonizados.

Há diversas pesquisas abordando o tema de processo de desenvolvimento de produto, de modo que muitos modelos são elaborados para atender um segmento diferente da indústria. Assim, esses modelos são específicos para um determinado ramo industrial e pode-se considerar como exemplo modelos para o ramo têxtil (Rodrigues, 2016), embalagem (Oliveira *et al.*, 2018), siderúrgico (Souza, Amaral e Melo Filho, 2020) e equipamentos da área de saúde (Lobato *et al.*, 2019).

Analizando esses modelos que sugerem uma produção e um consumo, percebe-se que estes não se preocupam com a escassez dos recursos e nem com o reaproveitamento deste produto após seu descarte, como é sugerido com a economia circular.

Portanto, a incorporação da economia circular no processo de desenvolvimento de produto torna-se necessário, de modo que possa haver uma preocupação com a escassez de recursos e que todos os produtos, componentes e materiais tenham um alto nível de utilidade e valor todo o tempo.

Um setor que merece uma análise envolvendo esses dois conceitos, é o setor de embalagens. A embalagem é um dos itens mais comuns e possivelmente um dos mais negligenciados no modelo econômico atual, pois sua funcionalidade se perde rapidamente. Assim que a mercadoria que acondicionam é retirada ou consumida, as embalagens são geralmente vistas como um incômodo a ser eliminado. Com o descarte após um único uso, elas perdem imediatamente 95% do valor econômico de seu material (Souza, 2021).

Zhu *et al.* (2022) ressaltam que a indústria de embalagens desempenha um papel econômico significativo, sendo essencial para a economia, com uma taxa de crescimento notável a cada ano. Na Europa Ocidental, o volume de negócios dessa indústria representa cerca de 2% do PIB (Produto Interno Bruto), sendo a indústria alimentar a principal consumidora, absorvendo quase 60% da produção total de embalagens. O uso de embalagens permeia praticamente todos os aspectos da vida cotidiana.

De acordo com Firouz, Mohi-Alden e Omid (2021), o campo das embalagens de alimentos está experimentando um rápido crescimento devido ao aumento populacional global e às regulamentações de segurança alimentar em constante

aprimoramento. A embalagem desempenha um papel crucial na preservação e na manutenção da qualidade dos produtos alimentícios para exportação, armazenamento e consumo final. Uma empresa dos Estados Unidos prevê que, até 2024, a receita do mercado de embalagens atingirá aproximadamente US\$ 6 bilhões para um tipo específico e quase US\$ 3,45 bilhões para outro tipo de embalagens.

O mercado mundial de embalagens gera mais de 500 bilhões de dólares. No Brasil, esse setor movimenta 144,4 bilhões de reais, conforme dados de 2023 da Associação Brasileira de Embalagens (ABRE, 2024). Devido à qualidade exigida na fabricação, o setor de embalagens é o maior consumidor de materiais virgens. Na Europa, 40% do plástico e 50% do papel produzidos são utilizados para embalagens (Nascimento, 2022).

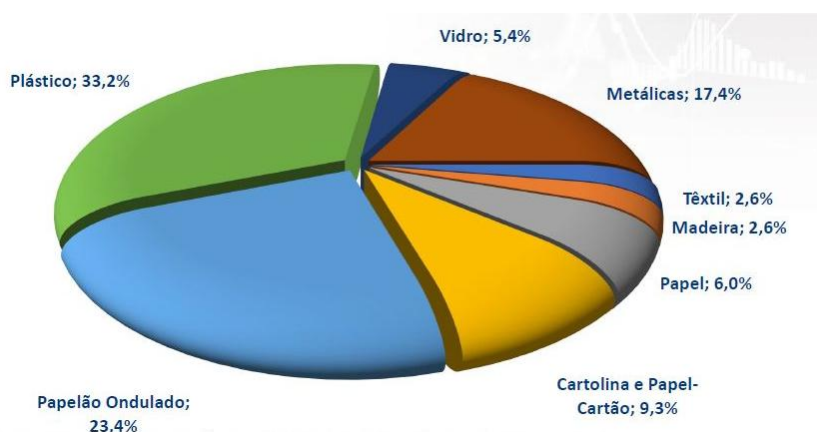


Figura 1: Distribuição do valor bruto da produção das embalagens
Fonte: ABRE (2024)

A Associação Brasileira de Embalagens (ABRE, 2024) realizou um gráfico com a distribuição do valor bruto da produção das embalagens separadas por segmentos e considerando os dados de 2023, conforme pode ser visto na Figura 1.

Em 2018, a produção global de plástico atingiu 359 milhões de toneladas, mas apenas cerca de um terço foi reciclado na Europa. O PET (Polietileno Tereftalato) degrada-se muito lentamente na natureza e pode permanecer por até 2.000 anos. Devido a essa preocupação ambiental, materiais de embalagem alternativos continuam a ser explorados (Holler *et al.*, 2023).

Segundo Testa *et al.* (2021), um estudo revelou que em 2019 aproximadamente 6,2 milhões de toneladas de plástico, principalmente de resíduos sólidos urbanos, e cerca de 3,0 milhões de toneladas de microplásticos, como borracha de pneus desgastados, foram introduzidos no ambiente global em 2015, sendo a maioria proveniente de embalagens. A "Estratégia Europeia para os Plásticos

numa Economia Circular" busca abordar urgentemente os problemas ambientais associados à produção, uso e consumo de plástico. Estabelece metas, como a reciclagem de pelo menos 55% de todas as embalagens de plástico na União Europeia até 2025, e essas diretrizes foram implementadas nacionalmente por meio de leis de incentivando a reciclagem e o uso de polímeros de base biológica, desencorajando o uso de embalagens plásticas descartáveis.

Nascimento (2022) afirma que no que se refere ao crescente acúmulo de resíduos, somente a produção de plástico já alcançou 8,3 bilhões de toneladas até 2017. De acordo com o relatório da primeira análise global sobre a produção de plástico, se a previsão se confirmar, em 2050 o acúmulo de resíduos plásticos poderá atingir 12 bilhões de toneladas.

Em 2014, os resíduos de embalagens gerados nos lares europeus e em diversas indústrias totalizaram aproximadamente 82,5 milhões de toneladas métricas por ano, sendo que nos Estados Unidos, 69,6 milhões de toneladas métricas de resíduos de embalagens foram coletadas como parte dos resíduos sólidos urbanos. Na União Europeia, 65,5% desses resíduos foram reciclados, enquanto nos Estados Unidos, a taxa de reciclagem foi de 51,5% (Geueke, Groh e Muncke, 2018).

Marco (2021) ressalta que no Brasil, estima-se que um quinto do lixo produzido consiste em embalagens, totalizando cerca de 25 mil toneladas por dia. A maioria dessas embalagens é descartada de forma inadequada, sem passar por reciclagem ou reaproveitamento, o que resulta no esgotamento de aterros e lixões, dificulta a degradação de outros resíduos, polui a paisagem e causa diversas outras consequências negativas

A embalagem deve ser desenvolvida com matérias-primas renováveis, ser mantida em uso pelo maior tempo possível e, ao final de sua vida útil, contribuir para a regeneração de sistemas naturais. O principal desafio dos projetistas é garantir que a embalagem cumpra suas funções de forma satisfatória para todos os stakeholders envolvidos, desde o produto até o usuário final e a indústria, focando em soluções sustentáveis que não agredam o meio ambiente. O conceito de desenvolvimento sustentável implica atender às necessidades atuais sem comprometer os recursos das gerações futuras, e isso está diretamente relacionado à minimização do impacto ambiental das embalagens (Sastre, 2022).

A transição para energias renováveis pode eliminar 55% das emissões globais de gases do efeito estufa, mas os 45% restantes, provenientes de setores como

gestão de terras e produção de diversos bens cotidianos, são desafios mais complexos. Notavelmente, a adoção de *designs* de frascos e modelos de refil em áreas como beleza, cuidados pessoais e limpeza doméstica para embalagens de plástico poderia reduzir as emissões de gases de efeito estufa relacionadas a embalagens e transporte em 80 a 85%, em comparação com o uso de frascos descartáveis (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

De acordo com Ellen MacArthur Foundation (2015), a adoção de garrafas de vidro reutilizáveis poderia resultar em uma redução de 20% nos custos associados à embalagem, processamento e distribuição de cerveja.

Diante da contínua degradação ambiental atribuída ao crescente volume de resíduos de embalagens, há um clamor crescente por abordagens mais robustas, exigindo que as embalagens sejam concebidas, produzidas, consumidas e recicladas de maneira mais sustentável (Zhu *et al.*, 2022).

Considerando a importância das embalagens atualmente e as consequências do seu descarte de forma errada, é fundamental analisar o seu processo de desenvolvimento.

1.2 Justificativa

Existem várias pesquisas abordando modelos de desenvolvimento de produto que são aplicados em diversos setores da economia. Alguns exemplos desses modelos foram analisados para ver em qual situação o PDP (Processo de Desenvolvimento de Produto) foi aplicado.

Rodrigues (2016) apresenta em sua pesquisa um modelo conceitual de processo de desenvolvimento de produto na área têxtil. Nessa pesquisa foram analisadas várias propostas de metodologias para o desenvolvimento têxtil e foi realizado um levantamento de informações junto a empresas desse setor por meio de questionários e observações em campo. Pode-se assim entender a prática do desenvolvimento de produtos têxteis. Comparando os dados obtidos com os modelos teóricos, foi possível propor um modelo. O modelo proposto foi validado por meio de uma intervenção em uma indústria e foi verificado a melhoria de desempenho do processo de desenvolvimento de produto. Assim, essa pesquisa apresentou um modelo conceitual de desenvolvimento de produto que suporta todas as fases necessárias para a prática industrial, com foco no setor têxtil (Rodrigues, 2016).

A pesquisa realizada por Sonogo (2018) utiliza a estratégia de modularidade no desenvolvimento de produtos apresentando o propósito geração de variedade, economia de escala, redução do tempo de montagem e produção, flexibilidade na reutilização de componentes e facilidade de montagem e desmontagem. Assim, a pesquisa analisa a realização dos benefícios da modularidade considerando a sustentabilidade em todo o ciclo de vida do produto. Verificou-se os benefícios da modularidade nas fases de uso e descarte de produtos eletrônicos, considerando o reparo e a destinação dada aos produtos ao final do ciclo de vida. Pode-se notar que as mudanças projetadas na arquitetura do produto visando sustentabilidade são importantes, mas não garantem a sustentabilidade, sendo essencial planejar um sistema que possibilite e incentive a realização dos benefícios planejados no desenvolvimento do produto (Sonogo, 2018).

Oliveira *et al.* (2018) fizeram um estudo apresentando uma proposta de desenvolvimento de embalagem para papel alumínio dotada de mecanismo de corte móvel e com proteção ao usuário. Foram utilizadas ferramentas e técnicas de tomada de decisão para processos de desenvolvimento de produto, tais como, QFD (Desdobramento da Função Qualidade), Análise de Custos, FMEA (Análise de Modos de Falha e seus Efeitos), *Benchmarking*, SWOT (*Strengths* - Forças, *Weaknesses* - Fraquezas, *Opportunities* - Oportunidades e *Threats* - Ameaças) e Análise Ergonômica. Dessa forma, o formato desta proposta buscou proporcionar, ao consumidor, maior praticidade, segurança e precisão no corte do papel alumínio (Oliveira *et al.*, 2018).

Foi realizado um estudo de casos múltiplos para analisar o processo de desenvolvimento de novos produtos (PDP) em pequenas e médias empresas de base tecnológica. Por meio de análise dos documentos das empresas, entrevistas com gerentes de PDP e observações em tempo real, pode-se identificar características que influenciam os PDPs, como: investimento, data de abertura da empresa, certificação ISO 9001 (Salgado *et al.*, 2018).

Morini (2019) realizou uma pesquisa analisando o desenvolvimento de produtos e a avaliação do seu ciclo de vida visando a sustentabilidade. Foi desenvolvido um *software* que avalia a carga ambiental de um produto nos estágios iniciais de seu desenvolvimento. Foi considerada a energia incorporada e a pegada de carbono como métricas para avaliação. O *software* foi validado comparando os seus resultados com a literatura. Com o auxílio dessa ferramenta, pode-se permitir

aos envolvidos no desenvolvimento de produtos utilizem materiais e processos com menor impacto ambiental (Morini, 2019).

Lobato *et al.* (2019) realizaram uma pesquisa analisando o desenvolvimento de produtos na área de equipamentos médicos. Foi proposto um modelo de desenvolvimento de produto abrangendo as principais regulamentações brasileiras. Por meio do estudo de casos múltiplos, o modelo foi apresentado a três empresas de dispositivos médicos com a finalidade de comparar os processos com o modelo proposto. Portanto, pode-se perceber um potencial com a utilização das boas práticas como um guia para o desenvolvimento do processo de equipamentos de saúde (Lobato *et al.*, 2019).

Uma metodologia de processo de desenvolvimento de novos produtos em uma empresa prestadora de serviço na área de afiação e recuperação de ferramentas de corte industrial foi apresentada. Essa metodologia visa facilitar o desenvolvimento de novos serviços, baseada em um estudo de caso do processo de desenvolvimento de um serviço: a afiação de uma serra de 2000mm para uma grande empresa do setor siderúrgico (Souza, Amaral e Melo Filho, 2020).

Diaz, Reyes e Baumgartner (2022), Joustra *et al.* (2022), Ko (2020) e Lin (2018) ressaltam que é importante considerar a EC (Economia Circular) no PDP de modo a otimizar a utilização de recursos escassos e fazer com que os produtos, componentes e materiais sejam utilizados no seu nível mais alto todo o tempo.

João, Maceno e Antonelo (2025) realizaram um estudo que teve como objetivo propor um modelo de desenvolvimento de produtos orientado pelos princípios da EC, com foco específico no setor de embalagens, visando integrar de forma sistemática práticas circulares ao processo tradicional de desenvolvimento de produtos. O modelo proposto, denominado *Circular Product Development Model* (Modelo de Desenvolvimento de Produto Circular), foi construído a partir da adaptação do modelo de referência de Rozenfeld, reconhecido por sua abrangência e aplicabilidade, ao qual foram incorporados diretrizes, estratégias e práticas da EC identificadas por meio de uma revisão sistemática da literatura. Estruturado em três fases (pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento), o modelo contempla dois fluxos de aplicação, um orientado à inovação, que incorpora ferramentas de *Design Thinking* desde as etapas iniciais, e outro voltado ao desenvolvimento sob encomenda, característica comum à indústria de embalagens. Em ambos os fluxos, o modelo orienta a definição de metas circulares, a seleção de materiais sustentáveis,

o *design* para reutilização, reciclagem e remanufatura, a avaliação do ciclo de vida, o planejamento de processos produtivos mais eficientes e a gestão adequada do fim de vida do produto. Como forma de validação, o modelo foi aplicado em um estudo de caso realizado em uma empresa do setor de embalagens, o que permitiu mapear seu processo de desenvolvimento de produtos e compará-lo com a proposta teórica. Os resultados evidenciaram que, embora a empresa já adote algumas práticas alinhadas à economia circular, estas ocorrem de maneira pontual e pouco estruturada, havendo amplo potencial para a incorporação de práticas adicionais ao longo do processo. O principal resultado do estudo consiste na demonstração de que o modelo proposto é compatível com a realidade industrial, apresenta elevado grau de adaptabilidade e contribui para a formalização e ampliação da aplicação de práticas circulares no desenvolvimento de embalagens, especialmente quando adotadas desde as fases iniciais, nas quais se concentram as decisões com maior impacto ambiental, técnico e econômico ao longo do ciclo de vida do produto.

O modelo proposto por João, Maceno e Antonelo (2025) difere do modelo apresentado na tese que utiliza como base o modelo de referência *Stage-Gate* de Cooper e também no foco, visto que o modelo da tese é voltado para embalagens plásticas e o modelo proposto por João, Maceno e Antonelo (2025) é para embalagens em geral.

Analisando essas pesquisas, pode-se perceber que há muitos estudos na área de processo de desenvolvimento de produto (PDP) de modo que cada pesquisa apresenta um método particular para atender as necessidades de um determinado segmento do setor industrial. Entretanto, em poucos modelos é incorporado a economia circular no PDP para um melhor aproveitamento dos recursos. Portanto, essa lacuna precisa ser suprida por meio de um modelo que agregue a economia circular no PDP.

A principal contribuição desta tese consiste na proposição e validação empírica de um modelo de referência para o desenvolvimento de embalagens plásticas, estruturado a partir da lógica *Stage-Gate* e integrado a práticas, ferramentas e critérios da Economia Circular. Diferentemente dos modelos identificados na literatura, o modelo proposto operacionaliza os princípios da circularidade no Processo de Desenvolvimento de Produto por meio da incorporação sistemática de decisões relacionadas à redução de material, uso de conteúdo reciclado pós-consumo (PCR), design para reciclagem, desmontagem, reutilização, rastreabilidade, logística

reversa e indicadores pós-lançamento. Dessa forma, a tese contribui para reduzir a lacuna entre os princípios conceituais da Economia Circular e sua aplicação prática no desenvolvimento industrial de embalagens plásticas.

Essa tese defende que para se aplicar um modelo de negócio circular, deve-se ter produtos circulares. E para se ter produtos circulares é necessário ter um PDP que aborde os conceitos da EC. Os seguintes autores reforçam essa ideia em seus trabalhos: BSI (2017), Dumée (2022), Ellen MacArthur Foundation (2019), Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), Hobson (2016), Khan e Haleem (2021) e Khan *et al.* (2021).

1.3 Pergunta de Pesquisa

Considerando as lacunas identificadas na literatura relacionadas à integração entre Economia Circular e Processo de Desenvolvimento de Produto no setor de embalagens, esta tese busca responder à seguinte pergunta de pesquisa:

“Como integrar princípios e práticas de Economia Circular ao Processo de Desenvolvimento de Produto no setor de embalagens plásticas por meio de um modelo de referência?”

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Propor e verificar a adequação de um modelo de referência para o desenvolvimento de embalagens plásticas, integrando princípios, práticas e ferramentas de Economia Circular ao Processo de Desenvolvimento de Produto.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analisar as práticas de EC e incorporá-las ao PDP;
- Analisar as ferramentas a serem utilizadas no PDP que integrem as práticas de EC;
- Verificar a adequação do modelo de referência proposto por meio de estudo de caso.

1.5 Delimitações da Tese

Esta tese apresenta delimitações relacionadas ao escopo teórico, setorial e metodológico adotado na pesquisa.

Em termos setoriais, o estudo concentra-se especificamente no setor de embalagens plásticas, não abrangendo outros segmentos da indústria de embalagens ou diferentes setores industriais. Essa delimitação foi definida em função da relevância ambiental associada às embalagens plásticas, da complexidade dos desafios relacionados à circularidade de materiais e da necessidade de aprofundamento das práticas de EC aplicadas ao PDP nesse contexto específico.

Sob a perspectiva conceitual, a pesquisa delimita a abordagem da EC principalmente às estratégias relacionadas à circularidade de materiais, com foco em práticas de redução de material, reutilização, reciclabilidade, utilização de conteúdo reciclado pós-consumo (PCR), recuperação de valor e logística reversa. Dessa forma, a pesquisa não busca abordar de maneira ampla todos os modelos de negócios circulares ou todas as dimensões econômicas, sociais e regulatórias associadas à EC.

Em relação ao escopo do desenvolvimento de produto, a tese concentra-se na incorporação de princípios e práticas de EC no PDP, não abrangendo integralmente toda a cadeia de pós-consumo, recuperação de resíduos e gestão sistêmica da cadeia de suprimentos circular.

No aspecto metodológico, a pesquisa foi desenvolvida a partir da análise de dois estudos de caso realizados em empresas brasileiras do setor de embalagens plásticas. Além disso, a coleta de dados concentrou-se predominantemente em profissionais diretamente relacionados ao desenvolvimento de produtos, não contemplando de forma transversal outras áreas organizacionais, como produção, suprimentos, qualidade, logística e pós-consumo.

Outra delimitação da pesquisa refere-se à ausência de uma implementação longitudinal do modelo proposto, o que impossibilita a realização de análises comparativas quantitativas relacionadas ao desempenho organizacional antes e após sua aplicação prática. Assim, a verificação do modelo concentrou-se em sua adequação teórica e aderência ao contexto industrial analisado.

Adicionalmente, a pesquisa não contemplou organizações com diferentes níveis de maturidade em EC, uma vez que os casos analisados apresentavam características relativamente semelhantes quanto à adoção de práticas circulares. Dessa forma, o

modelo proposto não incorpora mecanismos específicos para mensuração ou classificação do grau de maturidade organizacional em EC.

Essas delimitações não invalidam os resultados obtidos, mas definem o contexto específico no qual as análises, proposições e conclusões desta tese devem ser interpretadas.

1.6 Estrutura da Tese

Esse material, elaborado para a qualificação de doutorado, está estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1 apresenta uma introdução ao tema proposto, onde é demonstrado o objetivo e a justificativa para a realização do trabalho;
- Capítulo 2 trata da fundamentação teórica que aborda conceitos importantes sobre economia circular e desenvolvimento de produto;
- Capítulo 3 mostra o método de desenvolvimento de produto proposto que engloba conceitos da economia circular;
- Capítulo 4 aborda a metodologia utilizada para a confecção da tese;
- Capítulo 5 apresenta o estudo de caso feito em duas empresas que fabricam embalagens plásticas;
- Capítulo 6 mostra o modelo proposto com suas atividades em cada estágio e a verificação da adequação do mesmo;
- Capítulo 7, e último, conclui a tese demonstrando como os objetivos foram abordados e atingidos.

2. Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão apresentados alguns conceitos sobre Economia Circular (EC) e Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP). Sobre economia circular, serão apresentadas definições, princípios, indicadores, benefícios e barreiras. Já sobre Processo de Desenvolvimento de Produto serão apresentadas definições, modelos, definição de produto circular e modelos de negócios (SPS).

2.1 Economia Circular

Diversos autores, entre eles Dias (2019), Sehnem e Pereira (2019) e Assunção (2019), ressaltam que as discussões sobre economia circular (EC) estão relacionadas com a publicação do artigo *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, do economista evolucionista norte-americano Kenneth Boulding, apresentado no Fórum sobre o Futuro e Qualidade Ambiental em Economia Crescente, em Washington, em 1966.

Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) afirmam que o conceito de (EC) está relacionado com diferentes escolas de pensamentos. Pearce e Turner (1990) afirmam que a economia tradicional ou linear foi proposta pensando que o meio ambiente é uma fonte inesgotável de recursos. Esses autores também utilizaram o conceito proposto por Kenneth Boulding em 1966 e trataram dos conceitos das leis de termodinâmica (conservação da energia e entropia) de modo a propor uma economia como um sistema circular fechado e praticamente sem trocas de matérias com o ambiente externo. Portanto, a economia circular é vista como um pré-requisito de sustentabilidade e manutenção da vida humana no planeta Terra (Pearce e Turner, 1990).

A EC utiliza como base alguns conceitos da ecologia industrial (EI), que busca relacionar indústria e meio ambiente de modo a buscar soluções para minimizar os impactos que as indústrias vêm acarretando ao meio ambiente. Então, a EC utiliza alguns conceitos de EI de modo a analisar e otimizar os sistemas industriais de modo a estabelecer um novo modelo de desenvolvimento econômico, produção, distribuição e recuperação de produtos. Assim, os processos e produtos são redesenhados para maximizar o valor dos recursos separando o conceito de crescimento econômico com uso de recursos de forma inconsequente (Lung e Levrat, 2014).

A Figura 2 apresenta uma evolução do pensamento econômico de modo a considerar três grandes marcos que são: Economia Linear, Ecologia Industrial e Economia Circular. Considerando a inovação dos produtos e serviços incorporando os pensamentos da ecologia, o modelo de economia das indústrias e organizações passou pelas fases exploratória, restauradora, cíclica e regenerativa, que é a fase em que os pensamentos estão se concentrando atualmente (Sandoval, Jaca e Ormazabal, 2018).

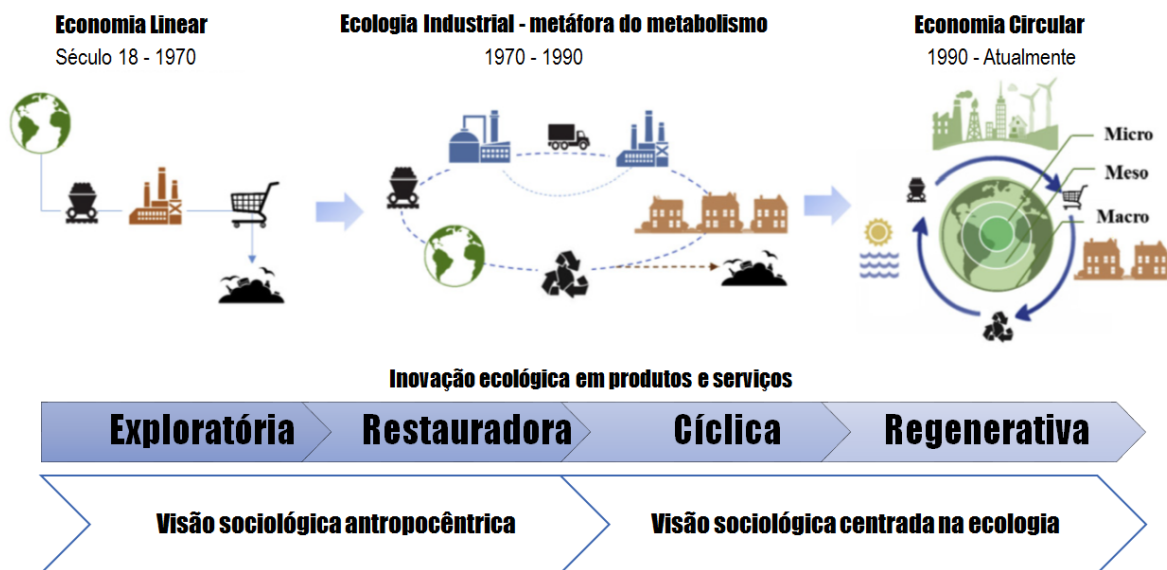


Figura 2: Evolução do pensamento da economia circular
Fonte: Adaptado de Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018)

Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018) afirmam que o conceito de EC foi desenvolvido graças a diferentes abordagens de disciplinas como ecologia, economia, engenharia, *design* e negócios, o que significa que foi desenvolvido a partir de uma perspectiva multidisciplinar. O caminho que a sociedade percorreu até a EC pode ser dividido em três grandes etapas (Figura 2):

1. O primeiro estágio é a economia linear, que começou com a revolução industrial e a superexploração dos recursos. Essa fase foi interrompida na década de 1960 pelo notável interesse pelo meio ambiente, especialmente a partir de publicações de ecologistas, como o livro *Silent Spring* (Primavera Silenciosa) de Carson em 1962, e de economistas como Boulding em 1966, que postulavam que o planeta Terra poderia funcionar como um sistema ecológico, recirculando os recursos limitados e tornando-os ilimitados.
2. Uma segunda etapa começa com o despertar das primeiras iniciativas teóricas e práticas da ecologia industrial fundadas por Ayres e Kneese em

1969 e Ayres em 1989, que explicaram que as atividades industriais podem funcionar como um metabolismo, onde diferentes atores podem ser integrados por meio de seus resíduos e recursos, que circulam continuamente pelo inventário de recursos do sistema. Nesta fase, surgiu o interesse por uma economia mais verde. Uma economia verde é definida pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente como aquela que resulta em melhoria do bem-estar humano e equidade social, ao mesmo tempo em que reduz significativamente os riscos ambientais e a escassez ecológica.

3. Finalmente, a terceira etapa começa no início dos anos 1990 quando Pearce e Turner (1990), seguindo a pesquisa de Boulding, apresentaram o termo EC para explicar a viabilidade de levar em conta a consciência ambiental nos fluxos econômicos fechando os ciclos industriais (Sandoval, Jaca e Ormazabal, 2018).

O conceito de economia verde tem desempenhado um papel fundamental nas estratégias ambientais de governos e instituições, mas tende a estar associado a ações simples de sustentabilidade e com menos adaptações ao modo de vida das pessoas. Além disso, essas ações simples de sustentabilidade afirmam que os benefícios econômicos podem substituir o capital humano e o capital natural, e não visa alcançar transformações profundas do sistema linear de produção e consumo (Loiseau *et al.*, 2016).

Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018) ressaltam que a EC exige inovações na forma como as indústrias produzem, os consumidores usam e os formuladores de políticas legizam. Desta forma, a inovação ambiental ou ecoinovação evoluiu ao longo do tempo como a EC. A evolução da ecoinovação foi teorizada por Hofstra e Huisinigh (2014), que explicam que houve uma mudança sociológica de uma visão antropocêntrica da natureza para uma visão centrada na ecologia, que vem influenciando a maneira como a sociedade evolui e desenvolve inovações ambientais, conforme pode ser visto na Figura 2.

Hofstra e Huisinigh (2014) apresentam quatro tipos de ecoinovações: exploradoras, restaurativas, cíclicas e regenerativas. Os dois primeiros estão associados a uma visão sociológica antropocêntrica do mundo, onde as necessidades humanas são a prioridade e a ideia de crescimento vem da economia linear tradicional

sem levar em conta os limites de consumo de energia e materiais (Figura 2). As ecoinovações exploratórias prestam pouca atenção às questões ambientais, mas atendem aos requisitos legais e buscam reduções de custos. As ecoinovações restaurativas tendem a desenvolver soluções para os danos causados, o que significa que são inovações corretivas. Além disso, são ecoeficientes na minimização do uso de recursos e emissões. Os outros dois tipos de ecoinovações, cíclicas e regenerativas, vêm da recente visão sociológica centrada na ecologia, onde a ecoesfera se torna importante e os humanos são parte da natureza e não seus donos, apresentadas na Figura 2. As ecoinovações cíclicas conectam os seres humanos e a natureza com o ecossistema em um grau mais alto e também melhoram a capacidade dos sistemas de fechar os ciclos. Por fim, as ecoinovações regenerativas estão intimamente relacionadas à capacidade do ecossistema de criar valor agregado para os seres humanos e a natureza. Como consequência, os seres humanos devem considerar o papel de suas ações na capacidade de resiliência da natureza se nossas necessidades continuarem crescendo.

Diversos autores buscaram conceituar a EC e algumas dessas definições serão discutidas na próxima seção.

2.1.1 Definições de Economia Circular

Ellen MacArthur Foundation (2013) e Webster (2015) conceituam economia circular (EC) como uma economia que é restaurativa e regenerativa, tendo como objetivo manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor todo o tempo.

A EC visa alcançar a produção ideal, minimizando a utilização de recursos naturais e a emissão de poluição simultaneamente, o desperdício mínimo, reutilizando os resíduos da produção e a poluição mínima, reciclando e restaurando os resíduos tecnicamente inúteis (Wu *et al.*, 2014).

Ma *et al.* (2014) afirmam que a EC é um modo de desenvolvimento econômico que visa proteger o meio ambiente e prevenir a poluição, facilitando assim o desenvolvimento econômico sustentável.

O termo economia circular é um termo genérico para as atividades de redução, reutilização e reciclagem realizadas no processo de produção, circulação e consumo (Naustdalslid, 2014).

A EC baseia-se especificamente na eficiência de recursos e na ecoeficiência, e seu objetivo é adquirir um conjunto de medidas-chave para avançar em direção a uma economia mais circular, verde e sustentável (Ma *et al.*, 2015).

Haas *et al.* (2015) ressaltam que a EC é uma estratégia convincente, que visa reduzir tanto a entrada de materiais virgens quanto a produção de resíduos, fechando os ciclos econômicos e ecológicos dos fluxos de recursos.

A EC pode ser definida como um projeto de sistema industrial que é restaurador ou regenerativo. Substitui o conceito de fim de vida por restauração, passa a usar energia renovável, elimina o uso de produtos químicos tóxicos, que prejudicam a reutilização e o retorno à biosfera, e visa a eliminação de resíduos através de projetos de materiais, produtos, sistemas e modelos de negócios (Hobson, 2016).

Singh e Ordonez (2016) afirmam que a EC é uma estratégia econômica que sugere formas inovadoras de transformar o atual sistema de consumo predominantemente linear em um sistema circular, ao mesmo tempo em que alcança a sustentabilidade econômica com a tão necessária economia de materiais.

Uma economia circular é um como um projeto restaurador e regenerativo que visa manter produtos, componentes e materiais em sua maior utilidade e valor em todos os momentos. O conceito é um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza o rendimento dos recursos e minimiza os riscos do sistema gerenciando estoques finitos e fluxos renováveis (Moreau *et al.*, 2017).

Niero *et al.* (2017) definem a EC como um projeto de sistema industrial que tem a intenção de ser restaurador ou regenerativo.

Haupt, Vadenbo e Hellweg (2017) ressaltam que a EC pode ser conceituada como sendo um sistema de produção e consumo com perdas mínimas de materiais e energia por meio de ampla reutilização, reciclagem e recuperação.

EC é um termo geral que abrange todas as atividades que reduzem, reutilizam e reciclam materiais nos processos de produção, distribuição e consumo (Blomsma e Brennan, 2017).

De acordo com a BSI (2017), EC é uma economia que é restauradora e regenerativa por *design*, e que visa manter produtos, componentes e materiais em sua maior utilidade e valor em todos os momentos, distinguindo entre ciclos técnicos e biológicos.

Stahel (2016) e Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018) afirmam que, geralmente, a EC é delineada como um ciclo de extração e transformação de recursos e distribuição, uso e recuperação de bens e materiais, conforme pode ser visto na Figura 2. Primeiro, as empresas retiram recursos do ambiente para transformá-los em produtos e serviços. Em seguida, distribuem os produtos ou serviços aos consumidores nos pontos de venda ou para outras empresas, e os produtos/serviços são utilizados pelos consumidores no mercado. Neste momento, a CE propõe fechar o ciclo através da recuperação de mercadorias, em vez de descartá-las ou simplesmente desperdiçá-las (Figura 3).

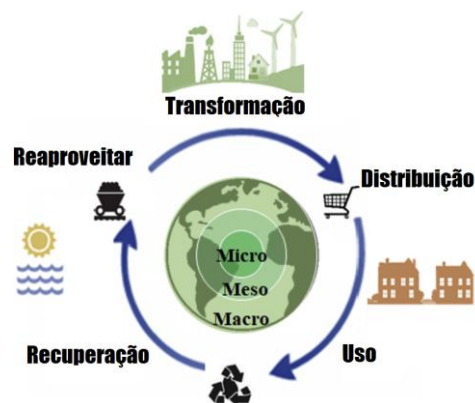


Figura 3: Ciclo da economia circular
Fonte: Adaptado de Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018)

Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018) ressaltam que quatro componentes relevantes são necessários para estabelecer o conceito de EC:

- A recirculação de recursos e energia, a minimização da demanda de recursos e a recuperação de valor dos resíduos;
- Uma abordagem multinível;
- Sua importância como caminho para alcançar o desenvolvimento sustentável;
- Sua estreita relação com a forma como a sociedade inova.

A EC é um sistema econômico que representa uma mudança de paradigma na forma como a sociedade humana se relaciona com a natureza e visa evitar o esgotamento de recursos, fechar os ciclos de energia e materiais e facilitar o desenvolvimento sustentável por meio de sua implementação nos níveis micro (empresas e consumidores), meso (agentes econômicos integrados em simbiose) e macro (cidades, regiões e governos). Atingir esse modelo circular requer inovações

ambientais cíclicas e regenerativas na forma como a sociedade legisla, produz e consome (Sandoval, Jaca e Ormazabal, 2018).

Heyes *et al.* (2018) e Rajput e Singh (2019) ressaltam que o objetivo da EC é melhorar a eficiência dos recursos e o desempenho ambiental em diferentes níveis da cadeia de suprimentos.

EC é uma cadeia de suprimentos de circuito fechado que se concentra nos aspectos restauradores e regenerativos. A EC propõe que o sistema industrial faça a união dos conceitos de fim de vida com restauração, de modo a eliminar o uso de materiais tóxicos, visando a reutilização e eliminação do desperdício através da implementação explícita dos modelos de *design*, sistemas de produtos e *design* dos materiais (Rajput e Singh, 2019).

Jabbour *et al.* (2019), Hopkinson *et al.* (2018) e Esposito, Tse e Soufani (2018) afirmam que a EC é um sistema de produção e consumo que visa manter produtos, componentes, materiais e energia em circulação para continuar adicionando, recriando e mantendo seu valor por um longo período de tempo. A EC é restauradora, regeneradora e disruptiva para os sistemas econômicos e, consequentemente, envolve mudanças na estrutura de *design* e produção.

A EC pode ser definida como uma iniciativa de desenvolvimento sustentável com o objetivo de reduzir os fluxos lineares de material e energia dos sistemas de produção-consumo da sociedade, aplicando ciclos de materiais, fluxos de energia renovável. A economia circular promove ciclos de materiais de alto valor juntamente com a reciclagem mais tradicional e desenvolve abordagens sistêmicas para a cooperação de produtores, consumidores e outros atores sociais no trabalho de desenvolvimento sustentável (Korhonen *et al.*, 2018; Ünal e Shao, 2019).

Ellen MacArthur Foundation (2019, p. 19) conceitua EC da seguinte maneira:

“A economia circular é uma abordagem sistêmica para o desenvolvimento econômico projetado para beneficiar os negócios, a sociedade e o meio ambiente. Uma economia circular tem como objetivo desassociar o crescimento econômico do consumo de recursos finitos e criar capital econômico, natural e social. Apoiado por uma transição para fontes de energia renováveis e pelo aumento do uso de materiais renováveis, o conceito reconhece a importância de uma economia que funcione com eficiência em todas as escalas. Isso mostra a necessidade de colaboração e participação ativa entre os pequenos e os grandes negócios e de países e cidades com as comunidades locais e as pessoas que lá estão. Esse tipo de economia distribuída, diversa e inclusiva estará mais bem posicionada para criar e compartilhar os benefícios de uma economia circular. O modelo distingue ciclos biológicos e técnicos (veja a Figura 4). Em ciclos biológicos, os alimentos e materiais de base biológica (como algodão ou madeira) retornam ao sistema por meio de processos como compostagem e digestão

anaeróbica. Esses ciclos regeneram sistemas vivos (como o solo), que fornecem recursos renováveis à economia. Os ciclos técnicos recuperam e restauram produtos, componentes e materiais por meio de estratégias como reutilização, reparo, remanufatura ou (como último recurso) reciclagem. A tecnologia digital tem o poder de apoiar a transição para uma economia circular por meio do aumento significativo da virtualização, desmaterialização, transparência e inteligência orientada por *feedback*". (Ellen MacArthur Foundation, 2019, p. 19).

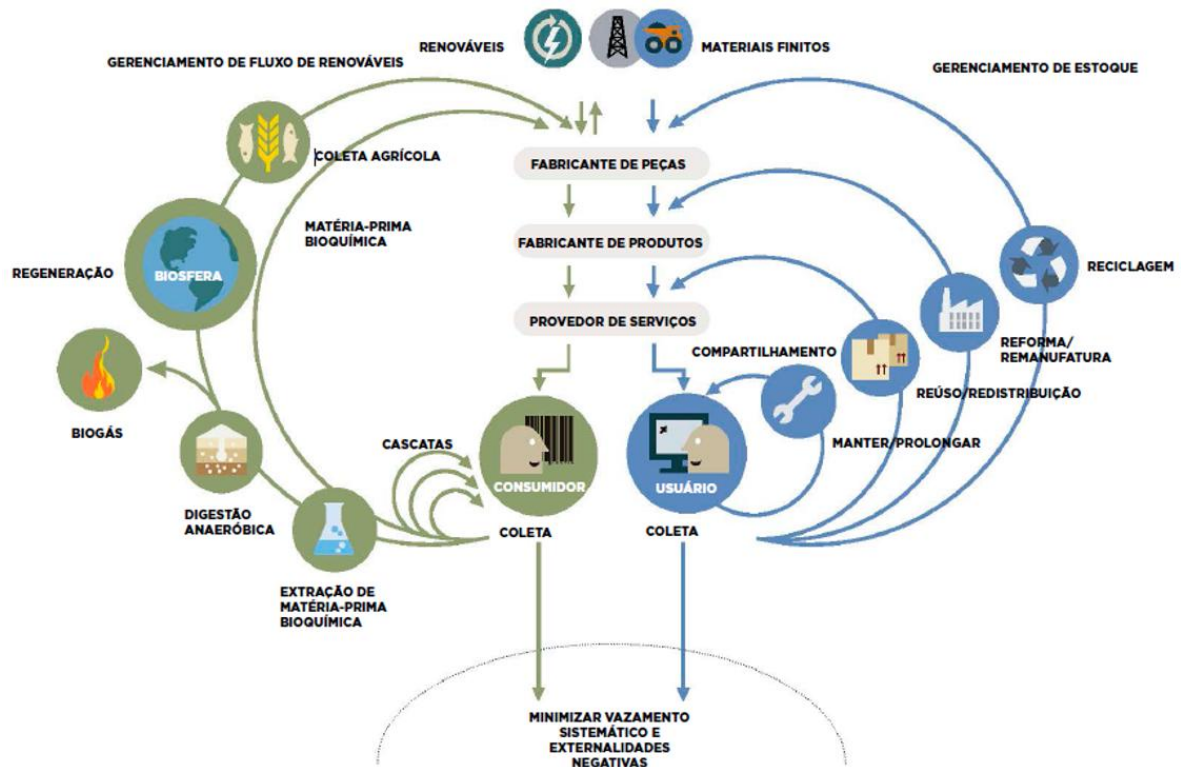


Figura 4: Diagrama do sistema de economia circular
Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2019, p. 20)

Conforme o conceito de EC dado por Ellen MacArthur Foundation (2019), a Figura 4 exemplifica em forma de diagrama como é um sistema de economia circular, considerando o ciclo biológico e o ciclo técnico. Percebe-se que, para atingir o objetivo de manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor todo o tempo, algumas estratégias são utilizadas, como: reutilização, reparo, remanufatura ou reciclagem.

Salvador *et al.* (2020) afirmam que a EC sugere que as atividades humanas devem seguir o exemplo da natureza. Na natureza, tudo é insumo para um e/ou outro processo, em um comportamento circular. Portanto, as atividades humanas devem se comportar de forma semelhante, assemelhando-se à maneira da natureza de executar os processos naturais. Ertz *et al.* (2019) dizem que a EC foi proposta para limitar as ameaças de desperdício excessivo. A EC visa estratégias orientadas para os

recursos, e mostram que enquanto alguns afirmam que a EC pode trazer crescimento econômico, uma vez que o aumento da circularidade pode promover a produção de bens em ciclos posteriores (Salvador *et al.*, 2020).

Gallego-Schmid *et al.* (2020) ressaltam que o modelo de EC pode ser definido como um sistema regenerativo no qual o desperdício de recursos, a emissão e o vazamento de energia são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento dos ciclos de material e energia. Retardar os ciclos de recursos implica prolongar e intensificar o uso de produtos para reter seu valor ao longo do tempo, enquanto o fechamento dos ciclos de recursos facilita a reutilização para restaurar ou criar novo valor a partir de materiais usados. Por fim, estreitar os ciclos de recursos implica em soluções ecoeficientes que reduzem a intensidade dos recursos e os impactos ambientais por unidade de produto ou serviço.

A EC denota um processo ou sistema de fabricação, que é de natureza recuperativa. Em uma EC, o sistema é projetado para substituir a noção de fim de vida; enfatizando assim as fontes alternativas/renováveis de energia e reduzindo o uso de produtos químicos perigosos nos processos de fabricação. A EC transforma os processos de produção e consumo criando valor a partir de resíduos descartados. A EC vai além dos atuais modelos de negócios baseados em fabricação e consumo e visa desenvolver um sistema de circuito fechado. O conceito de EC é baseado em três crenças principais; projetar sem desperdício, manter os bens em uso e reviver os sistemas naturais. As organizações precisam adotar os princípios de EC para aumentar a circularidade e aumentar ainda mais a longevidade dos recursos. Os fatores como uso tecnológico atual, complexidade da cadeia de suprimentos, estratégia de operações, planejamento e controle, regulamentos e consciência entre as pessoas devem ser considerados ao praticar e promover a EC (Bag *et al.*, 2021).

Dantas *et al.* (2021) afirmam que a EC é um conceito que descreve a mudança de paradigma em relação ao uso e descarte de materiais e recursos. Ele se opõe fundamentalmente aos comportamentos e padrões de produção e consumo em que nossa sociedade está inserida. A EC propõe um caminho inovador para o desenvolvimento sustentável ao introduzir uma forma diferente de perceber o valor no manejo dos recursos naturais. A EC pode ser entendida como uma mudança sistemática para um modelo economicamente viável, mas ainda assim regenerativo, alicerçado na reinserção dos recursos utilizados por meio de ciclos materiais (tecnológicos e biológicos). A EC promove a minimização do consumo de recursos,

geração de resíduos e emissões, ao mesmo tempo em que garantiria o desenvolvimento socioeconômico. Dessa forma, a EC é desenvolvida em torno da ideia de uma mudança sistêmica diretamente ligada à extração de recursos, geração de resíduos, *design* de produtos, consciência ambiental, modelos de negócios inovadores e políticas integradoras.

Em uma EC, o uso de recursos não renováveis e a produção de resíduos é minimizada, enquanto a reutilização e reciclagem dominam os ciclos de vida dos materiais (Rosenboom, Langer e Traverso, 2022).

Yu, Khan e Umar (2022) afirmam que o conceito de EC, como remanufatura, reutilização e reciclagem, vem resolvendo o problema da escassez de recursos naturais criados devido à abordagem linear (ou seja, produzir, consumir e descartar). Na cadeia de suprimentos, a EC inclui diferentes práticas, como a compra circular que está ligada à cooperação com o fornecedor e a compra desse tipo de material que pode ser facilmente remanufaturado e reciclado (Khan e Yu, 2021; Muranko *et al.*, 2019); *design* circular que facilita a logística reversa e a fabricação verde e está ligado ao *design* e fabricação de produto ou material de tal forma que produza menos emissões e resíduos nocivos (Dumée, 2022; Khan *et al.*, 2021).

Khan *et al.* (2022) ressaltam que a EC se refere a uma abordagem cíclica do processo de produção, ou seja, produzir, usar, recuperar, reciclar e remanufaturar. Normalmente, os 3Rs (reciclar, reduzir e reutilizar) são considerados o cerne de uma economia circular. Uma EC precisa de uma cadeia de suprimentos mais ampla e abrangente em relação à indústria, sociedades e indivíduos. A economia circular gerencia amigavelmente em diferentes camadas: ambiente verde, zonas industriais, *startups* individuais e regiões maiores no combate aos recursos e desafios ambientais.

Depois de analisar o conceito de EC apresentado por diversos autores, pode-se perceber que alguns termos são comuns entre diversos autores. Nesse sentido separou-se os 10 termos que mais se destacaram que foram: Cíclica(o), Eficiência de recursos, Maior utilidade e valor, Meio ambiente, Reciclagem, Regenerativa, Remanufatura, Restaurativa, Reutilização e Sustentabilidade. Alguns autores não utilizaram necessariamente essas palavras, mas deixaram a entender que se refere ao conceito abordado por esse termo. Portanto, elaborou-se um quadro apresentando os autores e os termos que cada autor utilizou para formular o seu conceito sobre economia circular e resumo dos conceitos de cada autor pode ser visto no Quadro 1, como um resumo das definições apresentadas nesta seção.

Autores	Cíclica	Eficiência de recursos	Maior utilidade e valor	Meio ambiente	Reciclagem	Regenerativa	Remanufatura	Restaurativa	Reutilização	Sustentabilidade
Bag <i>et al.</i> (2021)	X		X	X	X	X		X		X
Blomsma e Brennan, (2017)		X			X		X		X	
BSI (2017)			X	X		X		X	X	X
Dantas <i>et al.</i> (2021)	X	X		X	X	X				X
Ellen MacArthur Foundation (2013) e Ellen MacArthur Foundation (2019)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Esposito, Tse e Soufani (2018)	X	X	X			X		X		
Gallego-Schmid <i>et al.</i> (2020)	X	X	X	X		X		X	X	X
Haas <i>et al.</i> (2015)	X	X								X
Haupt, Vadenbo e Hellweg (2017)		X			X				X	
Heyes <i>et al.</i> (2018)		X		X						X
Hobson (2016)	X	X	X	X		X		X		X
Hopkinson <i>et al.</i> (2018)	X	X	X			X		X		
Jabbour <i>et al.</i> (2019)	X	X	X			X		X		
Khan <i>et al.</i> (2022)	X			X	X		X		X	X
Korhonen <i>et al.</i> (2018)	X	X		X	X					X
Ma <i>et al.</i> (2014)				X						X
Ma <i>et al.</i> (2015)	X	X		X						X
Moreau <i>et al.</i> (2017)	X	X	X			X		X		
Naustdalslid (2014)	X	X			X				X	
Niero <i>et al.</i> (2017)						X		X		
Rajput e Singh (2019)	X	X	X	X		X		X		X
Rosenboom, Langer e Traverso (2022)	X	X			X				X	
Salvador <i>et al.</i> (2020)	X	X		X						X
Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018)	X	X	X		X				X	X
Singh e Ordonez (2016)	X	X								X
Stahel (2016)	X	X	X		X				X	X
Ünal e Shao (2019)	X	X		X	X					X
Wu <i>et al.</i> (2014)		X		X	X					X
Yu, Khan e Umar (2022)	X	X			X		X		X	

Quadro 1: Termos utilizados para a definição de economia circular

Fonte: elaborado pelo autor

Com base em todos os conceitos apresentados, pode-se conceituar a EC para o presente trabalho como um sistema econômico cíclico que se concentra em maximizar a vida útil de produtos, materiais e componentes para aumentar a sua utilidade e valor. A economia circular é regenerativa e restaurativa por design, promovendo práticas como a remanufatura, reciclagem e reutilização para minimizar

o desperdício e o impacto ambiental, de modo a criar uma economia mais sustentável e resiliente.

Depois de definido o que é EC, a próxima seção apresenta os princípios que a norteiam.

2.1.2 Princípios da Economia Circular

Genovese *et al.* (2015) ressaltam que, de forma idealista, os princípios da EC pressupõem que as matérias-primas utilizadas nos sistemas de produção devem ser técnicas e biológicas. Essas matérias-primas não devem ter um impacto negativo no meio ambiente e devem ser regenerativas, retornando ao ecossistema sem os tratamentos necessários para reconstruir o capital natural. Em essência, não há degeneração e impacto ambiental dos materiais dentro de um sistema de produção que opera em um ciclo restaurador. Como o conceito de economia circular está sujeito às leis universais da termodinâmica, ainda haveria uma degeneração das matérias-primas em um sistema de produção ao longo do tempo. Isso se deve ao fato de que os fluxos circulares de trocas estão acoplados aos fluxos físicos de matéria e energia, que não são circulares. Assim, os fluxos de recursos são, em última análise, lineares e unidirecionais, começando com o esgotamento de recursos de baixa entropia do meio ambiente e terminando com a poluição do meio ambiente com resíduos de alta entropia. Mas, a EC visa fazer com os materiais tenham um maior uso possível.

Wu *et al.* (2014) ressaltam que a EC se baseia nos princípios centrais de 3R (redução, reutilização e reciclagem) para alcançar os seus objetivos que são: reduzir a utilização de recursos naturais; reduzir a emissão de poluição; reduzir o desperdício; reutilizar os resíduos da produção; e reciclar os resíduos tecnicamente inúteis.

Ellen MacArthur Foundation (2015, p. 7) apresenta os seguintes princípios básicos da EC:

- “1 - Preservar e aprimorar o capital natural, controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis;
- 2 - Otimizar o rendimento de recursos, fazendo circular produtos, componentes e materiais em uso no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico;
- 3 - Estimular a efetividade do sistema, revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio” (Ellen MacArthur Foundation, 2015, p. 7).

De acordo com Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), o princípio dos 3R (Redução, Reutilização e Reciclagem) pode ser entendido da seguinte maneira:

- O princípio da Redução visa minimizar a entrada de energia primária, matérias-primas e resíduos através da melhoria da eficiência na produção (a chamada ecoeficiência) e nos processos de consumo, por exemplo: introduzir tecnologias melhores, ou produtos mais compactos e leves, embalagens simplificadas, eletrodomésticos mais eficientes, estilo de vida mais simples etc. A ecoeficiência é, principalmente, um conceito empresarial, com foco na dimensão econômica e ambiental da sustentabilidade. O conceito de eficiência de recursos implica redução de recursos e aumento do bem-estar econômico e social ao mesmo tempo. Do lado da produção, pode-se apontar duas formas básicas pelas quais as empresas podem aumentar sua ecoeficiência nos processos produtivos, ou seja, manter ou aumentar o valor dos produtos e, ao mesmo tempo, reduzir seus impactos ambientais. Isso pode ser alcançado usando menos recursos por unidade de valor produzida e substituindo substâncias mais nocivas por outras menos nocivas por unidade de valor produzida.
- O princípio da reutilização refere-se a qualquer operação pela qual produtos ou componentes que não sejam resíduos são reutilizados para a mesma finalidade para a qual foram concebidos. A reutilização de produtos possui muitos benefícios ambientais, pois requer menos recursos, menos energia e menos mão-de-obra, em comparação com a fabricação de novos produtos a partir de materiais virgens. A difusão do reuso envolve o aumento da demanda do consumidor por produtos reutilizados e remanufaturados, o *design* de produtos duráveis para múltiplos ciclos de uso, bem como incentivos para que as empresas favoreçam a devolução de produtos e a comercialização de produtos remanufaturados.
- O princípio da reciclagem refere-se a qualquer operação de recuperação pela qual os resíduos são reprocessados em produtos, materiais ou substâncias, seja para os fins originais ou outros. A reciclagem de resíduos oferece a oportunidade de se beneficiar de recursos ainda utilizáveis e reduzir a quantidade de resíduos que precisam ser tratados e/ou descartados, diminuindo também o impacto ambiental relacionado. No entanto, se uma empresa ou sociedade consegue reciclar todos os seus resíduos, pode não estar interessada em reduzir a quantidade de resíduos.

Esses mesmos autores, além dos princípios 3R, mencionam outros três princípios adicionais que podem ajudar a EC. Esses princípios são:

- Projeto apropriado: enfatiza a importância da etapa de projeto na busca de soluções para evitar o descarte de resíduos em aterros. Os produtos são projetados para um ciclo de desmontagem e reutilização;
- Reclassificação: introduz uma reclassificação dos materiais em técnicos e nutrientes. Os materiais técnicos (como metais e plásticos) são projetados para serem reutilizados no final do ciclo de vida enquanto os nutrientes ou nutrientes biológicos que, em geral, não são tóxicos, podem retornar com segurança à biosfera ou em uma cascata de usos consecutivos;
- Renovabilidade: coloca as energias renováveis como a principal fonte de energia para a economia circular, para reduzir a dependência da energia fóssil e aumentar a adaptabilidade (resiliência) do sistema econômico aos efeitos negativos do petróleo.

Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) propuseram um quadro que resume os principais limites e desafios do desenvolvimento da EC, conforme pode ser visto no Quadro 2.

Jawahir e Bradley (2016) conceituam a metodologia 6R, considerando os 3R propostos por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) e acrescentando outros R da seguinte forma: Recuperação, que consiste no processo de coleta de produtos no final da etapa de uso, desmontagem, triagem e limpeza para utilização em ciclos de vida subsequentes do produto. A atividade de *Redesign*, que envolve o ato de redesenhar produtos de próxima geração, que utilizariam componentes, materiais e recursos recuperados do ciclo de vida anterior, ou geração anterior de produtos; enquanto a Remanufatura envolve o reprocessamento de produtos já usados para restauração a seu estado original ou uma forma como nova através da reutilização do maior número possível de peças sem perda de funcionalidade.

Princípios de EC	Limites ou desafios
Projeto	Cenário ideal de vida útil do produto.
	<i>Design</i> para desmontagem, reutilização, reciclagem.
	<i>Design</i> para produtos duráveis.
	<i>Design</i> para novo modelo de negócio de consumo.
Redução	Superar o efeito rebote das estratégias de ecoeficiência e ecossuficiência.
Reuso	Reutilização técnica máxima de materiais.
	Aumento da demanda dos consumidores pela reutilização de produtos e materiais.
	Desenvolvimento de mecanismos de devolução das empresas.
	Garantir a reparação e utilização secundária dos produtos após a sua utilização original.
	Tributação baseada em energia não renovável em vez de mão de obra e energias renováveis
Reciclar	Reforço dos mercados locais de materiais reciclados.
	Riscos do comércio global de materiais. Resíduos plásticos: inviabilidade devido à mistura de contaminantes
	Celulose: viável até 4 e 6 vezes.
	Metais raros (falta de economias de escala).
	Resíduos de Alimentos: outras transformações antes de serem utilizadas exigem altos custos em pesquisa e desenvolvimento.
	Modelagem adequada de Avaliação do Ciclo de Vida para reutilização e reciclagem.
Reclassificação de materiais em: Técnicos e Nutrientes	Reutilizar após o primeiro ciclo
	Retorno seguro à Biosfera ou em cascata de usos subsequentes (biorrefinaria).
Energia renovável	Aumentar sua participação em relação à participação de combustíveis fósseis.

Quadro 2: Principais limites e desafios da transição para a Economia Circular
Fonte: Adaptado de Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016)

Jawahir e Bradley (2016) e Han *et al.* (2017) ressaltam que o ponto principal da EC é alcançar o desenvolvimento da sustentabilidade seguindo os princípios 3R (reduzir, reutilizar e reciclar) e 6R (reutilizar, reciclar, redesenhar, remanufaturar, reduzir e recuperar).

Elia, Gnani e Tornese (2017) apresentam quatro categorias como ações para implantação da EC, que são:

- Projeto e produção de produtos circulares: várias ações podem ser incluídas nesta categoria, começando pelos métodos de *ecodesign* orientados para facilitar a reutilização, renovação e reciclagem de produtos, o projeto de produtos e processos com substâncias menos perigosas;
- Modelos de negócios: esta categoria inclui principalmente a difusão de novos modelos, tais como sistemas de produtos-serviços em vez de propriedade de produtos, ou ferramentas de consumo colaborativo baseadas numa difusão mais ampla de canais de consumidor para consumidor;

- Competências em cascata/reversa: as intervenções centram-se basicamente no apoio a ciclos fechados, por exemplo, com tecnologias inovadoras para reciclagem de alta qualidade, que permitem evitar a baixa no ciclo, ou para a utilização em cascata de materiais onde a reciclagem de alta qualidade não é viável. Um suporte mais eficiente para mercado de matérias-primas secundárias também será essencial;
- Colaboração entre ciclos e entre setores: as ações nesta categoria focam na construção de uma nova cadeia de valor que seja colaborativa em toda a sua extensão, e também através do envolvimento de novos atores, evitando que os subprodutos se tornem resíduos através de uma simbiose industrial.

Ellen MacArthur Foundation (2019) aborda os três princípios da EC e ainda apresenta algumas considerações de como os princípios podem ser obtidos. Os três princípios apresentados são: Eliminar Resíduos e Poluição; Manter Produtos e Materiais em Uso; Regenerar Sistemas Naturais.

De acordo com Ellen MacArthur Foundation (2019), para Eliminar Resíduos e Poluição, três estratégias fundamentais são apresentadas: *design* para circularidade, eliminação de resíduos e substituição de materiais. O *design* para circularidade destaca a importância de projetar produtos para facilitar desmontagem, reparos, reciclagem e reuso. A eliminação de resíduos é alcançada através da eficiência de materiais e tecnologias emergentes. A substituição de materiais enfoca o uso de materiais renováveis ou reciclados (recicláveis). O segundo princípio, Manter Produtos e Materiais em Uso, destaca estratégias como recirculação de materiais e reuso de produtos. A reciclagem é enfatizada pela diminuição de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e prolongamento da vida útil dos produtos. O reuso visa conservar energia incorporada e recursos na fabricação. O terceiro princípio, Regenerar Sistemas Naturais, destaca a importância de usar recursos renováveis e melhorar sistemas naturais, com ênfase na agricultura regenerativa para promover benefícios sistêmicos e sequestro de carbono.

Awan, Sroufe e Shahbaz (2021) destacam dois princípios da EC que são a reciclagem e a reutilização. A reciclagem é limitada ao ciclo de recursos e se concentra em aumentar a vida útil de materiais, peças e produtos reutilizados por meio de uma melhor manutenção das operações e dos processos de fabricação. O conceito de

reciclagem refere-se a qualquer operação de recuperação através da qual os resíduos são reprocessados em produtos, materiais, seja para os fins originais ou outros. A reutilização refere-se ao uso do produto para a vida útil máxima do produto. O princípio da reutilização refere-se a qualquer operação pela qual produtos ou componentes que não sejam resíduos são reutilizados para a mesma finalidade para a qual foram concebidos.

O Quadro 3 apresenta um comparativo das citações dos Rs que cada autor mencionou como sendo um dos princípios da EC.

Autores	Reciclar	Recuperar	Redesenhar	Reduzir	Remanufaturar	Reutilizar
Awan, Sroufe e Shahbaz (2021)	X					X
Elia, Gnoni e Tornese (2017)	X	X				X
Ellen MacArthur Foundation (2019)	X	X				X
Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016)	X			X		X
Han <i>et al.</i> (2017)	X	X	X	X	X	X
Jawahir e Bradley (2016)	X	X	X	X	X	X
Wu <i>et al.</i> (2014)	X			X		X

Quadro 3: Rs citados por cada autor como princípio da economia circular

Fonte: elaborado pelo autor

Depois de entender os princípios da EC, é importante saber como se pode mensurar essa economia, por isso alguns indicadores foram identificados na próxima seção.

2.1.3 Indicadores para a Economia Circular

Com a finalidade de saber se as organizações estão no caminho certo para implementação e prática da EC, alguns autores apresentam algumas estratégias para medir a EC.

As métricas de circularidade são úteis para avaliar os efeitos de uma economia circular em termos de rentabilidade e impactos ambientais (Linder, Sarasini e Van Loon, 2017).

Linder, Sarasini e Van Loon (2017) sugerem a utilização do valor econômico como unidade básica para agregar partes do produto numa métrica de circularidade ao nível do produto, onde a circularidade é definida como a fração de um produto que provém de produtos usados. Raciocinando a partir disso, pode-se delinear uma métrica baseada na relação entre o valor recirculado e o valor econômico total do produto.

Segundo Pauliuk (2018), os indicadores quantitativos são essenciais para avaliar o desempenho de uma organização ou sistema de produtos em relação aos princípios da EC e aos objetivos de sustentabilidade. Nesse sentido, o mesmo autor apresenta uma lista de indicadores para medir circularidade, valor monetário e potenciais impactos e utiliza como base a análise de fluxo de material (MFA), contabilidade de custos de fluxo de material (MFCA) e avaliação do ciclo de vida (ACV).

Figge *et al.* (2018) ressaltam que na EC os recursos materiais circulam e permanecem dentro de sistemas de produção. Então, a circularidade de tais recursos requer uma métrica, que consiste em examinar as cadeias de suprimentos para determinar as entradas e saídas de recursos específicos (e sua combinação), desde a sua extração primária até a sua eventual eliminação como resíduo. Em teoria, monitorar o fluxo de recursos permite que as empresas adotem práticas que poderiam maximizar o uso de materiais derivados da recuperação e reciclagem, minimizando o uso de recursos virgens.

Uma forma alternativa de medir a ecoeficiência de recursos virgens é enfatizar a longevidade, ou seja, o período que um recurso é usado, que pode ser medido em dias, meses, anos e assim por diante. A ideia é que quanto mais tempo um recurso é usado, maior a contribuição para uma economia circular. A alta circularidade ainda é importante, mas apenas na medida em que contribui para um período de tempo em que o recurso permanece ativo (Franklin-Johnson, Figge, Canning, 2016; Figge *et al.*, 2018).

De acordo com Franklin-Johnson, Figge, Canning (2016) e Figge *et al.* (2018), a longevidade é determinada de três maneiras: o tempo pelo qual um recurso é usado pela primeira vez (A); o tempo pelo qual um recurso é usado devido ao produto remodelado (B), e devido à reciclagem (C). Os mesmos autores exemplificam a longevidade da seguinte maneira: considere um processo no qual os produtos passam por recondicionamento e os recursos são reciclados, sendo ambos realizados no máximo duas vezes. Assim, a longevidade é delineada como a agregação de três contribuições: o período de vida inicial do produto; a contribuição proveniente da vida útil do produto recondicionado; e a contribuição da vida reciclada.

Niero e Kalbar (2019) propuseram uma análise de decisão multicritério para medir a circularidade por meio de dois conjuntos de indicadores: I) indicadores baseados na circularidade de materiais (pontuação de reutilização de materiais e

Indicador de circularidade de materiais), e II) uma seleção de indicadores baseados no ciclo de vida relevantes para a cerveja, ou seja, alterações climáticas, esgotamento de recursos abióticos, acidificação, material particulado e consumo de água.

Foi realizado um estudo de caso de embalagem de cerveja, simulando uma situação em que uma empresa está interessada em comparar o desempenho de diferentes embalagens do ponto de vista da EC. Foram consideradas oito alternativas diferentes de embalagens de cerveja em dois contextos geográficos (Reino Unido e Índia). Os resultados obtidos pela aplicação do método TOPSIS (*Technique for Order by Similarity to Ideal Solution* – Técnica para Ordem por Similaridade com a Solução Ideal) mostra que os diferentes conjuntos de indicadores podem ser integrados e os conflitos entre eles podem ser resolvidos (Niero e Kalbar, 2019).

O Quadro 4 apresenta um comparativo das citações dos indicadores que cada autor mencionou como sendo usado na EC.

Autores	Circularidade	Fluxo de material	Longevidade	Potenciais impactos	Valor monetário
Figge <i>et al.</i> (2018)	X	X	X		
Franklin-Johnson, Figge, Canning (2016)			X		
Linder, Sarasini e van Loon (2017)	X				
Niero e Kalbar (2019)	X	X			
Pauliuk (2018)	X	X		X	X

Quadro 4: Indicadores citados por cada autor que são usados na economia circular

Fonte: elaborado pelo autor

Analisado a definição, princípios e indicadores da EC, é necessário entender sobre dois conceitos importantes que tem ligação direta com a EC que são a logística reversa e ciclo de vida do produto. Primeiramente, a próxima seção irá analisar a logística reversa.

2.1.4 Logística Reversa

A logística reversa refere-se ao processo de movimentação de produtos ou materiais do consumidor de volta ao ponto de origem, seja para reciclagem, reutilização, remanufatura ou descarte adequado. Diferentemente da logística convencional, que envolve o movimento de produtos do fabricante para o consumidor, a logística reversa abrange o fluxo inverso (Genovese *et al.*, 2015; Wang, Burke e Zhang, 2022).

De acordo com Almeida, Borsato e Ugaya (2017); Bocken *et al.* (2016); Dokter, Thuvander, e Rahe (2021); Franco (2017); Huertas *et al.* (2013); Joustra *et al.* (2022); Jugend *et al.* (2020); Khan e Haleem (2021); Loon, Diener e Harris (2021); Sumter *et al.* (2021); Urbinati, Chiaroni e Toletti (2019); Wang, Burke e Zhang (2022), a logística reversa pode apresentar algumas barreiras operacionais para a implementação eficaz da EC nas cadeias de suprimentos. A logística reversa pode ser uma barreira para a economia circular por várias razões:

- Infraestrutura inadequada: muitas cadeias de abastecimento foram originalmente projetadas para um fluxo linear de produtos do fabricante para o consumidor, tornando-se inadequadas para lidar eficientemente com o retorno de produtos e materiais. A falta de infraestrutura especializada para a logística reversa pode dificultar a implementação eficaz da economia circular.
- Complexidade operacional: a logística reversa envolve a coleta, transporte, desmontagem, reciclagem ou remanufatura de produtos usados. Essas operações adicionais introduzem complexidade nas decisões operacionais das cadeias de abastecimento, incluindo programação, planejamento de capacidade e controle de estoque, tornando o processo mais desafiador e custoso.
- Falta de colaboração na cadeia de abastecimento: a eficiência da logística reversa muitas vezes depende da colaboração entre vários participantes da cadeia de abastecimento, incluindo fabricantes, varejistas, transportadores e organizações de reciclagem. A falta de cooperação pode resultar em lacunas na implementação efetiva da logística reversa e, consequentemente, na economia circular.
- Resistência à mudança: mudar de um modelo linear para circular requer uma redefinição das práticas comerciais e uma abordagem mais proativa para a gestão de produtos ao longo de seu ciclo de vida. Muitas empresas podem resistir a essas mudanças, especialmente se isso implicar em custos adicionais ou interrupções em suas operações existentes.
- Desafios tecnológicos: a implementação eficaz da logística reversa na economia circular muitas vezes exige tecnologias avançadas, como sistemas de rastreamento, sensores e *blockchain* para monitorar e rastrear

produtos ao longo da cadeia de abastecimento. A adoção dessas tecnologias pode ser uma barreira para algumas organizações.

Algumas barreiras incluem a falta de infraestrutura adequada para logística reversa e desmontagem, a concepção desalinhada da cadeia de suprimentos linear existente, e a complexidade crescente nas decisões operacionais. A infraestrutura atual da cadeia de suprimentos não está preparada para sustentar atividades abrangentes de logística reversa e desmontagem, necessárias para a circularidade de materiais. A colaboração entre os parceiros da cadeia de suprimentos é destacada como crucial para superar essas barreiras. A infraestrutura inadequada é apontada como uma barreira significativa, impactando a eficiência na recolha de produtos devolvidos e na logística reversa. Além disso, a falta de colaborações intersetoriais, infraestrutura para o comércio de resíduos e a necessidade de investimento estratégico em logística reversa são ressaltadas como áreas críticas a serem abordadas para avançar na economia circular (Wang, Burke e Zhang, 2022).

Na pesquisa realizada por Dokter, Thuvander e Rahe (2021), os arquitetos entrevistados enfatizaram a logística reversa como um desafio significativo para a recirculação de materiais no ambiente construído, citando preocupações práticas, ambientais e econômicas. Em meio ao aumento da reutilização e reciclagem de resíduos de construção, surge a dificuldade de armazenamento e transporte desses materiais. Sugere-se que empresas de tratamento de resíduos poderiam desempenhar um papel sistemático, agindo como fornecedores de materiais na concepção de edifícios, o que aumentaria a viabilidade das estratégias de reutilização e reduziria riscos logísticos. Um exemplo dado envolveu carpinteiros atuando como parceiros logísticos em um projeto de *design* de interiores, assumindo a responsabilidade pela aquisição e armazenamento de móveis e componentes reaproveitados, destacando uma abordagem mais integrada na gestão de materiais no processo de construção.

Segundo Atlason, Giacalone e Parajuly (2017); Franco (2017); Jugend *et al.* (2020); Khan e Haleem (2021); Moreno *et al.* (2016); Oliveira *et al.* (2016); Sumter *et al.* (2020); Vihma e Moora (2020); Wang, Burke e Zhang (2022), a logística reversa desempenha um papel fundamental na implementação da economia circular ao facilitar o retorno de produtos, materiais e componentes para a cadeia de valor,

promovendo práticas mais sustentáveis. Algumas maneiras pelas quais a logística reversa pode contribuir para a economia circular são:

- **Reutilização e Remanufatura:** a logística reversa permite a coleta de produtos usados para serem reutilizados ou remanufaturados. Esses produtos podem ser reparados, atualizados e reintroduzidos no mercado, prolongando seu ciclo de vida e reduzindo a necessidade de novas matérias-primas.
- **Reciclagem Eficiente:** a logística reversa facilita a coleta de resíduos e materiais descartados, encaminhando-os para instalações de reciclagem. Isso promove a recuperação de materiais valiosos e a produção de matérias-primas secundárias, reduzindo a dependência de recursos virgens.
- **Redução de Resíduos:** ao integrar a logística reversa na cadeia de abastecimento, há uma redução significativa na quantidade de resíduos que podem ser destinados a aterros sanitários. Isso contribui para metas de sustentabilidade ambiental, evitando a acumulação de resíduos e minimizando os impactos negativos no meio ambiente.
- **Consciência Ambiental:** a logística reversa promove uma mudança cultural em direção à consciência ambiental, incentivando consumidores, fabricantes e varejistas a considerarem o ciclo de vida completo dos produtos. Isso pode levar a decisões mais sustentáveis em termos de *design* de produtos, embalagens e práticas de consumo.
- **Economia de Recursos:** ao reintegrar materiais e produtos na cadeia de valor, a logística reversa contribui para a economia de recursos, evitando a extração excessiva de matérias-primas e reduzindo a demanda por novos produtos. Isso alinha-se com os princípios fundamentais da economia circular, que busca minimizar o desperdício e maximizar o valor dos recursos existentes.
- **Cadeias de Abastecimento Mais Sustentáveis:** a implementação eficaz da logística reversa requer uma abordagem colaborativa entre os participantes da cadeia de abastecimento. Isso cria uma mentalidade mais sustentável e pode levar a mudanças positivas em toda a cadeia, desde a concepção do produto até o descarte responsável.

Boorsma *et al.* (2022) apresentam um exemplo de aplicação da logística reversa que relacionam com a EC. Segundo esses mesmos autores, os dispositivos de imagem utilizados em contextos profissionais frequentemente incorporam diversas peças de alto valor, o que torna a logística reversa e o processo de remanufatura economicamente viáveis. Por exemplo, muitas impressoras possuem cabeças de impressão que representam a maior parte do valor do equipamento. No caso desse produto específico, a combinação de coleta de peças, como a retirada das cabeças de impressão, e a remanufatura completa possibilita a efetiva realização do processo.

Já Khan e Haleem (2021) destacam a criação de um ecossistema centrado na logística reversa para dispositivos eletroeletrônicos. A coleta de telefones antigos ocorre nas lojas de varejo da empresa, sendo posteriormente enviados a uma organização sem fins lucrativos responsável por avaliar o estado dos dispositivos e determinar a estratégia mais apropriada. Caso um aparelho não esteja apto para reutilização, a organização encaminha-o para instalações de reciclagem.

Visto e analisado o conceito de logística reversa, é importante analisar outro conceito relacionado com a EC que é o ciclo de vida que será abordado na seção seguinte.

2.1.5 Ciclo de Vida

De acordo com Asif *et al.* (2021), Boorsma *et al.* (2022), Bressanelli *et al.* (2020), Diaz *et al.* (2021), Diaz, Reyes e Baumgartner (2022), Fernando *et al.* (2021), Gagnon *et al.* (2022), He *et al.* (2021), Joustra *et al.* (2022), Joustra, Flipsen, e Balkenende (2021), Jugend *et al.* (2020), Leal *et al.* (2020), Pérez-Ortega *et al.* (2021) e Vimal *et al.* (2022), o ciclo de vida dos produtos desempenha um papel crucial na transição para uma economia circular, onde o objetivo é otimizar o uso de recursos, minimizar resíduos e promover a sustentabilidade. Algumas maneiras de como o ciclo de vida influencia na economia circular:

- *Design Sustentável*: durante a fase de *design* de produtos, considerações para facilitar a desmontagem, reparo e reciclagem são fundamentais. Um design inteligente pode prolongar a vida útil do produto e facilitar a reintegração de materiais no ciclo produtivo.

- **Extensão da Vida Útil:** estratégias para prolongar a vida útil dos produtos, como manutenção, reparo e atualizações, são essenciais para a economia circular. Isso reduz a necessidade de produzir novos itens com frequência.
- **Recondicionamento e Reutilização:** durante as fases de maturidade e declínio, a economia circular favorece a prática de recondicionamento e reutilização de produtos. Isso pode ocorrer por meio de mercados de segunda mão, programas de recompra e outras iniciativas que mantenham os produtos em circulação.
- **Reciclagem Eficiente:** ao final do ciclo de vida, a economia circular destaca a importância de sistemas de reciclagem eficientes. Isso envolve a coleta seletiva de materiais, processos de reciclagem eficazes e reintegração desses materiais na produção.
- **Logística Reversa:** a implementação de sistemas de logística reversa é crucial para a economia circular. Isso envolve a coleta e o retorno de produtos descartados para reciclagem, recondicionamento ou disposição adequada.
- **Consumo Consciente:** a conscientização sobre o ciclo de vida dos produtos incentiva o consumo mais consciente, encorajando os consumidores a fazerem escolhas informadas, considerando a durabilidade, a facilidade de reparo e o impacto ambiental dos produtos.
- **Inovação e Tecnologia:** a economia circular incentiva a inovação em novas tecnologias e processos que possam facilitar a reciclagem, a reutilização e a gestão eficiente de recursos ao longo do ciclo de vida dos produtos.

Segundo Desing, Braun e Hischier (2021), Ford e Fisher (2019), Lama *et al.* (2022), Pamminger, Glaser e Wimmer (2021), Pérez-Ortega *et al.* (2021), Shahbazi e Jönbrink (2020), Spreafico (2022), Vimal *et al.* (2022), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta essencial que pode desempenhar um papel significativo na implementação da economia circular. A ACV é uma abordagem sistemática para avaliar os impactos ambientais de um produto ou serviço ao longo de seu ciclo de vida completo, desde a extração de matérias-primas até a disposição final. Algumas maneiras pelas quais a ACV pode ajudar na transição para uma economia circular são:

- Identificar oportunidades de melhoria: a ACV ajuda a identificar os pontos críticos e os impactos ambientais significativos ao longo do ciclo de vida de um produto. Isso permite que as empresas identifiquem áreas específicas onde podem implementar práticas mais circulares, como design mais sustentável, reutilização de materiais ou otimização de processos de produção.
- Projetar para a circularidade: a ACV pode orientar o design de produtos considerando aspectos circulares desde o início. Avaliações de impacto ambiental podem informar decisões de *design*, promovendo a durabilidade, facilidade de desmontagem, reparo e reciclagem.
- Tomar decisões baseada em evidências: a ACV fornece dados tangíveis e evidências sobre os impactos ambientais associados a diferentes opções ao longo do ciclo de vida. Isso permite que as empresas tomem decisões informadas sobre práticas mais sustentáveis e econômicas.
- Avaliar alternativas e materiais: a ACV pode ser usada para comparar diferentes alternativas de materiais e processos de produção. Isso é crucial na economia circular, onde a seleção de materiais deve levar em consideração a reciclabilidade, a reutilização e outros critérios circulares.
- Estabelecer metas e Indicadores de Desempenho: com base nos resultados da ACV, as empresas podem estabelecer metas e indicadores de desempenho específicos para melhorar a sustentabilidade de seus produtos. Isso pode incluir metas relacionadas à eficiência no uso de recursos, à redução de resíduos e à maximização da vida útil dos produtos.
- Apoiar à comunicação e marketing sustentável: a ACV fornece uma base sólida para a comunicação transparente e sustentável. As empresas podem destacar seus esforços circulares, demonstrando o compromisso com a gestão responsável de recursos e a redução de impactos ambientais.
- Avaliar de impacto em cadeias de suprimentos: a ACV pode ser estendida para avaliar os impactos em toda a cadeia de suprimentos, ajudando as empresas a entenderem melhor como suas decisões afetam a sustentabilidade em diferentes estágios da produção e distribuição.

Depois de analisados os conceitos relacionados com a EC, é importante verificar sobre as legislações que se referem a EC, que é apresentada na próxima seção.

2.1.6 Legislação

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável é um plano de ação global para erradicar a pobreza, proteger o planeta e promover a prosperidade e a paz universal. Reconhecendo a erradicação da pobreza como o maior desafio global, a agenda visa transformar o mundo através de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, integrando as dimensões econômica, social e ambiental do desenvolvimento. Com a colaboração de todos os países e partes interessadas, o plano busca garantir que ninguém seja deixado para trás e promove direitos humanos, igualdade de gênero e empoderamento de mulheres e meninas (ONU, 2015).

Segundo ONU (2015), os objetivos das ODS são:

- 1) Erradicação da pobreza: acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares.
- 2) Fome zero e agricultura sustentável: acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável.
- 3) Saúde e Bem-Estar: assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades.
- 4) Educação de qualidade: assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todas e todos.
- 5) Igualdade de gênero: alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas.
- 6) Água potável e saneamento: assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos.
- 7) Energia limpa e acessível: assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos.

- 8) Trabalho decente e crescimento econômico: promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todas e todos.
- 9) Indústria, inovação e infraestrutura: construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.
- 10) Redução das desigualdades: reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles.
- 11) Cidades e comunidades sustentáveis: tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.
- 12) Consumo e produção responsáveis: assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.
- 13) Ação contra a mudança global do clima: tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos.
- 14) Vida na água: conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.
- 15) Vida terrestre: proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.
- 16) Paz, Justiça e Instituições Eficazes: promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.
- 17) Parcerias e meios de implementação: fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

No Brasil, pode-se considerar que as ODS e conceitos de EC começaram a ter uma legislação com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010. Ojima (2023) afirma que princípios e objetivos da PNRS estão associados com conceitos de EC e se comunica com algumas das ODS estabelecidas pelas ONU na Agenda 2030.

Segundo o artigo 4º da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, a PNRS abrange os princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações implementados pelo Governo Federal, seja de forma independente ou em cooperação

com Estados, Distrito Federal, Municípios ou entidades privadas, visando à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (Brasil, 2010).

No artigo 3º da lei de PNRS, alguns dos conceitos apresentados estão relacionados com a EC, como: ciclo de vida do produto; coleta seletiva; destinação final ambientalmente adequada; disposição final ambientalmente adequada; gerenciamento de resíduos sólidos; logística reversa; padrões sustentáveis de produção e consumo; reciclagem; e reutilização (Brasil, 2010).

Atualmente tramita no congresso federal o Projeto de Lei nº 1874, de 2022 que Institui a Política Nacional de Economia Circular (PNEC). O artigo 2º da PNEC apresenta conceitos importantes para a EC, como: adição de valor, ciclo de vida do produto, circularidade, economia circular, tecnologias de baixo carbono, recondicionamento, recuperação de valor, redução pelo *design*, remanufatura, reparo, reuso, transição justa, e valor. (Brasil, 2022).

Já o artigo 3º da PNEC apresenta os objetivos, que são:

- I - promover a gestão estratégica, o mapeamento e o rastreamento dos estoques e fluxos dos recursos no território nacional;
- II - promover novos modelos de negócios baseados em critérios de circularidade e suas soluções;
- III - fortalecimento das cadeias de valor por meio da adição, retenção e recuperação do valor dos recursos;
- IV - incentivo à pesquisa, desenvolvimento e inovação para a promoção da circularidade;
- V - conscientização da sociedade sobre o melhor uso de recursos, produtos e materiais;
- VI - estímulo à oferta de soluções em economia circular;
- VII - incentivo às atividades voltadas para a economia circular como estratégia de desenvolvimento econômico e social do País. (Brasil, 2022)

Já o artigo 1º da PNEC apresenta os princípios, que são:

- I - a eliminação de resíduos e poluição desde o início da cadeia de produção de bens e serviços;
- II - a manutenção do valor dos recursos, produtos e materiais em uso, pelo maior tempo possível;
- III - a regeneração dos sistemas naturais;
- IV - o pensamento sistêmico na gestão de recursos, considerando os impactos das interações entre sistemas ambientais, sociais e econômicos, tendo em conta a perspectiva do ciclo de vida das suas soluções;
- V - a regeneração, retenção, ou adição de valor, fornecendo soluções eficazes que utilizem os recursos de forma eficiente e contribuam para satisfazer as necessidades da sociedade;
- VI - a minimização da extração de recursos não renováveis e a gestão de recursos renováveis para regenerar e aumentar o valor ao longo do tempo;
- VII - o compartilhamento de valor em que organizações e partes interessadas colaborem ao longo da cadeia ou rede de valor, de forma inclusiva e equitativa, para benefício e bem-estar da sociedade;

- VIII - a rastreabilidade de estoques e fluxos de recursos de forma transparente e responsável, de modo a continuar a regenerar, reter, ou acrescentar valor, mantendo ao mesmo tempo o fluxo circular de recursos;
- IX - a resiliência do ecossistema promovida pelas práticas e estratégias organizacionais que contribuam para a regeneração dos recursos naturais e da sua biodiversidade;
- X - o incentivo ao consumo sustentável;
- XI - a promoção para a transição justa. (Brasil, 2022)

No dia 27 de junho de 2024 foi publicado o decreto n° 12.082 que Institui a Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC). A ENEC no seu artigo 2° traz uma definição de EC que corrobora com as definições apresentadas na seção 2.1.1. Já no artigo 3° e 4° da ENEC, algumas diretrizes e objetivos são estabelecidas que estão relacionadas com os princípios da EC, conceitos de indicadores e ciclo de vida que foram apresentados respectivamente nas seções 2.1.2, 2.1.3 e 2.1.5 dessa tese. Pode-se destacar as seguintes características do decreto da ENEC (Brasil, 2024):

- A manutenção do valor dos materiais;
- A redução da dependência de recursos naturais;
- A produção e o consumo sustentáveis;
- O aumento do ciclo de vida de todo e qualquer material;
- O estabelecimento de metas, padrões e indicadores quantificáveis para monitorar a circularidade;
- O desenvolvimento de mercados para produtos reutilizáveis, recondicionados e reciclados;
- O incentivo à reutilização e ao aumento da vida útil de produtos; e
- A minimização de resíduos desde a concepção do produto. (Brasil, 2024)

Por meio da análise dessas legislações, pode-se perceber que o Brasil está se preocupando com o meio ambiente por meio da implantação de estratégias da EC.

Depois de apresentados os conceitos e legislação relacionadas com a EC, a seção 2.1.7 apresenta os benefícios que a EC pode trazer.

2.1.7 Benefícios da Economia Circular

Diversos autores apresentam alguns benefícios da utilização da EC de acordo com sua aplicação. Nesse sentido, alguns exemplos de benefícios serão apresentados.

Amend *et al.* (2022) apresentam uma análise empírica que constatou que os usuários de *smartphones* SmartMod (pioneiro em sustentabilidade) são orientados para EC, pois esses *smartphones* são modulares e são propícios para o reparo (ou seja, autorreparo ou reparo do dispositivo por um serviço profissional). A prontidão geral para reparo é comparativamente alta. Apenas 13% dos *smartphones* modulares

e 15% dos *smartphones* semimodulares não foram consertados, enquanto para smartphones convencionais o número foi de 55%. Isso indica que a modularidade facilita o comportamento de reparo bem-sucedido por meio de um reparo mais fácil.

Boorsma *et al.* (2022) relatam um estudo de caso em que a remanufatura foi considerada separada e secundária ao desenvolvimento e produção de produtos recém-fabricados. Devido a esse *status* implícito, existe uma lacuna quando se trata de uma visão de *design* e uma estratégia de negócios integrada para remanufatura. Fechar essa lacuna pode ser feito usando o gerenciamento de *design* para elaborar uma estratégia de *design* sintonizada com o desenvolvimento de produtos para múltiplos ciclos de uso. Não abordar essa lacuna produzirá resultados abaixo do ideal e o risco de deixar a remanufatura como uma estratégia isolada de retenção de valor. Em sua forma atual, a empresa do caso utiliza apenas uma parte do possível valor que o *design* para remanufatura pode trazer. A empresa em análise optou por escolher modelos de negócios que suportem taxas de retorno vantajosas no mercado, como a disponibilização de produtos na modalidade de serviço. Nesse sentido, a extensão em que o *design* do produto pode suportar isso é determinada no estágio inicial do projeto. Ter uma visão de projeto e uma estratégia de negócios integrada que considere a fabricação e a remanufatura simultaneamente abriria a possibilidade de encontrar alinhamento com o *design* de novos produtos, aproveitando o valor estratégico da remanufatura e melhorar a adesão de toda a empresa para a remanufatura.

O trabalho realizado por Gagnon *et al.* (2022) consistiu em produtos florestais que podem ser compatíveis com os princípios da EC. Foram realizadas entrevistas com especialistas canadenses em *ecodesign*, economia circular, produtos florestais e/ou gestão de resíduos, com foco em construção e embalagens. Os esforços realizados pelas indústrias florestais na fase de produção para reduzir o consumo de recursos foram reconhecidos, mas a implementação de outras estratégias de EC, como a reutilização, a reciclagem e a recuperação de energia, é pequena. Embora existam oportunidades para melhorias incrementais, como o processamento de madeira recuperada em painéis de madeira e a reciclagem de fibras de papelão pode ser realizada desde que o papelão não seja misturado com outros resíduos.

Joustra *et al.* (2022) ressaltam que para avaliar a eficácia do método de dimensionamento de compósitos circulares, foram analisados casos com base no nível de integridade (produto ou material) e na natureza do sistema de recuperação (aberto ou fechado). Todos os casos exploraram estratégias de integridade de

materiais e produtos. O mapeamento da cadeia de valor mostrou caminhos de recuperação adicionais, o que levou à exploração de várias estratégias de integridade do produto. Mais notavelmente, a extensão da vida útil por meio de reparos foi abordada em todos os casos. Assim, o método de *design*, aplicado sob a orientação dos desenvolvedores do método, forneceu aos projetistas outras estratégias além das de ciclo de vida longo e reciclagem.

Essas interações forneceram requisitos explícitos de *design* de produto e uma seleção inicial de estratégias a serem consideradas no *design*. O método, com sua planilha de mapeamento de ciclo de vida subjacente e estrutura de *design*, é bem estruturado e reflete a priorização de estratégias de recuperação em uma economia circular. Os aspectos de *design* se baseiam em abordagens e práticas conhecidas da indústria e apoiam os *designers* na implementação de estratégias de EC em seus projetos de produtos (Joustra *et al.*, 2022).

Ortner, Tay e Wortmann (2022) utilizaram otimização multiobjetivo (MOO - *multi-objective optimization*) para realizar um projeto de produto que se baseia nos princípios da EC. O projeto demonstrou contribuir para uma produção mais limpa e reduzir o impacto ambiental. O estudo de caso apresentou um resultado de otimização relativamente grande e robusto, com uma redução de 23% ou uma redução de mais de 4,7 KgCO₂ por unidade de emissão de gás carbônico. Multiplicadas pelas muitas unidades criadas para o caso de estudo ou produto similar, essas otimizações apresentariam uma redução significativa no impacto ambiental.

Vimal *et al.* (2022) propuseram um modelo que promete um impacto positivo nos fatores sociais e ambientais, pois leva a comunidade a um estilo de vida mais sustentável. O modelo proposto envolve a equipe multifuncional, compreendendo essencialmente projeto, planejamento, engenharia e controle de qualidade. Isso aumenta a comunicação e o comprometimento e, portanto, tem uma implicação gerencial positiva. O fator econômico é afetado, pois o investimento inicial na matéria-prima é direcionado para a recuperação de materiais. A empresa, analisada no estudo caso, usou o CFD (*Circular Function Deployment* - Desdobramento da Função Circular), que é muito conveniente. O CFD consiste em acrescentar os conceitos de circularidade como requisitos no QFD (*Quality Function Deployment* - Desdobramento da Função Qualidade). Também pode ser realizado um CFD considerando somente os requisitos de circularidade. Assim, a empresa pode facilmente atualizar suas práticas de QFD para CFD. Por meio do novo projeto, a organização pode fabricar o

produto com menor quantidade de plástico, causando menos poluição e criando um estilo de vida mais sustentável. O novo *design* proposto de escova de dentes não só reduziu o impacto ambiental durante sua fabricação, mas também durante sua fase de trabalho, descarte e recuperação. As cerdas do *design* convencional da escova de dente são feitas de nylon. A produção de nylon cria óxido nitroso, um gás de efeito estufa, e a produção desses subprodutos nocivos é reduzida na produção do novo *design* de escova de dentes. A utilização do material em produtos de consumo complexos é um fator crucial para melhorar a circularidade. Assim, ao desenvolver um *design* de produto inovador, propõe-se que a escova de dentes seja feita de material totalmente reciclável; portanto, a utilização de materiais após a recuperação não leva a quaisquer subprodutos nocivos, ao contrário do *design* convencional da atual da escova de dentes. O CFD provou ser uma ferramenta altamente eficiente e rápida para identificar as partes significativas a redesenhar para a circularidade e aumentar o fator de sustentabilidade.

Wang, Burke e Zhang (2022) realizaram um estudo que propõe um roteiro para o projeto de produto circular que engloba pontos críticos e as condições de suporte em vários níveis (ou seja, níveis macro, meso e micro). Para superar as barreiras ao projeto de produto circular são necessários esforços colaborativos de todas as partes interessadas envolvidas. No nível macro, os governos podem promulgar legislação e usar incentivos econômicos para criar um ambiente de negócios que apoie o projeto circular de produtos. Os governos precisam trabalhar com as comunidades para fornecer infraestruturas essenciais para a recuperação de valor de produtos e resíduos em fim de vida, por exemplo, coleta de lixo e instalações de reciclagem. Além disso, precisam fazer parceria com instituições de ensino em educação ambiental para transformar a cultura para ser mais receptiva aos produtos circulares. No nível meso, estabelecendo a simbiose industrial, que geralmente é realizada em parques eco-industriais, ajuda a facilitar as trocas de resíduos por recursos entre empresas parceiras. No nível micro, as empresas devem desenvolver capacidades de projeto circular de produtos e reconfigurar suas cadeias de suprimentos (por exemplo, logística reversa e localização) para permitir um fluxo circular de produtos e materiais. Pode ser feito um *lobby* com apoio governamental para educar os consumidores sobre os benefícios ambientais de seus produtos circulares.

Zikopoulos (2022) ressalta que o desempenho ambiental dos sistemas de remanufatura é melhor que o de manufatura, pois apresenta maior aproveitamento dos materiais devolvidos, menor consumo de material por usuário do produto e maior número de unidades que ficam em operação por dois períodos. Já o sistema de manufatura tem a desvantagem em relação a remanufatura em se tratando de consumo de matérias-primas virgens. Já na geração de resíduos, os dois sistemas são equivalentes.

Com base nesses autores, foi elaborado um quadro contendo 17 benefícios classificados em cinco categorias de benefícios que a EC pode proporcionar quando está relacionada com o desenvolvimento de produtos. Essas categorias foram: Governo, Organização, Reparo, Reciclagem e Remanufatura. O Quadro 5 apresenta diversos autores que apresentaram os benefícios em seu estudo e que foram agrupados de acordo com o benefício e a categoria correspondente.

Stakeholders	Benefícios	Autores
Governo	Fornecer infraestruturas essenciais para a recuperação de valor de produtos e resíduos, exemplo coleta de lixo e instalações de reciclagem	Jugend <i>et al.</i> (2020); Khan e Haleem (2021); Sihvonen e Partanen (2016); Wang, Burke, e Zhang (2022)
	Promulgar legislação como incentivo	Fernando <i>et al.</i> (2021); Jugend <i>et al.</i> (2020); Khan e Haleem (2021); Ko (2020); Offerding, Dlugoborskyte, e Herstatt (2021); Sihvonen e Partanen (2016); Wang, Burke, e Zhang (2022)
Organização	Circularidade	Almeida, Borsato, e Ugaya (2017); Ameli, Mansour, e Ahmadi-Javid (2019); Asif <i>et al.</i> (2021); Batwara <i>et al.</i> (2022); Bovea e Pérez-Belis (2018); Bressanelli <i>et al.</i> (2020); Desing, Braun, e Hischier (2021); Diaz <i>et al.</i> (2021); Dokter, Thuvander, e Rahe (2021); Evrard <i>et al.</i> (2021); Fernando <i>et al.</i> (2021); Franco (2017); Gagnon <i>et al.</i> (2022); Hapuwatte e Jawahir (2021); He <i>et al.</i> (2021); Hollander, Bakker, e Hultink (2017); Huertas <i>et al.</i> (2013); Jiang <i>et al.</i> (2021); Khan e Haleem (2021); Loon, Diener, e Harris (2021); Mesa, Esparragoza, e Maury (2018); Mestre e Cooper (2017); Nag, Sharma, e Kumar (2022); Oliveira <i>et al.</i> (2016); Pamminger, Glaser, e Wimmer (2021); Pastor <i>et al.</i> (2022); Pérez-Ortega <i>et al.</i> (2021); Sihvonen e Partanen (2016); Sousa-Zomer <i>et al.</i> (2018); Sumter <i>et al.</i> (2020); Sumter <i>et al.</i> (2021); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019); Vanegas <i>et al.</i> (2018); Vimal <i>et al.</i> (2022); Vinodh e Rathod (2010); Wang, Burke, e Zhang (2022)
	Fator de sustentabilidade	Ameli, Mansour, e Ahmadi-Javid (2019); Batwara <i>et al.</i> (2022); Bovea e Pérez-Belis (2012); Bovea e Pérez-Belis (2018); Chouinard <i>et al.</i> (2019); Eddy <i>et al.</i> (2014); Ford e Fisher (2019); Hapuwatte e Jawahir (2021); Hollander, Bakker, e Hultink (2017); Huertas <i>et al.</i> (2013); Khan e Haleem (2021); Ko (2020); Lama <i>et al.</i> (2022); Mesa, Esparragoza, e Maury (2018); Mestre e Cooper (2017); Mohagheghian <i>et al.</i> (2021); Nag, Sharma, e Kumar (2022); Pamminger, Glaser, e Wimmer (2021); Sihvonen e Partanen (2016); Spreafico (2022); Sumter <i>et al.</i> (2020); Sumter <i>et al.</i> (2021); Vimal <i>et al.</i> (2022); Vinodh e Rathod (2010); Vinodh <i>et al.</i> (2017)
	Logística reversa	Atlason, Giacalone, e Parajuly (2017); Franco (2017); Jugend <i>et al.</i> (2020); Khan e Haleem (2021); Moreno <i>et al.</i> (2016); Oliveira <i>et al.</i> (2016); Sumter <i>et al.</i> (2020); Vihma e Moora (2020); Wang, Burke, e Zhang (2022)
	Modelos de negócios, oferecer produto como serviço	Asif <i>et al.</i> (2021); Bocken <i>et al.</i> (2016); Boorsma <i>et al.</i> (2022); Bressanelli <i>et al.</i> (2020); Dokter, Thuvander, e Rahe (2021); Franco (2017); Jugend <i>et al.</i> (2020); Moreno <i>et al.</i> (2016); Rios e Charnley (2017); Shahbazi e Jönbrink (2020); Sumter <i>et al.</i> (2020); Sumter <i>et al.</i> (2021); Wang, Burke, e Zhang (2022)
	Modularidade facilita o comportamento de reparo bem-sucedido	Amend <i>et al.</i> (2022); Asif <i>et al.</i> (2021); Bocken <i>et al.</i> (2016); Bressanelli <i>et al.</i> (2020); Chouinard <i>et al.</i> (2019); Cordella <i>et al.</i> (2021); Dokter, Thuvander e Rahe (2021); Hollander, Bakker e Hultink (2017); Joustra, Flipsen, e Balkenende (2021); Mesa, Esparragoza, e Maury (2018); Moreno <i>et al.</i> (2016); Oliveira <i>et al.</i> (2016); Pamminger, Glaser e Wimmer (2021); Shahbazi, Johansen e Sundin (2021); Sumter <i>et al.</i> (2020); Sumter <i>et al.</i> (2021)
	Produção mais limpa	Batwara <i>et al.</i> (2022); Evrard <i>et al.</i> (2021); Fernando <i>et al.</i> (2021); Huertas <i>et al.</i> (2013); Khan e Haleem (2021); Ko (2020); Offerding, Dlugoborskyte e Herstatt (2021); Oliveira <i>et al.</i> (2016); Ortner, Tay, e Wortmann (2022); Pérez-Ortega <i>et al.</i> (2021); Pigosso, Rozenfeld, e McAloone (2013); Sousa-Zomer <i>et al.</i> (2018); Sumter <i>et al.</i> (2020); Sumter <i>et al.</i> (2021); Tao <i>et al.</i> (2017); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019); Vinodh <i>et al.</i> (2017)
	Reduzir o impacto ambiental	Almeida, Borsato, e Ugaya (2017); Batwara <i>et al.</i> (2022); Bovea e Pérez-Belis (2012); Bressanelli <i>et al.</i> (2020); Chouinard <i>et al.</i> (2019); Desing, Braun, e Hischier (2021); Diaz <i>et al.</i> (2021); Evrard <i>et al.</i> (2021); Fernando <i>et al.</i> (2021); He <i>et al.</i> (2021); Hollander, Bakker, e Hultink (2017); Huertas <i>et al.</i> (2013); Jensen <i>et al.</i> (2019); Jugend <i>et al.</i> (2020); Khan e Haleem (2021); Ko (2020); Lama <i>et al.</i> (2022); Laurenti <i>et al.</i> (2015); Lin (2018); Loon, Diener, e Harris (2021); Mestre e Cooper (2017); Offerding, Dlugoborskyte, e Herstatt (2021); Ortner, Tay, e Wortmann (2022); Pamminger, Glaser, e Wimmer (2021); Pérez-Ortega <i>et al.</i> (2021); Pigosso, Rozenfeld, e McAloone (2013); Rios e Charnley (2017); Sauerwein <i>et al.</i> (2019); Shahbazi e Jönbrink (2020); Sihvonen e Partanen (2016); Sousa-Zomer <i>et al.</i> (2018); Spreafico (2022); Sumter <i>et al.</i> (2020); Sumter <i>et al.</i> (2021); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019); Vimal <i>et al.</i> (2022); Vinodh e Rathod (2010); Vinodh <i>et al.</i> (2017)
	Simbiose industrial	Khan e Haleem (2021); Moreno <i>et al.</i> (2016); Sumter <i>et al.</i> (2021); Vihma e Moora (2020); Wang, Burke, e Zhang (2022)
	Utilização de materiais reciclado e recicláveis	Almeida, Borsato, e Ugaya (2017); Ameli, Mansour, e Ahmadi-Javid (2019); Batwara <i>et al.</i> (2022); Bocken <i>et al.</i> (2016); Cong, Zhao, e Sutherland (2019); Fernando <i>et al.</i> (2021); Ford e Fisher (2019); He <i>et al.</i> (2021); Jugend <i>et al.</i> (2020); Ko (2020); Laurenti <i>et al.</i> (2015); Leal <i>et al.</i> (2020); Oliveira <i>et al.</i> (2016); Pérez-Ortega <i>et al.</i> (2021); Sauerwein <i>et al.</i> (2019); Shahbazi, Johansen, e Sundin (2021); Sousa-Zomer <i>et al.</i> (2018); Tao <i>et al.</i> (2017); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019); Vimal <i>et al.</i> (2022)

Quadro 5: Classificação dos autores segundo os benefícios da EC apresentados – Parte 1

Stakeholders	Benefícios	Autores
Reciclagem	Facilidade de reciclagem por causa da seleção correta	Almeida, Borsato e Ugaya (2017); Ameli, Mansour e Ahmadi-Javid (2019); Bocken <i>et al.</i> (2016); Bressanelli <i>et al.</i> (2020); Cong, Zhao, e Sutherland (2019); Franco (2017); Gagnon <i>et al.</i> (2022); Huertas <i>et al.</i> (2013); Jugend <i>et al.</i> (2020); Khan e Haleem (2021); Laurenti <i>et al.</i> (2015); Leal <i>et al.</i> (2020); Oliveira <i>et al.</i> (2016); Pérez-Ortega <i>et al.</i> (2021); Shahbazi e Jönbrink (2020); Sousa-Zomer <i>et al.</i> (2018); Tao <i>et al.</i> (2017); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019)
Remanufatura	Maior aproveitamento dos materiais devolvidos	Almeida, Borsato e Ugaya (2017); Boorsma <i>et al.</i> (2022); Bressanelli <i>et al.</i> (2020); Chouinard <i>et al.</i> (2019); Evrard <i>et al.</i> (2021); Ford e Fisher (2019); Gagnon <i>et al.</i> (2022); Jensen <i>et al.</i> (2019); Khan e Haleem (2021); Laurenti <i>et al.</i> (2015); Loon, Diener, e Harris (2021); Moreno <i>et al.</i> (2016); Pamminger, Glaser, e Wimmer (2021); Shahbazi e Jönbrink (2020); Sousa-Zomer <i>et al.</i> (2018); Zikopoulos (2022)
	Maior número de unidades que ficam em operação por dois períodos	Asif <i>et al.</i> (2021); Dokter, Thuvander e Rahe (2021); Evrard <i>et al.</i> (2021); Jensen <i>et al.</i> (2019); Joustra, Flipsen, e Balkenende (2021); Jugend <i>et al.</i> (2020); Shahbazi, Johansen, e Sundin (2021); Sousa-Zomer <i>et al.</i> (2018); Sumter <i>et al.</i> (2020); Zikopoulos (2022)
	Menor consumo de material por usuário do produto	Chouinard <i>et al.</i> (2019); Evrard <i>et al.</i> (2021); Jensen <i>et al.</i> (2019); Laurenti <i>et al.</i> (2015); Loon, Diener, e Harris (2021); Pamminger, Glaser, e Wimmer (2021); Shahbazi, Johansen, e Sundin (2021); Sumter <i>et al.</i> (2020); Wang, Burke, e Zhang (2022); Zikopoulos (2022)
Reparo	Autorreparo ou reparo do dispositivo por um serviço profissional) é muito alta, particularmente quando eles possuem um smartphone modular	Amend <i>et al.</i> (2022); Bocken <i>et al.</i> (2016); Cordella <i>et al.</i> (2021); Dokter, Thuvander e Rahe (2021); Hollander, Bakker e Hultink (2017); Moreno <i>et al.</i> (2016); Shahbazi, Johansen e Sundin (2021)
	Extensão da vida útil por meio de reparos	Almeida, Borsato e Ugaya (2017); Asif <i>et al.</i> (2021); Bocken <i>et al.</i> (2016); Bressanelli <i>et al.</i> (2020); Chouinard <i>et al.</i> (2019); Cordella <i>et al.</i> (2021); Dokter, Thuvander e Rahe (2021); Evrard <i>et al.</i> (2021); Hollander, Bakker, e Hultink (2017); Joustra <i>et al.</i> (2022); Joustra, Flipsen, e Balkenende (2021); Jugend <i>et al.</i> (2020); Khan e Haleem (2021); Loon, Diener e Harris (2021); Moreno <i>et al.</i> (2016); Offerdinger, Dlugoborskyte e Herstatt (2021); Pamminger, Glaser e Wimmer (2021); Shahbazi e Jönbrink (2020); Shahbazi, Johansen e Sundin (2021); Sumter <i>et al.</i> (2020); Sumter <i>et al.</i> (2021)

Quadro 6: Classificação dos autores segundo os benefícios da EC apresentados – Parte 2

Fonte: elaborado pelo autor

Além de benefícios, a EC também apresenta barreiras que são apresentadas na seção 2.1.8.

2.1.8 Barreiras da Economia Circular

Embora muitos dos ramos empresariais e políticos tenham proclamado o seu apoio à EC, a sua implementação ainda parece estar numa fase inicial. O progresso limitado na implementação da EC pode ser atribuído a uma variedade de barreiras (Kirchherr *et al.*, 2018).

Segundo Kirchherr *et al.* (2018), as barreiras para a implantação da EC podem ser: Cultural, de Mercado, Regulatória e Tecnológica.

A barreira cultural pode ser entendida como sendo a falta de consciência e/ou vontade de se envolver com EC. De acordo com Cordella *et al.* (2021), Kirchherr *et al.* (2018) e Vihma e Moora (2020), as seguintes situações podem estar relacionadas com a barreira cultural:

- As empresas estão acostumadas a operar em um sistema linear;
- Disposição limitada para colaborar na cadeia de valor, nem todas as empresas estão dispostas a colaborar uma com as outras;
- Falta de consciência e interesse do consumidor;
- Hesitação dos funcionários por causa da cultura da empresa.

A barreira de mercado pode estar relacionada com a falta de viabilidade econômica de modelos de negócios circulares. Segundo Bressanelli *et al.* (2020), Hapuwatte e Jawahir (2021) e Kirchherr *et al.* (2018), as seguintes situações podem estar relacionadas com a barreira de mercado:

- A compra de material virgem tem um baixo custo, o que pode inviabilizar a utilização de material reciclado;
- É necessário um alto investimento para implantação da EC, o que acarreta um custo inicial alto;
- Falta de padronização para modelos circulares. Será necessário um novo aprendizado para que o processo possa ser padronizado;
- Há uma dificuldade em obter financiamento para a implantação de modelos de negócios circulares.

A barreira regulatória pode estar relacionada com a falta de políticas de apoio a uma transição da economia linear para EC. Khan e Haleem (2021), Kirchherr *et al.*

(2018) e Wang, Burke e Zhang (2022) apresentam as seguintes situações que podem estar relacionadas com a barreira regulatória:

- As compras de produtos circulares são limitadas, pois a maioria dos consumidores olham apenas para o custo sem se importar com a sustentabilidade;
- Falta consenso global, pois as empresas relacionam com outras de diferentes países, então você precisa de um alto nível de consenso e isso não é fácil;
- Há falta de legislações e decisões governamentais para apoiar a EC.

A barreira tecnológica pode ser entendida como sendo a falta de tecnologias para implementar o EC. De acordo com Chouinard *et al.* (2019), Kirchherr *et al.* (2018) e Sumter *et al.* (2021), as seguintes situações podem estar relacionadas com a barreira tecnológica:

- Aplicação limitada de novos modelos de negócios;
- Falta de capacidade de fornecer alta qualidade nos produtos remanufaturados;
- Falta de dados como, por exemplo, sobre impactos ambientais de alguns materiais que compõe o produto;
- Os produtos não são projetados para modelos de negócios circulares;
- Pouca disponibilidade e qualidade limitada de materiais reciclados.

Amend *et al.* (2022) realizaram um estudo abordando os *smartphones* que podem apresentar algumas dificuldades no processo de reparo, como: a indisponibilidade de peças de reposição, ferramentas de reparo, manuais de reparo, o custo das peças de reposição, o tempo necessário ou a complexidade do reparo.

De acordo com Diaz, Reyes e Baumgartner (2022), algumas empresas apresentam uma fraca intensão relacionada à sustentabilidade, pois essas empresas não estão pensando em implantação da EC como uma retenção de valor do produto, mas sim para cumprir alguns requisitos legais que são impostos. Outras empresas pensam na extensão da vida útil dos produtos por meio de reparos como sendo uma oportunidade de mercado exclusivamente e não com o pensamento voltados para a EC como apresentados nas definições e nos princípios da EC. Outra barreira,

apresentada por Diaz, Reyes e Baumgartner (2022), está relacionada com o sistema de gerenciamento de informações visto que os gerentes dessa área precisam se envolver ativamente para que a estratégia de retenção de valor e de EC possam ser implementadas de forma eficiente, pois esses gerentes atuam com o fluxo de informações organizacionais que são conectores verticais e horizontais. Também é mencionada a barreira financeira, visto que a implantação da EC requer um investimento substancial de recursos.

Gagnon *et al.* (2022) ressaltam que as principais barreiras, como falta de conscientização e demanda, custos mais altos, falta de políticas harmonizadas, abordagens isoladas e lacunas em inovação e tecnologia foram identificadas como impeditivas para a adoção mais ampla no Canadá. No caso dos materiais de construção, foram identificadas barreiras significativas para a implementação das estratégias mais promissoras: para a madeira, a recuperação em larga escala é praticamente impossível porque os edifícios não são projetados para desconstrução e desmontagem; para o aglomerado, o uso de resinas e laminados limita as possibilidades de recuperação de energia.

Gagnon *et al.* (2022) propõem, com base nas soluções propostas por especialistas, uma aceleração na implantação de estratégias de economia circular para produtos florestais. Para tanto, é necessário que o nível de preparação de políticas seja diferente no setor de construção e no setor de embalagens. Reunir as partes interessadas relevantes para chegar a um acordo geral sobre o que significa circularidade para o setor de construção, em paralelo com o apoio direcionado ao desenvolvimento de tecnologias que permitem a desmontagem e a desconstrução, são atualmente os próximos passos importantes para a adoção de práticas mais circulares. Para embalagens, o quadro político existente precisa ser refinado e ampliado, em paralelo com investimentos em infraestrutura de gerenciamento de resíduos, para promover a recuperação e reintrodução de materiais em processos de fabricação.

Joustra *et al.* (2022) realizaram um estudo de casos que apresentou um amplo potencial para redesenho. Estes foram desenvolvidos como parte de um projeto inovador na indústria, que incentivou os participantes a explorar o *design* de produtos circulares, juntamente com seus modelos de negócios. Contudo, deparou-se com um desafio significativo devido à infraestrutura existente para recuperação e reprocessamento, especialmente em setores de grande porte, como o automotivo.

Esses sistemas costumam ser configurados de maneira linear em vez de circular, o que dificulta a adoção de estratégias de *design* circular. Portanto, as possibilidades de implementação da EC são limitadas pelas estruturas de negócios existentes, logística, tecnologias de reprocessamento e contextos políticos, entre outros fatores.

Nag, Sharma e Kumar (2022) apresentam três barreiras para a implantação da EC. A primeira diz respeito a padronização de produtos, que já está enraizada no sistema linear, para um sistema circular. Tudo precisará ser aprendido e padronizado novamente. A segunda refere-se à obsolescência de produtos, que dependendo do ramo é muito rápida e os consumidores não querem produtos ultrapassados ou o reparo pode não ser possível por falta de componentes. A terceira trata da inovação do modelo de negócios, pois é preciso um investimento em inovação para se ter um sistema circular.

Okumura (2022) afirma que quanto maior a reutilização de um produto em fim de vida, maior a probabilidade de o produto reutilizado falhar do que um produto recém-fabricado. Dessa forma, isso pode ser uma barreira tanto para a empresa investir em reparo quanto para os consumidores.

Zikopoulos (2022) ressalta duas barreiras que prejudicam as empresas na implantação da EC. Uma delas está relacionada a consciência ambiental dos consumidores, que não percebe os benefícios socioambientais que estão relacionados com os produtos. Outra barreira está relacionada com a intervenção do governo, que nesse caso está relacionada com as empresas pensando mais no aspecto financeiros e não propriamente em incentivar a produção visando a sustentabilidade.

Dokter, Thuvander e Rahe (2021) relatam que um desafio para a EC é a criação de projetos de produtos voltados para a circularidade, pois é preciso abordar diversos ciclos de vida do produto e precisa da colaboração de várias pessoas para que os recursos e processos sejam otimizados. Outro desafio está relacionado a falta de regulamentos e políticas que apoiem a circularidade e regulamentações mais rígidas no cálculo do impacto ambiental das soluções de *design*.

Evrard *et al.* (2021) apresentam o conceito de produtos imortais, que são produtos feitos para durar muito tempo e podem ser reparados e atualizados em partes para que o seu ciclo de vida seja estendido. Mas, isso pode acarretar alguns problemas, como: por usar tecnologia antiga, esses produtos podem ser mais poluentes que produtos novos que utilizem tecnologia mais atualizada, ao considerar

o uso durante o dia a dia; a aceitabilidade pelos consumidores também pode se tornar um problema depois de um certo tempo com diferenças estéticas inevitáveis com produtos similares mais recentes que os tornariam menos desejáveis, apesar das atualizações funcionais dos produtos imortais; com o passar do tempo pode acontecer um aumento nas atividades de reparo ou remanufatura dos produtos, que pode se tornar um problema e ter um alto custo de manter um produto com tecnologia desatualizada.

Fernando *et al.* (2021) ressaltam que em um país em desenvolvimento como a Malásia, o apoio do governo desempenha um papel crítico no fomento da indústria. Os resultados mostraram que as regulamentações governamentais afetam diretamente o desempenho do produto reciclado, mas não afetam a competitividade do produto reciclado, e os governos promovem produtos locais inovadores em todo o mundo. No entanto, a competitividade de um produto depende das preferências do mercado global.

Segundo He *et al.* (2021), a conexão entre componentes e peças afeta diretamente a reciclabilidade dos veículos após serem descartados. Alguns materiais que podem ser reciclados ou facilmente reciclados tornar-se-ão difíceis de reciclar ou tornar-se-ão não recicláveis porque a ligação com outros materiais era a colagem e a soldadura, que são difíceis de separar ou desmontar. Além disso, novas formas de desmontar veículos elétricos (vários tipos, componentes valiosos em baterias, motores e componentes eletrônicos de potência) precisam ser desenvolvidas. Essas deficiências reduzem o valor de reciclagem dos veículos em fim de vida.

De acordo com Jiang *et al.* (2021), as empresas estão começando a incorporar a sustentabilidade corporativa em sua visão estratégica. Isso aumentará gradualmente a conscientização sobre sustentabilidade entre os *designers*, ajudando-os a identificar pesquisas mais relevantes e, eventualmente, começar a produzir produtos e processos sustentáveis.

Joustra, Flipsen e Balkenende (2021) ressaltam que as estratégias apresentadas se concentram em prolongar a vida útil do produto e preservar recursos, mas não consideram explicitamente as questões de segurança envolvidas com materiais compostos. Os riscos são encontrados ao longo da vida útil do produto composto e incluem a liberação de compostos orgânicos voláteis, fibras e partículas e poeira. Tudo isso representa uma ameaça à saúde humana e ao meio ambiente. Além disso, o (re)processamento, que visa separar, ou pelo menos reduzir, o tamanho

dos materiais, arrisca emissões perigosas. Assim, além de preservar os recursos, são necessárias medidas adicionais para lidar com os impactos humanos, ambientais e ecológicos da fabricação, uso e reprocessamento de materiais compósitos.

A contaminação dos materiais na etapa de reciclagem continua sendo um desafio. A mistura indesejada dificulta o reprocessamento, pois a maioria dos processos se beneficia ou mesmo depende de uma entrada de material bem definida para fornecer um reciclado de boa qualidade. Para reutilização, a mistura de diferentes tipos de materiais deve ser evitada para evitar complicar ainda mais a composição do material para recuperação futura (Joustra, Flipsen e Balkenende, 2021).

Khan e Haleem (2021) realizaram um estudo que sugere que há menos conscientização entre os consumidores e parceiros da cadeia de suprimentos sobre as práticas circulares. Portanto, há a necessidade de ações de conscientização ou publicidade para endossar a noção de EC. Projetar produtos para circularidade é uma prática de alta prioridade que precisa de investimento em pesquisa e *design*. Nesse contexto, incentivos governamentais em termos de apoio financeiro podem ajudar no desenvolvimento para adoção da EC. Também foi mencionado a dificuldade que os especialistas podem ter por causa de preconceitos regionais e culturais.

Loon, Diener e Harris (2021) fazem uma crítica onde maioria dos estudos parece assumir um mundo estático onde a introdução do produto circular não tem impacto no consumo. Especialmente quando se considera modelos de negócios circulares, a função em vez de produtos precisa ser a unidade de análise, implicando na inclusão de possíveis mudanças no consumo. Há necessidade de verificar os desempenhos impactos ambientais mais amplos, por exemplo, transportes de retorno e itens não reutilizáveis, melhorias e degradação de eficiência energética e efeitos rebote. Há uma dificuldade na implantação de estratégias de *design* de produto para EC, por exemplo, modularidade, capacidade de atualização, capacidade de reparo. Da mesma forma, o efeito dos modelos de negócios circulares sobre o consumo ainda não foi incluído nas avaliações ambientais.

Segundo Offerdinger, Dlugoborskyte e Herstatt (2021), há uma dificuldade em encontrar materiais circulares similares que possam substituir a matéria-prima como, por exemplo, o plástico que pode ser substituído por um material composto, mas será que esse material terá a mesma aparência e propriedades do plástico? Terá as mesmas características de barreira e prazo de validade? Outra dificuldade encontrada

está relacionada com o fluxo de resíduos e reciclagem de papel e plástico que muitas vezes estão contaminados e cheios de lixo.

Leal *et al.* (2020) citam algumas dificuldades que podem acontecer na implantação a EC, como:

- Dificuldade em obter as informações detalhadas de fim de ciclo de vida do produto necessárias para usar os indicadores;
- Os dados utilizados para avaliar a compatibilidade e reciclabilidade dos materiais precisam ser atualizados constantemente para que a análise reflita melhor a realidade das cadeias de reciclagem;
- Dificuldade de avaliar o uso de material reciclado, considerando aspecto técnico, econômico e ambiental;
- Dificuldade de acesso à informação, especialmente dados ambientais, dos materiais utilizados;
- Os dados técnicos, econômicos e ambientais utilizados para avaliar os indicadores de conveniência precisam ser constantemente atualizados;
- A conveniência de usar um material reciclado pode mudar com o tempo, por isso não pode ser reduzida a uma análise única. Uma avaliação dinâmica é, portanto, necessária. A conveniência econômica é um bom exemplo, pois pode flutuar ao longo do tempo devido à disponibilidade dos metais;
- A avaliação da conveniência não leva em consideração o impacto econômico ou ambiental de toda a produção. De fato, uma pequena redução de custo pode induzir às vezes uma grande economia quando toda a produção é considerada. O mesmo acontece com os impactos ambientais e, portanto, este pode ser um fator decisivo para o projetista.

Como feito para os benefícios, foi elaborado um quadro contendo 28 barreiras ou dificuldades que foram classificados em seis categorias de barreiras para a implantação da EC que podem ser encontradas quando estão relacionadas com o desenvolvimento de produtos. Essas categorias foram: Governo, Organização, Reparo, Reciclagem, Reutilização e Sociedade. O Quadro 6 apresenta diversos autores que apresentaram as barreiras em seu estudo e que foram agrupados de acordo com a categoria correspondente.

Stakeholders	Barreiras	Autores
Governo	Falta de políticas de apoio	Khan e Haleem (2021); Mestre and Cooper (2017); Moreno <i>et al.</i> (2016); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019); Vihma e Moora (2020)
	Intervenção do governo	Fernando <i>et al.</i> (2021); Mestre e Cooper (2017); Zikopoulos (2022)
	Limitação por questões políticas	Dokter, Thuvander, e Rahe (2021); Gagnon <i>et al.</i> (2022); Joustra <i>et al.</i> (2022); Jugend <i>et al.</i> (2020); Laurenti <i>et al.</i> (2015); Moreno <i>et al.</i> (2016); Sumter <i>et al.</i> (2021); Wang, Burke, e Zhang (2022)
Organização	Barreiras financeiras	Bressanelli <i>et al.</i> (2020); Diaz, Reyes, e Baumgartner (2022); Gagnon <i>et al.</i> (2022); Sumter <i>et al.</i> (2021); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019); Vihma e Moora (2020)
	Cultura das pessoas da organização	Bovea e Pérez-Belis (2012); Chouinard <i>et al.</i> (2019); Dokter, Thuvander e Rahe (2021); Jiang <i>et al.</i> (2021); Khan e Haleem (2021); Mestre e Cooper (2017); Pigosso, Rozenfeld, e McAloone (2013); Sousa-Zomer <i>et al.</i> (2018); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019); Vihma e Moora (2020)
	Custos altos	Gagnon <i>et al.</i> (2022); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019)
	Dificuldade de <i>design</i> para circularidade	Almeida, Borsato e Ugaya (2017); Bovea e Pérez-Belis (2012); Chouinard <i>et al.</i> (2019); Dokter, Thuvander e Rahe (2021); Hollander, Bakker e Hultink (2017); Ko (2020); Mohagheghian <i>et al.</i> (2021); Tao <i>et al.</i> (2017)
	Dificuldade de modularidade dos produtos	Loon, Diener, e Harris (2021); Mesa, Esparragoza, e Maury (2018); Sauerwein <i>et al.</i> (2019); Tao <i>et al.</i> (2017)
	Dificuldade de utilizar material reciclado	Hollander, Bakker, e Hultink (2017); Leal <i>et al.</i> (2020)
	Inovação do Modelo de Negócios	Franco (2017); Jensen <i>et al.</i> (2019); Moreno <i>et al.</i> (2016); Nag, Sharma e Kumar (2022)
	Limitação de infraestrutura e Tecnologia	Almeida, Borsato, e Ugaya (2017); Bocken <i>et al.</i> (2016); Ford e Fisher (2019); Gagnon <i>et al.</i> (2022); Huertas <i>et al.</i> (2013); Joustra <i>et al.</i> (2022); Jugend <i>et al.</i> (2020); Khan e Haleem (2021); Laurenti <i>et al.</i> (2015); Loon, Diener, e Harris (2021); Mestre e Cooper (2017); Moreno <i>et al.</i> (2016); Pigosso, Rozenfeld, e McAloone (2013); Sumter <i>et al.</i> (2021); Tao <i>et al.</i> (2017); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019); Vihma e Moora (2020); Wang, Burke, e Zhang (2022)
	Limitações de sistemas de gerenciamento de informações	Diaz <i>et al.</i> (2021); Huertas <i>et al.</i> (2013); Mesa, Esparragoza e Maury (2018); Mohagheghian <i>et al.</i> (2021)
	Logística e cadeia de suprimentos	Almeida, Borsato e Ugaya (2017); Bocken <i>et al.</i> (2016); Franco (2017); Huertas <i>et al.</i> (2013); Joustra <i>et al.</i> (2022); Jugend <i>et al.</i> (2020); Khan e Haleem (2021); Loon, Diener e Harris (2021); Sumter <i>et al.</i> (2021); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019); Wang, Burke, e Zhang (2022)
	Necessidade de cumprir requisitos legais	Asif <i>et al.</i> (2021); Chouinard <i>et al.</i> (2019); Diaz, Reyes, e Baumgartner (2022); Sumter <i>et al.</i> (2021); Wang, Burke, e Zhang (2022)
	Obsolescência do produto	Chouinard <i>et al.</i> (2019); Leal <i>et al.</i> (2020); Nag, Sharma, e Kumar (2022)
	Padronização de produtos e processos	Hapuwatte e Jawahir (2021); Huertas <i>et al.</i> (2013); Jiang <i>et al.</i> (2021); Nag, Sharma, e Kumar (2022); Ofterdinger, Dlugoborskyte, e Herstatt (2021); Pigosso, Rozenfeld, e McAloone (2013); Sauerwein <i>et al.</i> (2019); Tao <i>et al.</i> (2017)
	Produtos de longa duração podem ter tecnologias desatualizadas	Evrard <i>et al.</i> (2021); Hollander, Bakker, e Hultink (2017)
	Reparo após uma oportunidade de mercado	Asif <i>et al.</i> (2021); Diaz, Reyes, e Baumgartner (2022); Jensen <i>et al.</i> (2019); Shahbazi, Johansen, e Sundin (2021)

Quadro 7: Classificação dos autores segundo as barreiras da EC apresentados – Parte 1

Stakeholders	Barreiras	Autores
Reciclagem	A mistura indesejada dificulta o reprocessamento	He <i>et al.</i> (2021); Joustra, Flipsen, e Balkenende (2021); Leal <i>et al.</i> (2020)
	Competitividade de um produto reciclado depende das preferências do mercado global	Fernando <i>et al.</i> (2021); Ford e Fisher (2019)
	Contaminação de materiais como papel e plástico	Joustra, Flipsen, e Balkenende (2021); Offerdinger, Dlugoborskyte, e Herstatt (2021)
	Dificuldade de desmontagem e separação	Bressanelli <i>et al.</i> (2020); He <i>et al.</i> (2021); Sauerwein <i>et al.</i> (2019); Vanegas <i>et al.</i> (2018)
Reparo	Dificuldade de desmontagem	Bressanelli <i>et al.</i> (2020); Gagnon <i>et al.</i> (2022); He <i>et al.</i> (2021); Vanegas <i>et al.</i> (2018)
	Indisponibilidade de peças de reposição, ferramentas de reparo, manuais de reparo, o custo das peças de reposição, o tempo necessário ou a complexidade do reparo	Amend <i>et al.</i> (2022); Mohagheghian <i>et al.</i> (2021); Sauerwein <i>et al.</i> (2019)
Reutilização	Dificuldade de reaproveitamento por causa do processo utilizado	Gagnon <i>et al.</i> (2022); Shahbazi, Johansen, e Sundin (2021)
	Quanto maior a reutilização de um produto em fim de vida, maior a probabilidade de o produto reutilizado falhar do que um produto recém-fabricado	Desing, Braun, e Hischier (2021); Hollander, Bakker, e Hultink (2017); Joustra, Flipsen, e Balkenende (2021); Okumura (2022)
Sociedade	Melhorar a consciência ambiental dos consumidores	Atlason, Giacalone, e Parajuly (2017); Cordella <i>et al.</i> (2021); Ford e Fisher (2019); Gagnon <i>et al.</i> (2022); Jugend <i>et al.</i> (2020); Khan e Haleem (2021); Laurenti <i>et al.</i> (2015); Loon, Diener, e Harris (2021); Mesa, Esparragoza, e Maury (2018); Mestre e Cooper (2017); Sousa-Zomer <i>et al.</i> (2018); Urbinati, Chiaroni, e Toletti (2019); Wang, Burke, e Zhang (2022); Zikopoulos (2022)
	Produtos feitos para durar muito tempo podem ter problemas quando comparados com produtos novos	Desing, Braun, e Hischier (2021); Evrard <i>et al.</i> (2021); Hollander, Bakker, e Hultink (2017); Pamminger, Glaser, e Wimmer (2021)

Quadro 8: Classificação dos autores segundo as barreiras da EC apresentados – Parte 2

Com a apresentação das barreiras, encerra-se a seção referente a EC e passamos a analisar o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), cujos conceitos serão apresentados na seção 2.2.

2.2 Processo de Desenvolvimento de Produto

O Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) pode ser definido como uma série de atividades com a capacidade de transformar informações tecnológicas e de mercado em produtos/serviços, seguindo a estratégia da empresa (Rozenfeld *et al.*, 2006).

Desenvolvimento de produto é um conjunto de atividades que permitem às empresas trabalhar três pontos importantes para o sucesso dos negócios: relacionamento com o cliente; excelência operacional; e liderança do produto (Vieira, Bouras e Debaecker, 2013).

Romeiro Filho *et al.* (2010) afirmam que o PDP é um processo multidisciplinar que necessita da cooperação de *marketing*, pesquisa e desenvolvimento (P&D) e operações (manufatura). Pode-se dizer que o PDP é um processo de negócios com entradas, que podem ser, por exemplo, horas de engenharia, conhecimento, normas, padrões e outros, que serão processadas com a finalidade de ter resultados ou saídas, que podem ser protótipo e o produto lançado no mercado (Romeiro Filho *et al.*, 2010).

Baxter (2000, p. 2) afirma que:

“O desenvolvimento de novos produtos é uma atividade complexa, envolvendo diversos interesses e habilidades, tais como: os consumidores desejam novidades, melhores produtos, a preços razoáveis; os vendedores desejam diferenciações e vantagens competitivas; os engenheiros de produção desejam simplicidade na fabricação e facilidade de montagem; os *designers* gostariam de experimentar novos materiais, processos e soluções formais; e os empresários querem poucos investimentos e retorno rápido do capital. Portanto, o desenvolvimento de novos produtos é necessariamente uma solução de compromisso. Diversos tipos de interesses devem ser satisfeitos” (Baxter, 2000, p. 2).

Dias (2019) afirma que o PDP está relacionado com o planejamento estratégico, monitorar o mercado, vender, atender às necessidades dos clientes, pesquisa e desenvolvimento, distribuição, suprimentos, produção e assistência técnica.

O desenvolvimento de produtos é uma parte crítica de todas as operações de negócios e, nos últimos anos, com o avanço das tecnologias e a crescente conscientização do público sobre proteção ambiental, processos de desenvolvimento

de produtos (PDPs) em cadeias de abastecimento precisam ser ambientalmente sustentáveis (Fung *et al.*, 2021).

Choi *et al.* (2021) ressaltam que o desenvolvimento de novos produtos é arriscado e seu resultado bem-sucedido é incerto no curto prazo, embora o desenvolvimento de produtos seja crítico para o crescimento sustentável das empresas, uma vez que a maioria das vendas das empresas provém de novos produtos de mercado.

O processo de desenvolvimento de novos produtos de uma empresa é frequentemente descrito em um modelo analítico para um processo de inovação e é o processo de negócio que uma empresa realiza para entregar uma inovação ao mercado (Choi *et al.*, 2021; Cantamessa e Montagna, 2016).

Os modelos de PDP contemporâneos distinguem a fase de pré-projeto, que analisa as condições de mercado e está associada à estratégia da empresa; a fase de projeto; e a fase de pós-projeto, que compreende o processo de monitoramento e retirada do produto do mercado. Portanto, eles abrangem todo o ciclo de vida do produto. A ideia de usar domínios de conhecimento de empresas e clientes para descrever a capacidade de criar produtos ou serviços de sucesso tem sido frequentemente levantada em publicações sobre o assunto (Urban, Łukaszewicz e Krawczyk-Dembicka, 2020; Dalenogare *et al.*, 2018; Liao *et al.*, 2017; Kagermann *et al.*, 2013).

Dado o conceito de PDP, a seção 2.2.1 apresenta alguns modelos de PDP.

2.2.1 Modelos de Processos de Desenvolvimento de Produtos

Rozenfeld *et al.* (2006, p. 32) afirmam que:

“O desenvolvimento de produto precisa ser um processo eficaz e eficiente para realmente cumprir sua missão de favorecer a competitividade da empresa. formalização do modelo de gestão e de estruturação do desenvolvimento de produto possibilita que todos os envolvidos (alta administração, pessoal das áreas funcionais da empresa e os parceiros) tenham uma visão comum desse processo: o que se espera de resultados do PDP, que e como as atividades devem ser realizadas, as condições a serem atendidas, as fontes de informação válidas e os critérios de decisão a serem adotados” (Rozenfeld *et al.*, 2006, p. 32).

Os modelos de referência descrevem o PDP e sua finalidade é ser uma referência para que o desenvolvimento de produtos pelas empresas e seus profissionais possa acontecer segundo um ponto de vista comum. Com um modelo de referência é possível obter uma visão única do PDP, assim há o nivelamento dos

conhecimentos de todos que participam de um desenvolvimento específico (Rozenfeld *et al.*, 2006).

Não existe um modelo único para o PDP, sendo que diversos autores propõem o seu próprio modelo.

O *Stage-Gate*, proposto por Cooper (1990), representa um sistema de gestão de novos produtos projetado para enfrentar os desafios fundamentais do processo de inovação. Esses desafios incluem a necessidade de acesso a informações relevantes e a gestão de uma variedade de opções para a tomada de decisões.

O PDP fundamenta-se em abordagens de gestão de processos. De acordo com Cooper, em um processo de produção, o produto percorre diversas estações de trabalho, conhecidas como estágios (*stage*), onde ocorrem as transformações do material. Entre cada estágio, são inseridos pontos de controle de qualidade, chamados *gates*, nos quais a qualidade do produto é avaliada e decide-se se ele deve avançar para a próxima estação de trabalho ou ser rejeitado (Cooper, 1990).

De acordo com Cooper (2008), cada fase do sistema é concebida para gerar documentos e informações destinadas a orientar as decisões nos *gates*. A proposta é que, à medida que o produto avança, mais informações são adquiridas, especialmente sobre custos, desenvolvimento e probabilidade de êxito, acompanhando o aumento dos investimentos nesse desenvolvimento. Portanto, esse sistema procura minimizar o desperdício de recursos ao avaliar a viabilidade dos desenvolvimentos desde o início do planejamento até a conclusão, conforme a produção contínua de documentos e informações.

O *Stage-Gate*, portanto, busca abranger todas as fases do desenvolvimento de produtos. Na sua configuração padrão, como representado na Figura 5, o sistema segmenta o processo de inovação em cinco etapas ou estágios de trabalho. Entre cada estágio, há um portão ou ponto de controle (*gate*), onde a decisão de prosseguir ou interromper o projeto é tomada (Cooper, 2008).

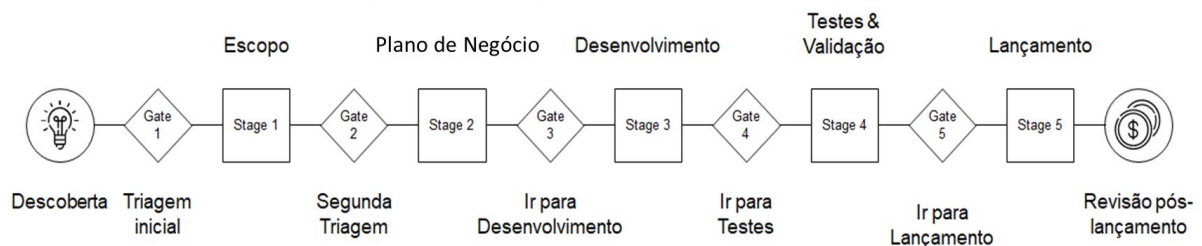


Figura 5: Modelo *Stage-Gate* proposto por Cooper
Fonte: Adaptado de Cooper (2008)

O modelo padrão estabelecido por Cooper (1990) imagina o processo de inovação iniciando-se com a descoberta ou concepção do produto e culminando na revisão pós-lançamento. O autor propõe entregas específicas para cada fase do desenvolvimento:

- Estágio 1 - Escopo: realização de uma análise preliminar de mercado para determinar o tamanho e potencial do mercado, bem como a provável aceitação do novo produto. Além disso, uma análise técnica preliminar visa verificar a viabilidade técnica e o cronograma do projeto.
- Estágio 2 - Plano de Negócio: condução de um estudo de mercado para identificar as necessidades, desejos e preferências do consumidor. Testes de conceito são realizados para avaliar a aceitação dos consumidores em relação ao novo produto. Tradução das necessidades e desejos do cliente em soluções tecnicamente e economicamente viáveis, incluindo estudos preliminares de *design* e construção de protótipos. Uma análise econômica detalhada é elaborada, abrangendo análise de fluxo de caixa e de sensibilidade. Esta é a principal etapa do modelo, pois nela que vai ser definida a viabilidade econômica do produto a ser desenvolvido.
- Estágio 3 - Desenvolvimento: desenvolvimento do produto, realização de testes detalhados de funcionalidade, elaboração de planos de *marketing* e operações, e atualização da análise econômica.
- Estágio 4 - Testes e Validação: realização de testes de qualidade e desempenho do produto, testes com usuários para verificar o funcionamento e a reação dos consumidores, produção piloto para testar e corrigir o processo de produção, determinar precisamente os custos e a velocidade de produção, e teste de mercado ou venda experimental para medir a eficiência do plano de *marketing* e prever o retorno financeiro do projeto. Revisão da análise econômica para validar a viabilidade econômica com base nas novas informações de custo e retorno financeiro.
- Estágio 5 - Lançamento: implementação dos planos de lançamento de *marketing* e operações.

Rozenfeld *et al.* (2006) apresentam um modelo de PDP dividido em três macro fases, conforme pode ser visto na Figura 6.

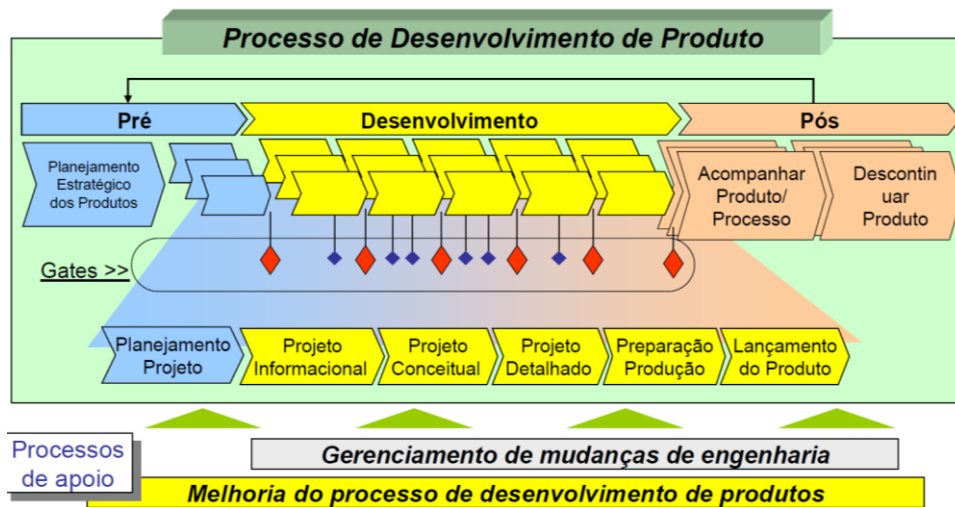


Figura 6: Modelo de PDP proposto por Rozenfeld
Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

A macro fase de pré-desenvolvimento precisa estabelecer o direcionamento estratégico, então é definido o Planejamento Estratégico da empresa que contém as ideias de todos os envolvidos com os produtos, assim é preparado o portfólio dos projetos que deverão ser desenvolvidos (Rozenfeld *et al.*, 2006).

Rozenfeld *et al.* (2006) ressaltam que a macro fase pré-desenvolvimento envolve:

- A definição do projeto de desenvolvimento;
- A delimitação das restrições de recursos;
- Conhecimentos e informações sobre os consumidores;
- Levantamento das tendências tecnológicas e mercadológicas.

O primeiro passo da macro fase pré-desenvolvimento é o desdobramento do resultado do planejamento estratégico em um portfólio, ou carteira de projetos. E finaliza com a Declaração de Escopo e o Plano do Projeto inicial de um dos produtos previstos no portfólio de projetos, ou um dos produtos da carteira, o qual será desenvolvido nas etapas posteriores (Rozenfeld *et al.*, 2006).

A macro fase de desenvolvimento é composta por atividades para desenvolver os projetos definidos e aprovados na fase anterior. Nesta macro fase cada produto é gerenciado como um projeto. Nesta fase também são definidos os

processos de fabricação e montagem, influenciando sobremaneira no custo do produto final (Rozenfeld *et al.*, 2006).

A macro fase de pós-desenvolvimento consiste na retirada sistemática do produto do mercado e uma avaliação de todo o ciclo de vida do produto, com a finalidade de utilizar as experiências do desenvolvimento como referência para casos futuros (Rozenfeld *et al.*, 2006).

Resumidamente, Rozenfeld *et al.* (2006) afirmam que o PDP se divide nas seguintes fases: Planejamento do projeto; Projeto informacional; Projeto conceitual; Projeto detalhado; Preparação para a produção; Lançamento do produto; Acompanhamento do produto e sua descontinuidade. O modelo proposto por Rozenfeld *et al.* (2006) não foca diretamente na abordagem de economia circular sendo esta, talvez, sua maior fragilidade.

Lin (2018) propõe uma abordagem de projeto de produto baseada na experiência do usuário a partir de uma perspectiva orientada para as pessoas. Para compreender as preferências dos usuários em relação aos produtos, foi necessário concentrar-se nos principais fatores do produto e nas características cruciais do usuário. Sistemas de informação para tomada de decisão foram empregados para identificar a experiência do usuário no *design* de produtos e serviços, a fim de fornecer informações úteis para a produção inteligente.

Lin (2018) utilizou-se do modelo de desenvolvimento de produto apresentado na Figura 7.

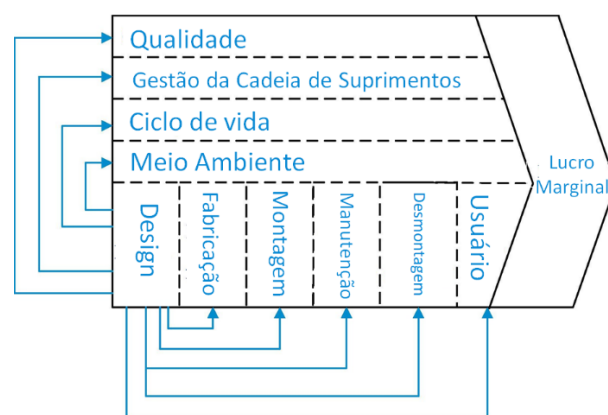


Figura 7: *Design* e desenvolvimento de produtos.
Fonte: Adaptado de Lin (2018)

Considerando a Figura 7, Lin (2018) ressalta que as rápidas mudanças no mercado e a diversificação dos produtos causaram uma mudança no *design* do produto, de uma abordagem orientada para a produção para uma abordagem

orientada para o mercado, com a finalidade de melhor se adequar às necessidades do mercado e cliente, mantendo um foco na dimensão orientada para o meio ambiente que leva em consideração fatores ambientais e de usuário, fortalecimento da qualidade do *design* de produtos e exploração do desenvolvimento sustentável. Do modelo proposto na Figura 7, Lin (2018) destaca os seguintes pontos:

- *Design* para fabricação: considerar que o projeto de fabricação ajuda a economizar recursos no processo de fabricação do produto e permite uma fabricação mais rápida e de maior qualidade.
- *Design* para montagem: considerar que o projeto de montagem ajuda a aumentar a eficiência e reduzir o desgaste no processo de montagem do produto.
- *Design* para desmontagem: considerar que o projeto de desmontagem permite que um produto seja desmontado rapidamente, reduzindo assim o desperdício e o uso de consumíveis.
- *Design* para usuários: considerar que as experiências do usuário no *design* ajudam a melhorar as experiências do produto e a aprimorar as experiências do usuário.
- *Design* para qualidade: considerar que a qualidade do *design* ajuda a aumentar o rendimento do produto, a fim de atender às necessidades do cliente.
- *Design* para gerenciamento da cadeia de suprimentos: considerar fatores relacionados à cadeia de suprimentos no *design* ajuda a aumentar a eficiência do produto na cadeia de suprimentos e a reduzir a instabilidade.
- *Design* para o ciclo de vida: considerar o ciclo de vida do produto no *design* ajuda a avaliar os recursos globais consumidos e a poluição produzida no ciclo de vida do produto.
- *Design* para o meio ambiente: Considerar o efeito de um produto no meio ambiente no *design* ajuda a atingir metas sustentáveis.

Lin (2018) propõe uma abordagem de *design* de produto baseada na experiência do usuário baseada em uma estrutura de inovação orientada por dados e segue as etapas sistemáticas mostradas na Figura 8. O modelo considera as necessidades dos usuários (experiência e satisfação do usuário) e da indústria.

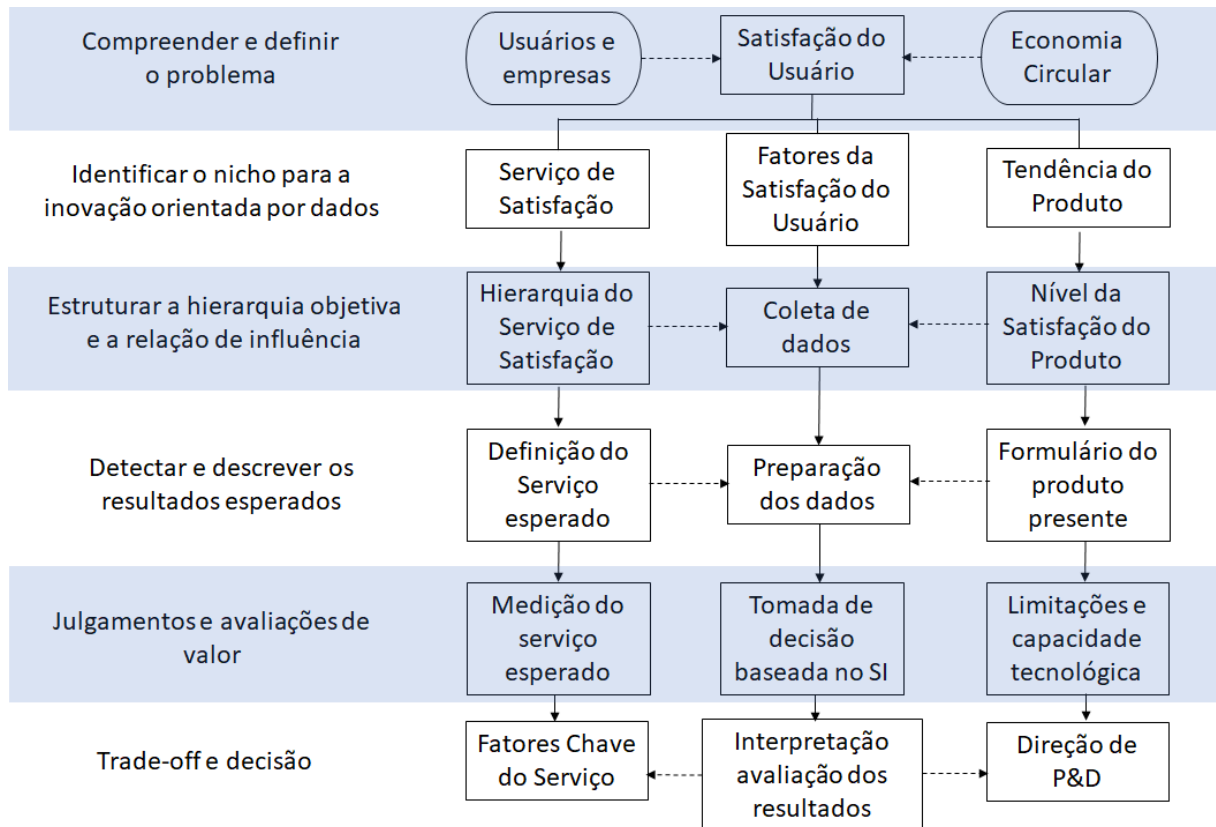


Figura 8: Abordagem de *design* de produto baseada na experiência do usuário
 Fonte: Adaptado de Lin (2018)

Lin (2018) divide seu modelo em seis etapas, a saber:

- Compreender e definir o problema: nesta fase de desenvolvimento de produtos, é identificada uma direção adequada de *design* de serviço com base nos recursos da empresa em questão e dos seus parceiros, para que o serviço mais atualizado possa ser lançado para atender às expectativas do usuário na maioria das vezes.
- Identificar o nicho para a invocação orientada por dados: a experiência de serviço inclui atividades subjetivas, comportamentos, opiniões, sentimentos, personalidades e respostas fisiológicas. Fatores de entrada, processo e saída afetam as reações emocionais dos usuários e as inclinações comportamentais do produto. Ao utilizar sistemas de informação, sensores e tecnologias da Internet das Coisas, grandes dados (*big data*) sobre o comportamento dos utilizadores podem ser recolhidos de forma automática ou semiautomática.
- Estruturar a hierarquia objetiva e a relação da influência: um experimento baseado em cenários de satisfação do usuário pode ser conduzido para

coletar dados sobre usuários, serviços e ambiente externo. Podem ser obtidas percepções dos usuários e informações referentes aos seus estilos de vida e interesses. Os usuários são solicitados a preencher uma lista de tarefas e um cenário de teste, que foram criados para coletar dados sobre suas experiências com o produto em questão e o grau de aceitação do novo serviço e para compreender suas atitudes.

- Detectar e descrever os resultados esperados: uma maior compreensão dos dados, incluindo antecedentes, categorias, fatores, sentimentos e satisfação dos usuários, ajuda a revelar *insights*. Pode-se utilizar escalas ordinais para medir a satisfação dos usuários com base em fatores estimulantes e sentimentos.
- Julgamentos e avaliações de valor: as empresas utilizam técnicas de mineração de dados e estatísticas para revelar informações ocultas nos dados, incluindo dados de satisfação do usuário que fornecem fatores candidatos que influenciam a inovação futura de serviços. Estes fatores devem ser avaliados com base nos níveis de apoio e confiança e analisados relativamente a regras críticas. As decisões sobre inovação e novos serviços podem ser tomadas com base nestes fatores críticos. Aproveitar os recursos internos e externos disponíveis das empresas e identificar as suas capacidades e limitações tecnológicas é crucial para determinar serviços viáveis para lançamento no mercado.
- *Trade-off* e decisão: para validar os resultados práticos e suas interpretações, especialistas podem ser convidados a fornecer conhecimento de domínio sobre as regras derivadas da mineração de dados e informadas pelos resultados estatísticos. As percepções do usuário e as decisões de satisfação fornecem suporte aos *designers* de serviços na criação de novos conceitos de serviço e na identificação de fatores de serviço. Devido às rápidas mudanças nos comportamentos dos usuários e nas tendências do mercado, as regras derivadas fornecem *insights* úteis para definir o ciclo de vida do serviço apropriado. O modelo de satisfação do utilizador requer replicação ocasional para fornecer uma nova direção para a inovação e permitir a extração contínua de conhecimento.

Resumidamente, Lin (2018) propôs um sistema de TI (Tecnologia da Informação) para que o processo de desenvolvimento do produto seja feito de forma integrada e colaborativa.

Ko (2020) afirma que ao se deparar com um projeto de produto ecológico, os projetistas muitas vezes não conseguem compreender os pontos do *design* ou mesmo saber por onde começar.

Nos processos de análise preliminar de um produto e conversão em produto verde, os três DNAs Verdes (tecnologia verde, material verde e fabricação verde) precisam ser integrados ao pensamento do método de projeto, então os projetistas podem compreender facilmente os pontos do *design* e desenvolver ainda mais produtos ecológicos inovadores (Ko, 2020):

- Tecnologia verde: todas as tecnologias relevantes de energia verde e de economia de energia pertencem à categoria de tecnologia verde, incluindo a energia solar, a energia eólica, a geração de energia hidroelétrica etc. Estas tecnologias verdes são as mais fáceis de demonstrar a eficácia dos produtos verdes. Os projetistas são aconselhados a priorizar as considerações de *design* deste elemento verde ao projetar produtos ecológicos.
- Material Verde: o conceito ecológico 4R (Redução, Reutilização, Reciclagem, Regeneração) defendido por agências governamentais e grupos ambientais privados é a definição mais básica das propriedades dos materiais verdes. A mais nova tecnologia de materiais verdes desenvolveu um tipo de material biodegradável extraído de fibras vegetais. Portanto, quando tais itens forem descartados no meio ambiente externo, serão decompostos por microrganismos sob determinadas condições de temperatura e umidade, e não causarão danos ao meio ambiente. Portanto, os projetistas são aconselhados a dar prioridade à utilização de materiais biodegradáveis na procura de materiais adequados para produtos ecológicos.
- Fabricação Verde: por uma questão de apelo estético, os produtos serão pintados, revestidos e impressos para melhorar a aparência estética. A maioria destes procedimentos de pós-processamento utiliza solventes orgânicos e produz substâncias tóxicas nocivas. Se estes processos não forem bem conduzidos, muitas vezes causarão poluição e danos ambientais. Portanto, se os projetistas pudessem tentar não aplicar estes processos de fabricação no

embelezamento e decoração de produtos, isso reduziria enormemente o impacto ambiental do seu trabalho.

A integração dos três DNAs Verdes obterá os efeitos complementares do *design*. Portanto, um método de extensão verde é proposto para o projeto de produtos verdes baseado na teoria de extensão e nos três conceitos de DNAs Verdes propostos. O inovador método de *design* verde proposto adiciona os três conceitos do DNA Verde ao processo de análise do método de extensão. Ao analisar e transformar os novos modelos de elemento-matéria do produto, os projetistas podem importar os três DNAs Verdes para os conceitos inovadores dos produtos para desenvolver produtos verdes. Os procedimentos desse método são mostrados na Figura 9.

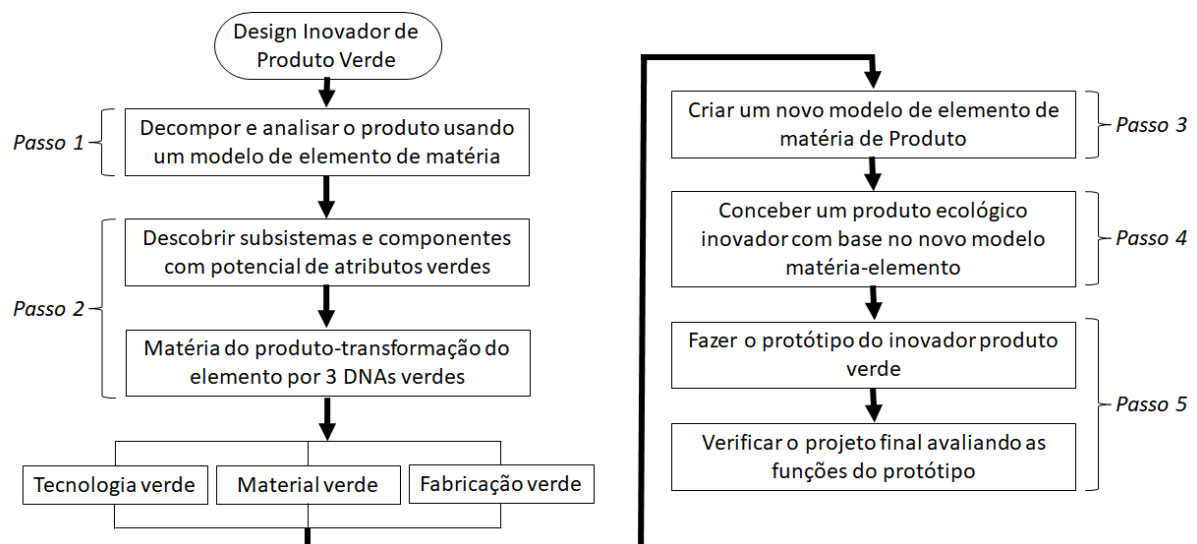


Figura 9: Método de *design* verde considerando os três DNAs Verdes
Fonte: Adaptado de Ko (2020)

Ko (2020) apresenta seu modelo de cinco passos:

Passo 1: decompor e analisar o produto usando o modelo elemento-matéria. O produto é decomposto e analisado desde o sistema e subsistema até os componentes para obter informações mecânicas e funcionais completas.

Passo 2: encontrar subsistemas ou componentes com valores e oportunidades verdes inovadores. Os três DNAs Verdes são aplicados para examinar os componentes e a tecnologia do sistema, que pode introduzir os conceitos de tecnologia verde, material verde e fabricação verde. Isto é feito para aplicar diferentes formas de trabalhar para atingir os objetivos do projeto ecológico.

Passo 3: aplique a transformação matéria-elemento para estabelecer um novo modelo matéria-elemento. Depois de determinar os subsistemas ou componentes alvo

a serem inovados ou melhorados, uma nova arquitetura de produto é desenvolvida com a transformação elemento-matéria. Isto pode criar novas funções ou métodos operacionais para os produtos, até mesmo um conceito inovador de projeto ecológico que é completamente diferente dos produtos existentes (Ko, 2020).

Passo 4: introduza um novo modelo de elemento-matéria no *design* prático de produtos. Execute o *design* de produtos com um novo modelo de elemento matéria que incorpora DNAs verdes. Os pontos de *design* se concentrarão na integração do *design* industrial, *design* mecânico e funções do produto.

Passo 5: faça um protótipo de produto para validar os conceitos de *design* ecológico. Finalmente, um protótipo de produto é feito com base no *design* prático, e este é usado para verificar a viabilidade e eficácia do *design* inovador de produto verde proposto.

Diaz, Reyes e Baumgartner (2022) apresentam *insights* sobre os fatores de gerenciamento que permitem o *design* de produtos circulares em diferentes estágios das atividades de PDP. A Figura 10 apresenta a visão geral dos fatores de gestão que influenciam o projeto de produto circular em diferentes estágios de PDP e as principais interações entre eles.



Figura 10: Fatores de produtos circular nas fases de PDP
Fonte: Adaptado de Diaz, Reyes e Baumgartner (2022)

As principais etapas do modelo proposto por Diaz, Reyes e Baumgartner (2022) são:

Seleção de estratégias de retenção de valor: as estratégias de retenção de valor são identificadas como um subconjunto de estratégias competitivas. A seleção de estratégias de retenção de valor geralmente segue a situação atividades de análise, como análise de portfólio, *benchmarking* de produtos e previsão. As estruturas das estratégias de retenção de valor fornecem uma prescrição genérica do estágio do ciclo de vida do produto em que serão implementadas, os principais atores envolvidos e o processo de recuperação de valor e funcionalidade. É então tarefa das empresas traduzir as estratégias de retenção de valor em novos conceitos de produtos (como insumo para atividades de busca de ideias de produtos e identificação de novas tarefas de produtos). Então, essas estratégias precisam de ser abordadas relativamente cedo; por exemplo, durante atividades de planejamento de produtos, para que sinergias potenciais e conflitos de objetivos sejam identificados. Também é necessário que exista um forte grau de integração entre as atividades de planejamento do produto e o desenvolvimento do produto, para que os projetistas possam desenvolver as orientações do planejador.

Aplicação de diretrizes de projeto: para que as atividades de planejamento de produtos sejam realizadas pelos desenvolvedores de produtos, é importante que esteja disponível uma proposta de produto que documente as ideias de produtos e que descreva os principais critérios de seleção e uma lista preliminar de requisitos de *design*. Uma estratégia de retenção de valor é integrada ao produto através da formulação de requisitos funcionais derivados de retenção de valor. Estes, então, precisam ser adotados pelos desenvolvedores e traduzidos em características de *design* e princípios de funcionamento.

Identifique compromissos de qualidade: a preservação do valor econômico está ligada à medida em que o sistema de produtos é capaz de desempenhar as funções para as quais foi concebido e à medida em que é necessário que uma organização se mantenha competitiva no mercado. Assim, a equipe de planejamento e desenvolvimento deve analisar como as novas características de *design*, princípios de funcionamento e funcionalidades interagem com a qualidade do produto e decidir se a circularidade ameaça o desempenho do produto. Uma rotina de desenvolvimento adequada para avaliar isso detalhadamente é o processo de avaliação do produto. As avaliações de produtos são mais elaboradas do que a seleção inicial de conceitos que ocorre na fase de planejamento, pois requerem apoio à tomada de decisão que abrange uma ampla gama de objetivos (específicos da tarefa, requisitos, restrições) e

abrangem as propriedades quantitativas e qualitativas das variantes de conceito. O cumprimento das estratégias de retenção de valor pode ser verificado durante as rotinas de avaliação de produtos por meio de diversos indicadores integrados de circularidade. Em algumas configurações analisadas foram identificados compromissos relacionados com a EC relativos à qualidade, à estética-arquitetura modular, à fiabilidade dos materiais recicláveis, ao modelo de receitas do SPS (Sistema de Produto-Serviço) orientado para o produto, facilidade de manutenção, modelo de receita de SPS orientado a resultados e qualidade percebida.

Análise das partes interessadas do ecossistema do produto: o objetivo desta fase é compreender o contexto estratégico externo no qual o produto está inserido. Assim, concluiu-se que a análise das partes interessadas desempenha um papel nas atividades de planejamento, por exemplo, como parte da análise da situação e também na conceptualização do produto/serviço. Os ecossistemas de produtos foram reconhecidos como elementos importantes para facilitar a entrega de valor em uma EC. Os ecossistemas incluem partes interessadas que interagem diretamente com o produto, bem como aquelas que não o fazem. A principal razão para visar o primeiro grupo é que a eficácia da estratégia de retenção de valor é, em grande parte, determinada pelas intervenções de tais atores. O efeito que quaisquer novas funcionalidades do produto têm no seu comportamento precisa, portanto, ser cuidadosamente examinado. Ter em conta o impacto sobre as partes interessadas mais indiretas deriva de preocupações relacionadas com um desenho estratégico mais amplo e o potencial para transformações sociotécnicas. Assim, as empresas determinadas a satisfazer as aspirações transformacionais da EC e a alcançar um certo grau de integração social, precisam de ter uma visão de médio e longo prazo da gestão das partes interessadas e visar influenciar atores culturais, atores políticos, atores reguladores e atores de mercado.

Sistema multifuncional: o objetivo desta atividade é gerenciar as tarefas operacionais não relacionadas ao *design* dentro de uma equipe multifuncional estendida. As atividades de PDP são interdisciplinares por natureza, pois seguem estímulos de mercado, ambiente ou intraorganizacionais. As decisões envolvem a seleção e o detalhamento de novas ideias de produtos sustentáveis, onde as capacidades dos projetistas e especialistas ambientais são essenciais, e também determinam se a posição financeira ou o desempenho de mercado de um produto está alinhado com a estratégia competitiva das empresas. Assim, embora a composição

de uma equipe ampliada dependa da estrutura específica da empresa, geralmente requer pelo menos capacidades de *marketing* para garantir uma compreensão muito boa dos requisitos de qualidade, gestão das partes interessadas através de atividades de comunicação, capacidades financeiras para avaliar o desempenho do produto e gestão de produtos para realizar análises de risco e estudos de viabilidade. Consequentemente, os sistemas de gerenciamento de informações multifuncionais, como o gerenciamento do ciclo de vida do produto, foram considerados eficazes na integração de informações de diferentes departamentos no que diz respeito às plataformas de gerenciamento de dados de produtos usadas no desenvolvimento. Não apenas uma abordagem horizontal à gestão da informação é necessária, mas também vertical, uma vez que as capacidades adquiridas através da antiguidade também são relevantes.

Avaliação ambiental e social: um sólido desempenho ambiental e social dos produtos é relevante para as estratégias de sustentabilidade corporativa. Nas atividades padronizadas de PDP, duas etapas principais de decisão orientam a seleção de variantes de produtos/serviços nas quais os critérios ambientais e sociais são integrados. Estas são genericamente denominadas seleção e avaliação de produtos. A seleção de produtos é normalmente conduzida em um estágio inicial de desenvolvimento, onde os sistemas de produtos incorporam níveis relativamente baixos de *design* e, portanto, onde as informações de desempenho são muitas vezes difíceis de quantificar.

Interdependências de fatores: com base nas interdependências observadas entre os fatores, é possível derivar algumas prioridades de gestão. Em primeiro lugar, uma forte interdependência entre fatores implica que todos eles precisam estar presentes até certo ponto. Isto pode exigir recursos significativos, o que pode, em muitos casos, impactar negativamente nas margens de lucro do negócio. Assim, a concepção circular de produtos deve ser considerada como um meio para a empresa alcançar uma vantagem competitiva, e não apenas para os produtos cumprirem novas tarefas. Para isso, as estratégias de retenção de valor precisam ser planejadas antes das atividades de *design* terem lugar (por exemplo, no planejamento do produto), onde os intervenientes de gestão podem identificar direções para uma maior criação de valor. Em segundo lugar, os ecossistemas de produtos precisam considerar uma gama mais ampla de partes interessadas envolvidas como parceiros de criação e retenção de valor durante a conceptualização de produtos circulares. Para garantir

que as estratégias de retenção de valor planejadas sejam seguidas pelas equipes de *design*, é necessária uma forte integração de processos de negócios. Isto deverá envolver a integração de atividades de planejamento e desenvolvimento, bem como de equipes responsáveis pela gestão da informação de um leque mais vasto. Finalmente, emergem muitas interdependências ligadas à avaliação dos aspectos ambientais e sociais.

Joustra *et al.* (2022) descrevem o uso do método de projeto no contexto de compostos circulares. O objetivo do método é apoiar os projetistas de produtos na integração de estratégias de economia circular. O método inclui uma planilha exploratória de mapeamento do ciclo de vida e uma estrutura circular de *design* de produto. A Figura 11 mostra as etapas consecutivas do método e parte da planilha.

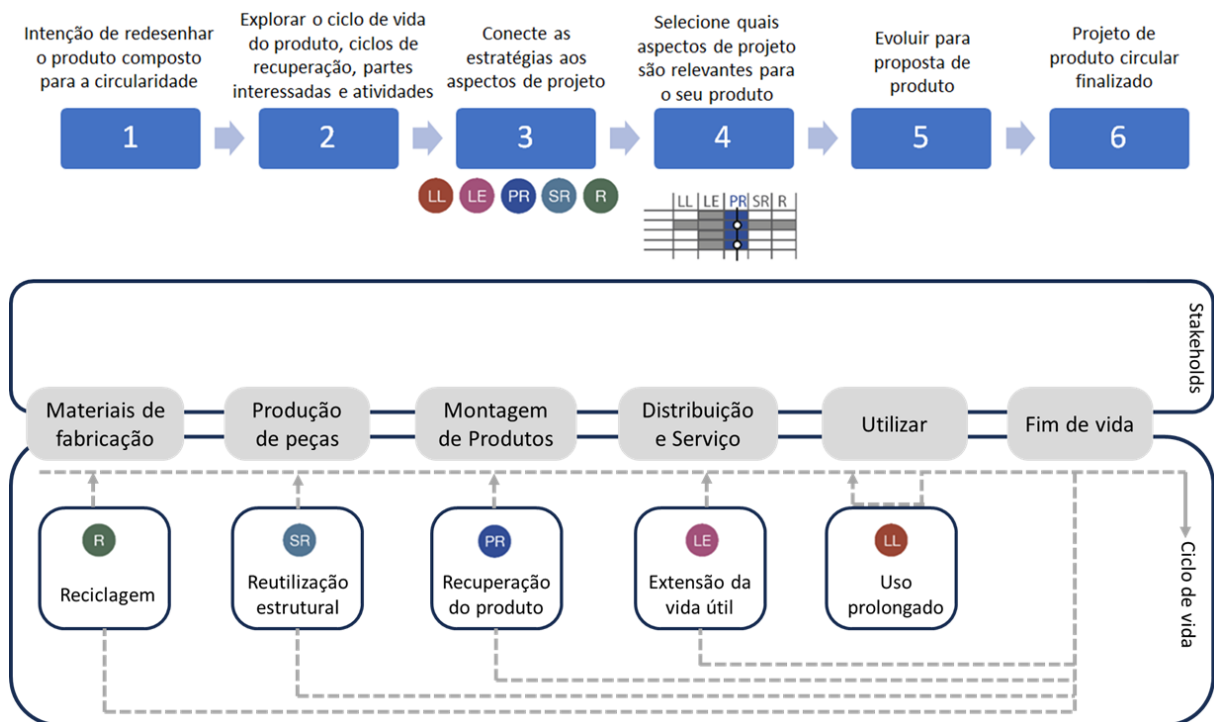


Figura 11: Etapas do método de PDP e planilha de mapeamento
Fonte: Adaptado de Joustra *et al.* (2022)

O processo do método de projeto de produtos circulares segue as etapas numeradas representadas na Figura 11. O processo começa com (1) a intenção de (re)projetar um produto contendo materiais compósitos para uma economia circular; então, (2) o *designer* usa a planilha de exploração do ciclo de vida mostrada na parte inferior da Figura 11 para desenhar e detalhar o ciclo de vida do produto. O mapeamento começa com uma descrição do produto, seguida pela identificação das partes interessadas para cada fase da cadeia de valor do produto. Em seguida (3), os

ciclos de recuperação são explorados, descrevendo possíveis ações de recuperação para recuperar o produto como uma entidade, peças ou materiais no final do uso. A ficha pode ser utilizada em sessões de grupo para estimular a discussão e criar uma compreensão partilhada do ciclo de vida do produto e das oportunidades circulares (Joustra *et al.*, 2022).

Os ciclos de recuperação estão relacionados com estratégias circulares, como vida longa, extensão da vida útil ou reciclagem de materiais. No método de *design* de compostos circulares, o projetista utiliza uma estrutura de projeto de produto circular para conectar essas estratégias aos aspectos de *design* (4). Esta estrutura contém cinco estratégias circulares e as relaciona com 24 aspectos de *design*. Três estratégias visam preservar a integridade do produto, garantindo vida longa, extensão da vida útil e recuperação do produto. As duas estratégias restantes visam preservar a integridade do material (mantendo a qualidade do material ao longo do tempo) por meio da reutilização estrutural e da reciclagem de materiais. Embora as estratégias de integridade do produto sejam geralmente preferidas para preservar o desempenho e o valor, a integridade do material continua necessária para reprocessar produtos que não possuem ciclo de próximo uso. Os aspectos de projeto relacionados apoiam os projetistas na antecipação da recuperação pela intenção do projeto. O projetista pode usar um subconjunto de aspectos de *design* para conceituar, incorporar e detalhar a proposta de projeto (5). Por fim, o processo resulta em uma proposta circular de projeto de produto (6) (Joustra *et al.*, 2022).

Depois de analisar alguns modelos de PDP, é necessário entender o conceito de produto circular que tem relação com a EC e esse conceito é analisado na seção 2.2.2.

2.2.2 Produto Circular

Considerando as restrições de recursos e as pressões ambientais, a mudança de um modelo de produção linear para um modelo de produção circular pode ser um caminho promissor (Hagejård *et al.*, 2020). Assim, as empresas passariam a contribuir para o desenvolvimento sustentável, de modo a repensar o processo de desenvolvimento de novos produtos (Bocken *et al.*, 2014).

Subramanian *et al.* (2019) e Bocken *et al.* (2016) ressaltam que a economia circular precisa fazer parte do processo de PDP, pois as empresas precisam, além de

atender os requisitos dos clientes com o seu produto, considerar as questões ambientais e pensar na sustentabilidade durante todo o ciclo de vida de cada um dos seus produtos.

Quando uma empresa adota a EC ela pode obter benefícios econômicos, ambientais e sociais (Ghisellini, Cialani e Ulgiati, 2016; Sauvé, Bernard e Sloan, 2016).

Asif *et al.* (2021) e Urbinati, Chiaroni e Toletti (2019) ressaltam que em um modelo de negócio circular, os produtos devem ser totalmente reutilizados ou reciclados, tornando-se, na verdade, Produtos Circulares. Os Produtos Circulares têm uma proposta de valor caracterizada por ciclos de vida de produto mais longos, serviços superiores que também podem ser virtualizados, consumo colaborativo e incentivos e benefícios oferecidos aos clientes para eventualmente trazerem de volta produtos usados.

No que diz respeito aos produtos, a investigação existente aponta para as práticas de *Design for X* e para a utilização eficiente de recursos. Quanto às práticas de *Design for X*, as pesquisas existentes apontam para *Design for Recycling*, *Design for Remanufacturing and Reuse*, *Design for Disassembly* e *Design for Environment*. Todas essas práticas são necessárias se as empresas pretendem apoiar a criação de produtos circulares. Além disso, a prática do *Design for Environment* refere-se ao uso e melhoria contínua de matérias-primas virgens, produzindo produtos que poderiam ser mais seguros para todos os participantes ao longo da cadeia de valor, bem como para os seres humanos e o meio ambiente. Desta forma, a implementação dessas práticas visa apoiar os ciclos biológicos e técnicos dos materiais (ou seja, os materiais retornam com segurança ao meio ambiente e sem contaminar a biosfera) (Urbinati, Chiaroni e Toletti, 2019).

Urbinati, Chiaroni e Toletti (2019) apresentam quatro princípios que os produtos circulares precisam seguir. Esses princípios são:

- **Princípio 1 - Eficiência energética e utilização de fontes renováveis de energia:** os produtos circulares devem ser concebidos de forma a utilizar materiais caracterizados por menos emissões e consumo de energia, mas também é importante conceber o próprio processo de produção de forma a aumentar a sua eficiência energética. A exploração de fontes renováveis de energia pode não ser uma prioridade nas primeiras fases do ciclo de vida do produto, mas é algo a ser considerado quando o produto e o processo produtivo começarem a se consolidar;

- **Princípio 2 - Otimização de produtos e processos para eficiência de recursos:** todos os produtos circulares e todos os modelos de negócios das empresas centram-se na vontade de utilizar os recursos de forma mais eficiente e de reduzir, tanto quanto possível, todo tipo de desperdício;
- **Princípio 3 - *Design* de produto para circularidade:** é importante que as empresas desenhem produtos e componentes que possam entrar num ciclo e serem completamente reciclados. Um passo fundamental é otimizar o *design* dos produtos e componentes de forma a permitir a redução dos custos de reciclagem, mantendo ao mesmo tempo uma elevada qualidade e todas as funcionalidades do produto. O princípio de *Design* de produto para circularidade também significa que os produtos são criados considerando todos os fluxos possíveis e otimizando a recuperação de todos os componentes dos bens;
- **Princípio 4 - Exploração de resíduos como recurso:** os Produtos Circulares devem ser concebidos tendo em mente a ideia de transformar resíduos em recursos. Desperdício não deve mais ser um problema, mas uma fonte de novo valor para a mesma cadeia de abastecimento ou para outras cadeias de abastecimento.

Boyer, Hunka e Whalen (2021) afirmam que os produtos circulares podem ser entendidos como produtos concebidos de forma a incentivar a longevidade, a reutilização e a recirculação de recursos. Isto inclui prolongar a vida útil dos produtos e dos seus componentes através da reutilização, refabricação e modelos de consumo baseados no acesso, e fechar ciclos de materiais através da reciclagem.

Boyer, Hunka e Whalen (2021) ressaltam ainda que há também evidências de que as preferências por produtos circulares variam de acordo com o país e a cultura, ambos com forte influência na percepção individual do valor do produto. Também há investigação de como as atitudes e os conhecimentos ambientais influenciam as preferências por produtos circulares.

Pretner *et al.* (2021) definem produtos circulares como tendo uma de duas características importantes: ou são produzidos com materiais reciclados (e assim ajudam a fechar o ciclo produtivo), ou têm um ciclo de vida prolongado porque são mais duráveis ou podem ser revendidos como segunda mão.

Os produtos circulares são criados de forma a otimizar a eficiência dos recursos. A eficiência dos recursos é otimizada minimizando o impacto ambiental do ciclo de vida do produto. Isto é conseguido através da revisão do processo tradicional de projeto de produto, que é definido como um modelo linear, que consiste em produção, uso pelo consumidor e descarte. Os produtos circulares modificam esses processos de *design* de duas maneiras. A primeira envolve a utilização de produtos descartados como insumos nos processos de fabricação para a criação de um novo produto. Este modelo de *design* de ciclo fechado desvia resíduos que, de outra forma, acabariam em aterros sanitários. Exemplos de produtos circulares incluem a produção de bens feitos a partir de materiais reciclados, como composto e ração animal criados a partir de resíduos orgânicos ou roupas feitas a partir de restos de fibras ou garrafas plásticas recicladas (Batwara *et al.*, 2022; Pretner *et al.*, 2021).

De acordo com Asif *et al.* (2021) e Pretner *et al.* (2021), um segundo tipo de produto circular envolve processos de *design* que prolongam o ciclo de vida de um produto. Aqui, os produtos são desenvolvidos de forma a aumentar a sua durabilidade ou incorporar características que os tornem mais facilmente reutilizados, remanufaturados ou reconicionados. Ao prolongar o ciclo de vida do produto, os bens mantêm a sua finalidade original, mas são utilizados durante um período de tempo mais longo antes de serem finalmente depositados em aterro. Os exemplos incluem produtos reutilizados ou de segunda mão. Outros exemplos incluem produtos remanufaturados e reconicionados que são reciclados no final do seu ciclo de vida, atualizando-os e/ou modificando-os parcialmente antes de voltarem a entrar no mercado.

Evrard *et al.* (2021) e Pretner *et al.* (2021) ressaltam que, independentemente da sua forma, os produtos circulares, tal como outros produtos que têm atributos ambientais positivos, podem melhorar a visão de valor que os consumidores tem do produto. Isto porque os produtos circulares podem proporcionar um maior valor intrínseco ao desviar os resíduos dos aterros e estas práticas são congruentes com as crenças e valores pessoais de alguns consumidores.

Contudo, é defendida a perspectiva de que alguns consumidores podem associar um valor de qualidade negativo a produtos circulares, apesar de seus atributos ambientais. Nesses casos, os consumidores estão dispostos a pagar menos por produtos circulares do que por novos produtos feitos de materiais virgens. Pode-se perceber que o valor de qualidade negativa derivado de produtos circulares está

relacionado ao fato de que os insumos reciclados são produzidos a partir de produtos pós-consumo (resíduos) que são introduzidos em um processo de fabricação. Geralmente, os resíduos requerem reprocessamento antes de poderem ser utilizados em outro produto. Por exemplo, algumas roupas circulares são feitas de garrafas plásticas usadas que são reprocessadas para criar fibras plásticas. Devido ao seu reprocessamento, essas fibras podem ser percebidas como mais fracas ou contaminadas pelo seu uso produtivo original (Pretner *et al.*, 2021).

A EC enfatiza o impacto da sustentabilidade dos produtos e recursos nos seus ciclos de fim de vida. No entanto, este impacto depende fortemente da fase de projeto e concepção, ou seja, da fase inicial de produção. É difícil alterar a alocação de recursos e a infraestrutura após a concepção e, portanto, é pouco provável que seja estabelecido um sistema de produção circular, a menos que sejam tomadas medidas ambientais durante a concepção do produto. Portanto, o *design* de produto circular é um passo fundamental para a EC e a gestão circular da cadeia de abastecimento (Sumter *et al.* 2021; Wang, Burke e Zhang, 2022).

Wang, Burke e Zhang (2022) ressaltam que o *design* circular de produtos permitiria que os produtos se tornassem parte da solução de resíduos. Os dois elementos que sustentam o *design* de produtos circulares são: *design* para a integridade do produto e *design* para reciclagem (tanto convencional como de ciclo biológico). Tanto a reciclabilidade deve ser incorporada na concepção do produto, como a concepção para manter a integridade do produto, que são importantes para preservar os valores econômicos e ambientais.

Ainda de acordo com Wang, Burke e Zhang (2022), o *design* circular de produtos evoluiu para incorporar uma variedade de conceitos:

- O *design* para *loops* internos: os produtos são projetados para seguir os *loops* internos do diagrama borboleta EC (vide Figura 4). Os *loops* internos do diagrama borboleta EC promovem abordagens de *design* como reutilização, compartilhamento, cascata, remanufatura e reforma;
- Extensão da vida útil do produto e a estratégia de *design* de produtos de longa vida: esta estratégia garante que os produtos sejam concebidos para serem duráveis e duradouros, a fim de prolongar a sua vida útil. Essa estratégia garante que os produtos possam ser reutilizados diversas vezes e por diversos usuários;

- *Design* para modularidade: é uma estratégia de *design* que permite que os produtos sejam facilmente reparados, remanufaturados e atualizados. Esta estratégia de design garante que o tempo de utilização do produto possa ser maximizado através de atualizações e processos de reparação;
- *Ecodesign*: integra sistematicamente aspectos ambientais no *design* do produto, levando a melhores especificações de *design* para um impacto ambiental reduzido.

Visto o conceito de produto circular, um outro conceito importante que relaciona o PDP com a EC é o sistema produto-serviço (SPS) ou modelos de negócios que é apresentado na seção 2.2.3.

2.2.3 Modelos de Negócios – Sistemas de Produtos-Serviços

Segundo Bocken, Schuit e Kraaijenhagen (2018) e Lüdeke-Freund, Gold e Bocken (2019), na economia circular a inovação do modelo de negócios desempenha um papel importante para mudar fundamentalmente a forma de fazer negócios para ir além das abordagens de sustentabilidade predominantes que se concentram na eficiência, na produtividade e na aplicação de conceitos da ecologia na cadeia de abastecimento. Os sistemas de produtos-serviços (SPS) são um exemplo de um modelo de negócios sustentável que ganhou popularidade no campo da EC. Embora o SPS, no qual as empresas permanecem proprietárias dos produtos, possa permitir maiores ganhos ambientais, essa inovação também vem com um maior grau de incerteza, devido à radicalidade em comparação com a forma tradicional de fazer negócios.

Para Bocken, Schuit e Kraaijenhagen (2018), os modelos de negócios fornecem um modelo para descrever a forma como os negócios são feitos. Eles são representados pelo valor proposição (a oferta pretendida de produto/serviço - que valor é fornecido e para quem?), criação e entrega de valor (como o valor é fornecido?) e valor capturado (como a empresa ganha dinheiro e captura outras formas de valor?). A inovação do modelo de negócios sustentável é diferente da tradicional (ou seja, não necessariamente focada na sustentabilidade), por incorporar explicitamente uma abordagem de resultado triplo e considerar uma ampla gama de interesses das partes

interessadas, incluindo meio ambiente e sociedade, além do valor superior ou único ao cliente entregue para criar uma vantagem competitiva para a empresa.

Modelos de negócios sustentáveis são definidos como inovações que criam impactos positivos significativos e/ou reduzem significativamente impactos negativos para o meio ambiente e/ou sociedade, através de mudanças na forma como a organização e sua rede criam valor, entregam valor e capturam valor (ou seja, criam ou alteram valor econômico) (Bocken, Schuit e Kraaijenhagen, 2018).

Bocken, Schuit e Kraaijenhagen (2018), Lüdeke-Freund, Gold e Bocken (2019) e Guldman e Huulgaard (2020) ressaltam também que um modelo de negócios circular pode ser definido como a lógica de como uma organização cria, entrega e captura valor para fechar e desacelerar ciclos materiais. Estas inovações de modelos de negócios circulares são, por natureza, interligadas em rede: exigem colaboração, comunicação e coordenação dentro de redes complexas de atores/partes interessadas interdependentes, mas independentes.

Lüdeke-Freund, Gold e Bocken (2019) afirmam que o objetivo geral dos modelos de negócios é ajudar as empresas a criar valor através da utilização de recursos em múltiplos ciclos e da redução do desperdício e do consumo. Na melhor das hipóteses, os resíduos são evitados (isto é, reutilizados) completamente e apenas a energia renovável é utilizada. Para conseguir isso, o lado de entrada, os processos de transformação e o lado de saída dos modelos de negócios devem ser considerados. Por exemplo, os insumos de produção são compostos por materiais usados, reciclados ou recapturados e muitas vezes exigem o envolvimento de parceiros e especialistas que conhecem os benefícios e limitações de tais materiais. A procura resultante de materiais usados ou resíduos requer uma logística relacionada e pode levar à criação de novos mercados para recursos secundários ou a uma expansão dos mercados existentes. Na sua forma mais avançada, os fluxos e parcerias de recursos resultantes conduzem a relações simbióticas que permitem a utilização múltipla de recursos, a cascata e o biorrefinamento, a reciclagem contínua ou mesmo o surgimento de redes de simbiose industrial baseadas na proximidade espacial.

Bocken, Schuit e Kraaijenhagen (2018), Lüdeke-Freund, Gold e Bocken (2019) e Guldman e Huulgaard (2020) afirmam que o valor é essencial na inovação de modelos de negócios convencionais e sustentáveis. A criação de modelos de negócios começa com a definição de uma proposta de valor que atenda às

necessidades do cliente, sugerindo um processo iterativo em que a experimentação é usada. Uma estrutura de modelo de negócios que reflete a lógica do pensamento estratégico sobre valor. Este modelo consiste na proposta de valor, sistema de criação e entrega de valor e captura de valor. Pela definição, a proposta de valor é uma afirmação básica da teoria da empresa sobre como competir, mostram que a empresa oferecerá isto e aquilo a fulano de tal forma que ofereça valor superior em comparação ao concorrente. A Figura 12 apresenta um modelo de negócio sustentável, que contém a proposta de valor proporcionado e valor ecológico e social mensurável em conjunto com valor econômico.



Figura 12: Proposta de modelo de negócio sustentável
Fonte: Adaptado de Bocken, Schuit e Kraaijenhagen (2018)

Com base na proposta de valor da Figura 12, a criação e entrega de valor descreve como competir, indicando como essa teoria é colocada em ação. Ela começa a dar corpo à organização e à arquitetura da empresa. Também especifica e descreve as fontes de vantagem competitiva da empresa, ou seja, seus recursos e capacidades. As empresas precisam colaborar com as partes interessadas para garantir a logística reversa, por exemplo, o que lhes permite maximizar o valor dos produtos e materiais. Assim, a criação e entrega de valor para modelos de negócios circulares incorpora múltiplas partes interessadas no processo de inovação como parceiros colaborativos (Bocken, Schuit e Kraaijenhagen, 2018).

Finalmente, a captura de valor diz respeito ao modelo de receita. Para a passagem da venda de produtos para a venda de serviços, como um dos exemplos populares de um modelo de negócio circular, os investimentos iniciais serão muitas vezes recuperados ao longo de um período de tempo mais longo do que no caso das

vendas diretas, por exemplo, por causa do pagamento por uso ou pelo desempenho (Bocken, Schuit e Kraaijenhagen, 2018).

De acordo com Loiseau *et al.* (2016), o SPS pode ser definido como um *mix* de produtos tangíveis e serviços intangíveis projetados e combinados para que, em conjunto, sejam capazes de atender às necessidades do cliente final. Os produtos são propriedade de empresas ao longo de todo o seu ciclo de vida, e o uso do serviço do produto é o que o consumidor paga. Assim, as empresas têm um forte interesse econômico para prolongar a vida útil de seus produtos, para garantir que eles sejam usados intensivamente, para torná-los como custo e material eficiente possível e reutilizar as peças tanto quanto possível.

Loiseau *et al.* (2016) e Kjaer *et al.* (2019) apresentam duas categorias do SPS:

- SPS orientado ao uso em que o produto continua a desempenhar um papel central (por exemplo, produto aluguel, compartilhamento ou votação). Neste caso, há um aumento potencial do estágio de uso dos produtos, reduzindo a necessidade de materiais; no entanto, como uma possível desvantagem, pode levar a um comportamento menos cuidadoso por parte do usuário, provavelmente reduzindo a vida útil dos produtos.
- SPS orientado a resultados em que já não existe um produto predeterminado (por exemplo, pagamento por unidade de serviço). Neste caso, há um maior potencial para aumentar a concepção ecológica e a eficiência dos recursos. No entanto, muitas mudanças radicais devem ser feitas para desenvolver esta abordagem porque as empresas precisam mudar seu modelo de negócios e sua infraestrutura e desenvolver novas habilidades (por exemplo, gerenciamento de relacionamento habilidades).

O conceito de SPS está intimamente relacionado com a prestação de serviços, ou economia funcional. O objetivo econômico da economia funcional é criar o maior uso possível de valor por mais tempo enquanto consome poucos recursos materiais e energia possível. Outro ponto é que o SPS não é mais baseado no produto, mas focado na vida do produto e funcionalidade da qual surgem os serviços compartilhando e alugando, o que provavelmente faz com que o consumo de recurso seja reduzido. Portanto, os conceitos apresentados contribuem para uma EC (Loiseau *et al.*, 2016).

Kjaer *et al.* (2019) identificaram cinco estratégias de SPS:

- Suporte operacional: o fornecedor de SPS apoia a operação do produto, por exemplo, através do monitoramento de desempenho ou treinamento do pessoal do cliente;
- Manutenção do produto: o fornecedor de SPS mantém o produto durante o uso, por exemplo, por meio de manutenção preventiva, reparo ou atualizações;
- Compartilhamento de produtos: o provedor de SPS combina propriedade retida (ou seja, aluguel de produtos) com compartilhamento de recursos entre usuários;
- Gestão de devolução/fim de vida: o fornecedor de SPS é responsável pela gestão de fim de vida e decide como os produtos são reutilizados, refabricados, remodelados, reciclados etc.;
- Resultado otimizado: o provedor de SPS entrega um resultado funcional e desmaterializa a oferta (por exemplo, substitui o transporte físico por serviços de videoconferência).

Geissdoerfer *et al.* (2020) também afirmam que um modelo de negócios descreve a lógica de como uma organização cria, entrega e captura valor. Em seguida, os mesmos autores apresentam uma definição que diz que os modelos de negócios precisam ser cíclicos, ampliar, intensificar e/ou desmaterializar os ciclos de materiais e energia para reduzir as entradas de recursos e os resíduos e emissões de gases em um sistema organizacional; isto inclui medidas de reciclagem (ser cíclico), extensões da fase de utilização (ampliação), uma fase de utilização mais intensa (intensificação) e a substituição de produtos por serviços e soluções de software (desmaterialização).

Com base nessa definição, Geissdoerfer *et al.* (2020) descrevem as quatro estratégias genéricas para modelos de negócios circulares: (1) ser cíclico; (2) extensão; (3) intensificação; e (4) desmaterialização, que pode ser visto na Figura 13.

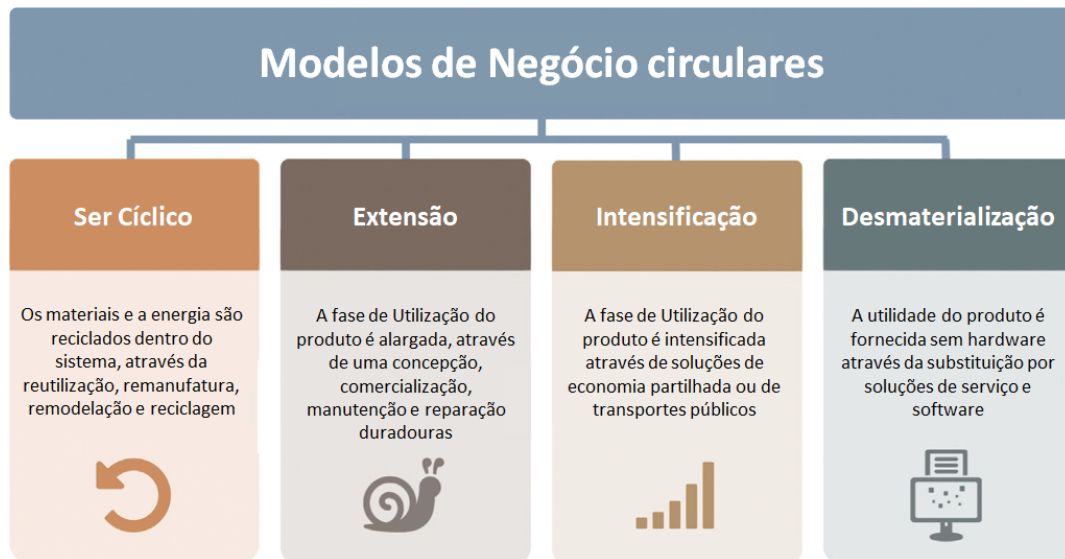


Figura 13: Estratégias de modelos de negócios circulares
 Fonte: Adaptado de Geissdoerfer *et al.* (2020)

Ser cíclico significa que os materiais e a energia são reciclados dentro do sistema, através da reutilização, refabricação, renovação e reciclagem. Por exemplo, os robôs industriais desativados podem ser reutilizados em pequenas e médias empresas (PME), onde o seu custo de aquisição reduzido permite uma forma viável de aumentar a produtividade através da automatização (Geissdoerfer *et al.*, 2020).

Extensão de ciclos de recursos implica que a fase de utilização do produto seja estendida, por meio de um *design* duradouro e intemporal, de um *marketing* que incentive longas fases de utilização, manutenção e reparação. Por exemplo, a Patek Philip constrói relógios mecânicos de luxo que duram muito tempo e têm um *design* intemporal que não mudou consideravelmente nas últimas décadas. Uma campanha de marketing apoia isso com o *slogan*: você nunca é único dono [deste relógio]; você precisa cuidar dele para a próxima geração (Geissdoerfer *et al.*, 2020).

A intensificação dos ciclos de recursos implica que a fase de utilização do produto seja intensificada através de soluções como a economia partilhada ou o transporte público. Por exemplo, o compartilhamento de carros pode reduzir significativamente o tempo ocioso dos carros e a quilometragem percorrida por usuário em comparação com um sistema convencional baseado na propriedade (Geissdoerfer *et al.*, 2020).

A desmaterialização de *loops* de recursos descreve o fornecimento de utilidade do produto sem *hardware* por meio da substituição por soluções de serviço e *software*. Por exemplo, oferecer serviços ou SPS em vez de produtos físicos para

cumprir a mesma função para o usuário pode reduzir o número de produtos produzidos e, ao mesmo tempo, melhorar a experiência do cliente. No entanto, o SPS deve ser projetado propositalmente para a dissociação de recursos, caso contrário, poderia gerar efeitos indesejados ou rebote que poderiam desencadear o aumento do consumo de recursos (Geissdoerfer *et al.*, 2020).

Fehrer e Wieland (2021) ressaltam que na EC os modelos de negócios e a inovação dos modelos de negócios são discutidos como ferramentas para mudar fundamentalmente a forma como os negócios são feitos e conduzi-los em direção à inovação sustentável e social. Os modelos de negócios têm sido tradicionalmente vistos como processos de criação de valor das empresas, como descrições de como as partes dos sistemas de negócios se encaixam e como conjuntos de variáveis de decisão que permitem às empresas usar e coordenar seus recursos para criar e entregar valor aos clientes em troca de compensação monetária apropriada.

De acordo com Fehrer e Wieland (2021), há quatro lógicas distintas para a criação de valor nos modelos de negócios:

- Ciclos materiais técnicos eficientes: a criação de valor em ciclos materiais-técnicos eficientes funciona fechando, desacelerando e estreitando os ciclos de vida biológicos e técnicos. Fechar ciclos refere-se à maximização da eficiência material e energética através da reutilização de materiais através da coleta e reciclagem. A desaceleração dos ciclos envolve o uso prolongado e a reutilização de bens ao longo do tempo, através da concepção de bens de longa vida, reparação, reabastecimento, renovação e modernização. Estreitar os ciclos significa reduzir o uso de recursos associados ao processo de produção, resultando em melhorias de eficiência. Portanto, os circuitos materiais-técnicos apoiam a utilização de recursos totalmente renováveis, recicláveis ou biodegradáveis (Fehrer e Wieland, 2021);
- Ciclos eficazes de produtos-serviços: ciclos eficazes de produtos-serviços criam valor ao substituir a propriedade do produto pelo acesso aos produtos e serviços, por exemplo através de abordagens de aluguel, *leasing* e pagamento pela utilização. Esses ciclos produto-serviço são comumente discutidos sob a rubrica de SPS. O impulso subjacente ao SPS é reconsiderar a forma como as necessidades de materiais e serviços estão a ser satisfeitas e trabalhar em prol de bens e serviços paralelos que sejam

mais benignos do ponto de vista ambiental e materialmente e energeticamente eficientes (Fehrer e Wieland, 2021);

- Ciclos sócio colaborativos: delinear a colaboração, em vez da competição, como uma prática central para a transição para uma EC que funcione bem. A criação de valor em ciclos sócio colaborativos está focada em vincular os atores para executar práticas sustentáveis de forma eficaz. Esta abordagem é compatível com a ideia de usar ativos ociosos na economia compartilhada, o que reduz a demanda por novas manufaturas. Assim, o ciclo de consumo é desacelerado e recursos subutilizados são ativados. Os ciclos sócio colaborativos mantêm os ativos na economia e criam novas oportunidades para os intervenientes no ecossistema. Os clientes, por exemplo, envolvem-se em sistemas de consumo alternativos baseados na partilha, que utilizam a capacidade ociosa de bens já produzidos e que possuem tempo livre (Fehrer e Wieland, 2021);
- Ecossistemas simbióticos: os ecossistemas simbióticos criam valor ao fechar ciclos de recursos (semelhante à reciclagem). No entanto, diferentemente das lógicas de modelos de negócios descritas anteriormente, os ecossistemas simbióticos baseiam-se na ação coletiva e na colaboração de vários atores na sua lógica de criação de valor. Os desafios sustentáveis são tão vastos que uma transição real em direção ao desenvolvimento sustentável exige esforços conjuntos e empreendedorismo coletivo, e que os esforços sustentáveis de uma única empresa dificilmente levam ao sucesso. Os ecossistemas simbióticos consideram estruturas institucionais mais amplas e integração de redes horizontais, e reconhecem que o sucesso das inovações sustentáveis depende em grande parte da estrutura e dinâmica do seu ambiente (Fehrer e Wieland, 2021).

O Quadro 7 apresenta as quatro lógicas para a criação de valor nos modelos de negócios mencionadas por Fehrer e Wieland (2021).

Lógica de criação de valor	Ciclos materiais técnicos eficientes	Ciclos eficazes de produto-serviço	Ciclos sócio colaborativos	Ecossistemas simbióticos
Conteúdo: mudando e criando (novas) atividades	Maximizando a eficiência de materiais e energia; Desenvolvendo e construindo para durabilidade; Reparar, reabastecer e reformar; Reciclagem e coleta Atualização.	Ofereça funcionalidade em vez de propriedade; Pagando pelo uso; Locação; Alugar; Manutenção; Criação de Serviços.	Envolver proativamente todas as partes interessadas; Compartilhamento; Difusão de práticas sustentáveis; Retardando o consumo.	Impulsionando a mudança sistêmica: Redefinir o papel das empresas para a sociedade e o meio ambiente; Restaurando e reencarnando; Soluções de expansão.
Estrutura: ligando atividades, recursos e atores de novas maneiras	Cadeias de abastecimento circulares, integração vertical (para frente e para trás)	Soluções de serviços, integração vertical (para frente)	Plataformas de consumo colaborativo, integração de rede	Redes associativas e colaborativas abertas, integração de redes
Governança: formas de governar/gerir o sistema de atividades	Gestão da cadeia de suprimentos, modelos contratuais centrados na empresa	Gestão de serviços, centrada na empresa com modelos contratuais	Orquestração de plataformas, descentralizada com modelos contratuais coletivos	Empreendedorismo coletivo, governança multi-organizacional, descentralizada de autoria coletiva

Quadro 9: Lógicas para criação de valor em modelo de negócio

Fonte: Adaptado de Fehrer e Wieland (2021)

Corroborando as definições de modelo de negócios apresentadas, Awan e Sroufe (2022) afirmam que um modelo de negócios descreve a arquitetura de como uma empresa cria e entrega valor aos clientes e os mecanismos empregados para capturar uma parte desse valor; nesse sentido os modelos de negócios visam criar, entregar e capturar valor ao mesmo tempo em que implementam estratégias circulares que podem prolongar a vida útil de produtos e peças (por exemplo, reparo e remanufatura) e fechar ciclos de materiais (por exemplo, reciclagem). Portanto, um modelo de negócio é aquele em que a lógica conceitual para a criação de valor se baseia na utilização do valor econômico retido nos produtos após seu uso inicial e ofertas de reutilização.

3. Modelo Proposto de Desenvolvimento de Produto com Abordagem de Economia Circular

Neste capítulo será apresentado o modelo proposto para desenvolvimento de produtos que engloba os conceitos de EC, com suas respectivas fases.

3.1 Modelo de PDP para embalagens

Na seção 2.2.1 foram apresentados alguns modelos de PDP e suas características. Depois de analisados todos os modelos apresentados, decidiu-se escolher um modelo base para desenvolver um modelo de desenvolvimento de produtos que englobe os conceitos de EC. O modelo escolhido como base foi o *Stage-Gate*, proposto por Robert Cooper.

Escolheu-se o modelo *Stage-Gate* por apresentar diversas etapas que facilitam a incorporação dos conceitos e ferramentas relacionadas com EC e ainda porque é o *framework* de desenvolvimento de novos produtos mais usado na literatura (Awais e Tipu, 2012). Além disso, Kitsios e Kamariotou (2021) afirmam que o modelo *Stage-Gate* é o modelo de gerenciamento de inovação mais amplamente avaliado, referenciado e implementado do mundo, usado por empresas de todos os tamanhos e adotado em muitos setores.

A Figura 14 apresenta o modelo de PDP proposto e que vai englobar os conceitos de EC.

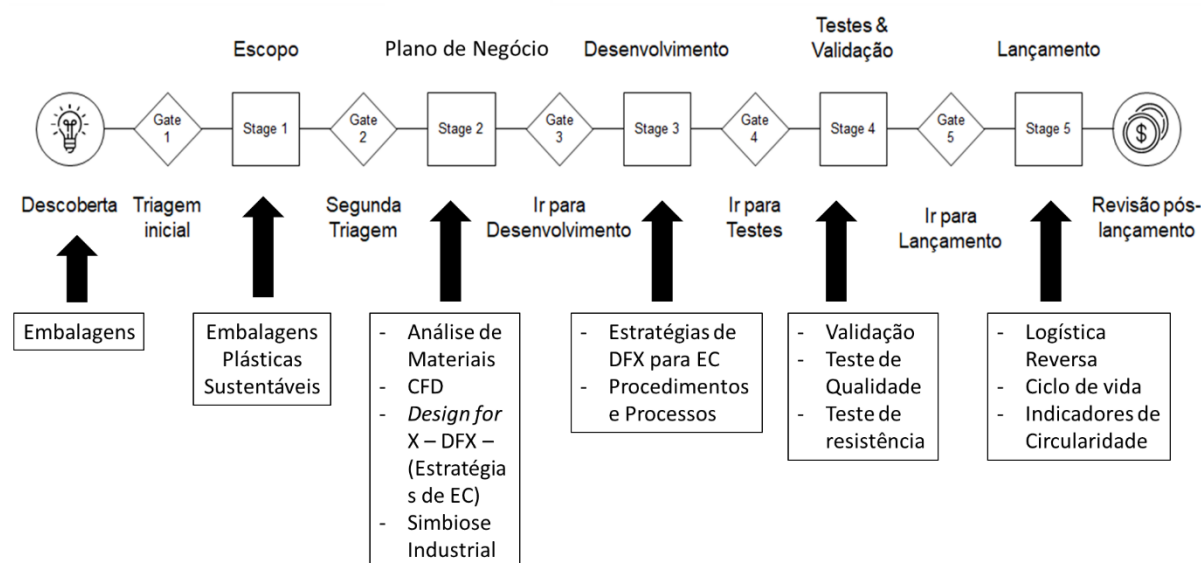


Figura 14: Modelo de PDP proposto para embalagens
Fonte: elaborado pelo autor

O modelo proposto é baseado no modelo *Stage-Gate* proposto por Cooper (1990), de modo que todos os estágios foram adaptados para o desenvolvimento de embalagens que serão desenvolvidas seguindo os conceitos de EC.

Dentro de cada estágio foram propostas atividades que a organização deveria decidir e seguir para implementar a EC. Portanto, cada atividade precisa ser analisada detalhadamente com a finalidade de colocar em prática os conceitos de EC para que os produtos sejam considerados circulares e componentes e materiais possam ser aproveitados e reaproveitados por um tempo maior.

Nas seções seguintes, cada etapa será explicada detalhadamente.

3.2 Descoberta: Embalagens

De acordo com Sastre *et al.* (2020), as embalagens são recipientes ou invólucros cuja principal função é conter, proteger e transportar mercadorias. Elas podem ser classificadas como complexas e sistêmicas, pois envolvem interações previsíveis e/ou inesperadas entre suas partes e processos. Portanto, é essencial considerá-las sob a perspectiva de todo o seu ciclo de vida.

A embalagem tem suas origens na necessidade humana de conservar alimentos, evoluindo desde o uso de folhas e materiais naturais até o couro, vidro e metal na Idade Média, quando se acreditava na infinidade dos recursos naturais. A criação de supermercados transformou o comércio, aumentando a necessidade de conservação prolongada dos produtos e a competitividade das embalagens. Com avanços tecnológicos, a moldagem de plásticos e a criatividade no *design* de embalagens floresceram. Atualmente, o mercado de embalagens é global, com o Brasil emergindo como referência em novas tecnologias, como o plástico verde e tampas abre-fácil. A função das embalagens também evoluiu, passando a incluir importantes aspectos mercadológicos (Nascimento, 2023).

Segundo Guiné *et al.* (2020) e Firouz, Mohi-Alden e Omid (2021), as embalagens desempenham um papel crucial no desenvolvimento de produtos e têm impacto em várias áreas, desde a proteção do produto até a promoção da marca. Algumas características das embalagens são:

- As embalagens têm a função primordial de proteger o produto contra danos durante o transporte, armazenamento e manipulação. Isso é especialmente

crítico para produtos frágeis, perecíveis ou sensíveis a condições ambientais.

- As embalagens fornecem informações essenciais para os consumidores, como instruções de uso, ingredientes, informações nutricionais, data de validade e outras informações regulatórias.
- A embalagem é uma extensão da identidade da marca. Cores, *design* e mensagens na embalagem ajudam a construir e comunicar a imagem da marca, estabelecendo uma conexão emocional com os consumidores.

Na introdução dessa tese, especificamente na seção 1.1 que apresentou a caracterização da pesquisa, foi levantada a importância das embalagens para o mercado mundial e alguns problemas que o aumento do consumo das embalagens vem acarretando. Souza (2021) afirma que as embalagens mudam seu *status* de funcional para não funcional muito rapidamente, pois algumas embalagens deixam de ser úteis depois que o produto é retirado ou consumido. Então, as embalagens tornam-se rejeitáveis e nem sempre são descartadas de forma correta.

Também apresentou o problema das embalagens plásticas que demoram para serem decompostas na natureza e nem todos os plásticos são reciclados.

Com a contínua degradação ambiental causada pelo aumento dos resíduos de embalagens, cresce a demanda por abordagens mais robustas que exijam a concepção, produção, consumo e reciclagem de embalagens de maneira mais sustentável (Zhu *et al.*, 2022).

Sastre, de Paula e Echeveste (2022) ressaltam que o excesso de embalagens no planeta desafia o desenvolvimento sustentável, e a economia circular sugere que o problema dos resíduos deve ser abordado desde a concepção. Este modelo baseia-se em conceitos de capital econômico, natural e social, e na transição para fontes de energia renováveis. Portanto, desenvolvedores, fabricantes e profissionais de embalagens têm a responsabilidade de atender às demandas atuais. Apesar de parecer simples estruturalmente, a embalagem é complexa em termos de ciclo de vida, pois as escolhas de materiais e formatos impactam sua função, produção, distribuição, uso e descarte, além de causar danos ambientais. A busca por embalagens biodegradáveis reflete a necessidade de reduzir esses impactos. A embalagem envolve múltiplas áreas como projeto, comunicação, engenharia e química, revelando sua complexidade sistêmica.

Nesse sentido, é de suma importância que as embalagens tenham o seu PDP com foco na EC e para isso é necessário que um modelo de PDP seja elaborado para o desenvolvimento de embalagens sustentáveis.

3.3 Estágio 1: Escopo – Embalagens Plásticas Sustentáveis

Embalagem sustentável pode ser definida como a embalagem que é projetada com materiais recicláveis e que atendem os critérios do mercado para a sua finalidade funcional e social considerando a viabilidade econômica e a minimização do impacto ambiental por meio da avaliação do seu ciclo de vida (SASTRE, 2022).

De acordo com Kautish, Paço e Thaichon (2022), as embalagens plásticas são amplamente utilizadas em diversos setores devido às suas propriedades versáteis, leveza, durabilidade e custo relativamente baixo. Aqui alguns aspectos importantes sobre embalagens plásticas:

- Versatilidade: os plásticos oferecem uma ampla gama de opções de design, formas e tamanhos, o que os torna ideais para embalagens de diversos produtos, desde alimentos e bebidas até produtos eletrônicos e farmacêuticos.
- Leveza e durabilidade: as embalagens plásticas são leves, o que facilita o transporte e reduz os custos logísticos. Além disso, são duráveis e oferecem boa proteção contra impactos físicos, umidade e outros fatores ambientais.
- Barreiras protetoras: o plástico pode ser formulado para criar barreiras eficazes contra oxigênio, luz, umidade e odores, ajudando a preservar a qualidade e a vida útil dos produtos embalados.
- Custo efetivo: comparado a alguns materiais de embalagem, o plástico é frequentemente mais econômico de produzir, o que pode contribuir para a redução dos custos de embalagem.

Rai *et al.* (2021), Testa *et al.* (2021) e Holler *et al.* (2023) ressaltam que as embalagens plásticas sustentáveis são uma resposta aos desafios ambientais associados ao uso extensivo de materiais convencionais. Essas embalagens buscam minimizar os impactos negativos no meio ambiente, desde a produção até o descarte,

e, geralmente, incorporam práticas mais ecológicas em sua fabricação e ciclo de vida. Alguns aspectos relacionados às embalagens sustentáveis são:

- Materiais biodegradáveis e compostáveis: uma abordagem sustentável envolve o uso de plásticos biodegradáveis ou compostáveis. Esses materiais se degradam mais rapidamente no meio ambiente, reduzindo o impacto a longo prazo.
- Plásticos de fontes renováveis: materiais plásticos derivados de fontes renováveis, como cana-de-açúcar ou amido de milho, são considerados mais sustentáveis do que aqueles derivados de fontes não renováveis, como o petróleo.
- Reciclagem: algumas embalagens sustentáveis são projetadas para serem mais facilmente recicláveis. Isso pode envolver o uso de materiais mono ou polímeros específicos que são mais compatíveis com os sistemas de reciclagem existentes.
- Materiais reciclados: a utilização de plásticos reciclados na fabricação de embalagens é uma prática comum para reduzir a dependência de matéria-prima virgem. A reciclagem contribui para a redução do desperdício e a conservação de recursos.
- *Design* eficiente e redução de resíduos: o *design* das embalagens sustentáveis muitas vezes prioriza a eficiência de materiais, minimizando o uso desnecessário de plástico e reduzindo a quantidade de resíduos gerados.
- Inovações em materiais: pesquisas contínuas estão focadas no desenvolvimento de novos materiais que sejam ambientalmente amigáveis. Isso inclui plásticos que podem ser dissolvidos em água, plásticos de origem biológica e materiais que podem ser facilmente reciclados.
- Conscientização do consumidor: muitas empresas estão destacando o caráter sustentável de suas embalagens para atrair consumidores conscientes do meio ambiente. Informar os consumidores sobre a importância da reciclagem e do descarte responsável é uma parte fundamental dessa estratégia.
- Colaboração da indústria: a colaboração entre diferentes setores da indústria, incluindo fabricantes de embalagens, varejistas, e empresas de

reciclagem, é essencial para criar soluções mais sustentáveis e alinhar esforços em direção a práticas mais responsáveis.

Visando a implementação da EC no PDP, as embalagens plásticas são uma oportunidade para várias empresas e é o foco dessa tese.

3.4 Estágio 2: Plano de Negócio

Para que a organização decida englobar a EC no PDP, é importante considerar uma série de fatores e práticas, pois a EC tem como objetivo maximizar o valor dos recursos, minimizar o desperdício e reduzir o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida de um produto. Com base em Lin (2018), Ko (2020), Diaz, Reyes e Baumgartner (2022) e Joustra *et al.* (2022), algumas considerações que precisam ser consideradas são:

- *Design* Sustentável: o *design* do produto deve ser orientado para a sustentabilidade desde o início. Isso inclui a escolha de materiais sustentáveis, *design* para desmontagem, durabilidade e reparabilidade.
- Materiais Sustentáveis: selecionar materiais que sejam renováveis, recicláveis ou biodegradáveis. Procure fontes de materiais sustentáveis e estabeleça cadeias de suprimentos responsáveis.
- Ciclo de Vida do Produto: realizar uma análise detalhada do ciclo de vida do produto para identificar oportunidades de redução de impacto ambiental em todas as fases, desde a produção até o descarte.
- Logística Reversa: planejar sistemas eficazes de logística reversa que permitam a coleta e a recuperação de produtos usados para reutilização, reciclagem ou remanufatura.
- Modelos de Negócios Circulares: considerar modelos de negócios que incentivem a reutilização, o compartilhamento, o aluguel, a remanufatura e a recuperação de produtos após o uso.
- Inovação e Tecnologia: estar aberto a inovações tecnológicas que possam melhorar a sustentabilidade do produto, como novos materiais, processos de fabricação e métodos de reciclagem.

- Educação e Conscientização: educar funcionários, clientes e parceiros sobre os princípios da economia circular e promova a conscientização sobre a importância da reciclagem e do descarte adequado.
- Regulamentações e Certificações: manter-se atualizado com as regulamentações ambientais e busque certificações que atestem a sustentabilidade do produto, como rótulos ecológicos.
- Parcerias e Colaborações: colaborar com fornecedores, recicladores e outras partes interessadas para otimizar os fluxos de materiais e recursos.
- Avaliação de Impacto: realizar avaliações regulares do impacto ambiental e social ao longo do ciclo de vida do produto para medir o progresso em direção a uma economia circular.
- Economia de Serviços: considerar a possibilidade de oferecer serviços em vez de apenas produtos físicos, como *leasing* de produtos, manutenção e atualizações.
- Minimização de Resíduos: reduzir o desperdício durante o processo de fabricação e promova a reciclagem de resíduos sempre que possível.
- Tecnologia da Informação: utilizar a tecnologia da informação para rastrear e gerenciar o ciclo de vida dos produtos e otimizar a logística reversa.
- Cultura Corporativa Sustentável: desenvolver uma cultura empresarial que valorize a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental.

No estágio 2 do modelo *Stage-Gate* de Cooper, denominado plano de negócio para a produção de embalagens, o foco recai na formulação de um plano abrangente que aborde aspectos cruciais do empreendimento. Durante este estágio, é essencial realizar uma análise de mercado profunda para compreender as demandas dos consumidores, identificar concorrentes e discernir as tendências do setor de embalagens. Simultaneamente, a elaboração de um sólido plano de negócios é realizada, incluindo a identificação de segmentos de mercado-alvo, uma análise financeira preliminar para avaliar a viabilidade econômica e estratégias de mitigação de riscos comerciais. O estágio 2 também requer o desenvolvimento de um plano de marketing estratégico, que engloba o posicionamento do produto, estratégias de preço e estratégias operacionais, incluindo a criação de uma cadeia de suprimentos eficiente e a avaliação da capacidade de produção (Cooper, 2008).

O estágio 2 do *Stage-Gate* é de suma importância para o desenvolvimento de todo o modelo, pois o sucesso do produto depende da viabilidade econômica do plano de negócio, então as empresas precisam analisar com cuidado essa etapa para não projetar um produto que seja economicamente inviável.

No modelo proposto (Figura 14), a etapa de planejamento contém, pelo menos, quatro atividades que são: Análise de Materiais; CFD; Estratégias de EC e Simbiose industrial.

3.4.1 Análise de Materiais

A análise de materiais desempenha um papel crucial no desenvolvimento de embalagens sustentáveis, buscando minimizar o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida do produto. Para embalagens sustentáveis, é essencial considerar diversos aspectos na seleção de materiais. Primeiramente, a preferência é dada a materiais recicláveis, biodegradáveis ou compostáveis, visando reduzir resíduos e promover práticas mais ecológicas (Testa *et al.*, 2021).

A avaliação do ciclo de vida dos materiais é um componente chave, analisando as etapas desde a extração da matéria-prima até o descarte final. Materiais que requerem menos energia na produção, transporte e reciclagem, geralmente, são preferidos. Além disso, a origem sustentável dos materiais é crucial, incentivando a escolha de fontes renováveis e a redução do uso de recursos não renováveis (Jugend *et al.*, 2020).

A incorporação de tecnologias inovadoras, como plásticos biodegradáveis baseados em materiais orgânicos, também é considerada. No entanto, é importante garantir que esses materiais realmente ofereçam benefícios ambientais significativos e que sua degradação não resulte em subprodutos prejudiciais ao meio ambiente (Ko, 2020).

Kautish, Paço e Thaichon (2022) ressaltam que a redução do peso e volume da embalagem, sem comprometer sua eficácia, é outra estratégia relevante para minimizar o uso de materiais. Além disso, o *design* para a reciclagem é fundamental, facilitando a separação de diferentes materiais durante o processo de reciclagem.

Em resumo, a análise de materiais para embalagens sustentáveis envolve uma abordagem holística que considera não apenas a funcionalidade e o desempenho, mas também os impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida

do produto. Portanto, é importante uma análise de materiais para o desenvolvimento de embalagens que sejam sustentáveis, visto que o tipo de material pode influenciar nessa questão de sustentabilidade.

3.4.2 CFD (*Circular Function Deployment*)

Segundo Vimal *et al.* (2022), o método de desdobramento da função qualidade (QFD) tem sido amplamente utilizado para converter os requisitos do cliente em termos de engenharia no desenvolvimento e produção de produtos. Nesse sentido, o método *Circular Function Deployment* (CFD) integra os conceitos de circularidade com QFD como uma ferramenta para implementar os princípios CE na fase de *design*. O CFD pode substituir os requisitos dos clientes em requisitos de circularidade para que um produto seja desenvolvido de forma circular.

A incorporação de conceitos de circularidade no QFD pode ser uma abordagem valiosa para promover práticas sustentáveis no desenvolvimento de produtos e serviços. Dessa forma, as organizações podem não apenas atender às necessidades dos clientes, mas também adotar práticas mais responsáveis do ponto de vista ambiental. Essa abordagem alinha-se com uma visão mais holística do desenvolvimento de produtos, considerando não apenas a qualidade e a satisfação do cliente, mas também os impactos sociais e ambientais (Siwiec, Pacana e Gazda, 2023).

Pensando em criar um CFD para embalagens, algumas características de circularidade para embalagens foram consideradas. São elas:

- *Design* para Reciclabilidade: o *design* das embalagens é pensado para facilitar o processo de reciclagem. Isso pode incluir a escolha de materiais recicláveis e a criação de embalagens que podem ser facilmente separadas para reciclagem;
- Uso de Plásticos Reciclados (PCR - *Post-Consumer Recycled*): incorporação de plásticos reciclados no processo de fabricação das embalagens, promovendo o fechamento do ciclo e reduzindo a demanda por novas matérias-primas;
- *Design* Reduzido de Plástico: estratégias para minimizar a quantidade de plástico utilizado nas embalagens, reduzindo o desperdício e o impacto ambiental associado à produção;

- Embalagens Reutilizáveis: exploração de modelos de embalagens reutilizáveis, incentivando os consumidores a devolverem as embalagens para serem limpas e reutilizadas;
- Inovação em Materiais Biodegradáveis: investimento em materiais plásticos biodegradáveis ou compostáveis, que se degradam naturalmente ao longo do tempo, minimizando a persistência de resíduos plásticos no meio ambiente;
- Modelos de Negócios Circulares: adoção de modelos de negócios circulares, como programas de refil, em que os consumidores podem reabastecer suas embalagens originais, reduzindo a necessidade de novas embalagens;
- Rastreabilidade e Transparência na Cadeia de Suprimentos: implementação de sistemas que rastreiam a origem e a composição das embalagens, garantindo a transparência e permitindo a tomada de decisões sustentáveis em toda a cadeia de suprimentos.

Algumas características do processo de produção de embalagens foram consideradas para a elaboração do CFD, como:

- Material - Tipo de Plástico Adequado: escolher o tipo de plástico apropriado para a aplicação específica é fundamental. Diferentes plásticos têm propriedades distintas, como resistência química, durabilidade, flexibilidade e transparência. A escolha do material adequado impacta diretamente na funcionalidade da embalagem;
- Barreira e Proteção: a embalagem deve proporcionar a proteção necessária ao produto frente a fatores externos, como luz, umidade, oxigênio e micro-organismos. Isso é especialmente crítico para alimentos, medicamentos e produtos sensíveis;
- *Design* Ergonômico e Funcionalidade: o *design* da embalagem deve ser prático e atender às necessidades dos consumidores. Isso inclui facilidade de abertura, fechamento e manuseio. Uma embalagem ergonômica pode melhorar a experiência do usuário;
- Legislação e Regulamentação: cumprir as regulamentações e normas locais e internacionais é vital. Isso inclui requisitos de segurança alimentar,

informações obrigatórias no rótulo, restrições de materiais e outros padrões da indústria;

- Eficiência no Transporte e Armazenamento: o tamanho, forma e resistência da embalagem influenciam diretamente a eficiência logística. Embalagens otimizadas podem reduzir custos de transporte e armazenamento, além de minimizar o desperdício de espaço;
- Apelo Estético e Marketing: a embalagem muitas vezes desempenha um papel crucial na decisão de compra. O *design* atraente, rótulos informativos e embalagens inovadoras podem diferenciar um produto no mercado e influenciar a escolha do consumidor.

A Figura 15 apresenta um exemplo de parte da casa de qualidade do QFD que foi adaptada considerando conceitos de circularidade para a elaboração do CFD para o setor de embalagens.

	Material	Barreira e Proteção	Design Ergonômico	Funcionalidade	Legislação e Regulamentação	Transporte	Armazenamento	Marketing
<i>Design</i> para Reciclabilidade								
Uso de Plásticos Reciclados								
<i>Design</i> Reduzido								
Embalagens Reutilizáveis								
Inovação em Materiais Biodegradáveis								
Modelos de Negócios Circulares								
Rastreabilidade								

Figura 15: Exemplo de um CFD para o setor de embalagens

Fonte: Elaborado pelo autor

3.4.3 Atividade de *Design for X* (Estratégia de EC)

As estratégias de economia circular desempenham um papel fundamental no processo de desenvolvimento de produtos, visando criar produtos mais sustentáveis, eficientes e ambientalmente responsáveis. *Design for X* (DFX) são boas estratégias para a implementação da EC.

As estratégias de DFX apresentadas por Lin (2018) são interessantes de serem consideradas: *design* para fabricação, *design* para montagem, *design* para desmontagem. *design* para usuários, *design* para qualidade, *design* para

gerenciamento da cadeia de suprimentos; *design* para o ciclo de vida e *design* para o meio ambiente.

Ao adotar essas estratégias, os procedimentos e processos precisam ser modificados para que estas sejam atendidas.

A economia circular envolve a integração de tecnologia verde, material verde e fabricação verde no processo de projeto de produtos ecológicos. Isso significa priorizar tecnologias de energia verde, materiais biodegradáveis e minimizar processos de fabricação prejudiciais ao meio ambiente, conhecidas como os três DNAs verdes (Ko, 2020).

De acordo com Diaz, Reyes e Baumgartner (2022) e Joustra *et al.* (2022), os projetistas de produtos podem utilizar ferramentas para integrar estratégias de economia circular em seus processos de *design*. Elas envolvem mapear o ciclo de vida do produto, identificar partes interessadas, explorar ciclos de recuperação e usar uma estrutura de projeto de produto circular que relaciona estratégias circulares aos aspectos de *design*.

Nesse sentido, pode-se considerar as seguintes estratégias de DFX para EC:

- *Design* para durabilidade: projetar produtos de alta qualidade e durabilidade, de modo que durem mais tempo e necessitem de menos substituições.
- *Design* para a desmontagem: projetar produtos de forma que sejam facilmente desmontados, permitindo a recuperação de componentes e materiais para reutilização.
- Reciclagem de materiais: coletar e reciclar materiais de produtos usados para reintegrá-los na cadeia de suprimentos, minimizando a extração de novas matérias-primas.
- Remanufatura: desmontar produtos usados, substituir ou recondicionar componentes e remontá-los para serem revendidos como produtos de qualidade semelhante a novos.
- Aluguel e compartilhamento de produtos: oferecer produtos como serviços, permitindo que os clientes aluguem ou compartilhem produtos em vez de comprá-los.
- Modelos de negócios de serviços: mudar o foco de vender produtos para vender serviços relacionados aos produtos, como manutenção, atualizações e suporte.

- *Design* modular: projetar produtos em módulos que podem ser facilmente substituídos ou atualizados, prolongando a vida útil do produto.
- Tecnologia: utilizar tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), para rastrear o desempenho dos produtos e otimizar o uso de recursos.

Definida as estratégias de DFX para EC que cada produto irá utilizar, os procedimentos e processos precisaram ser elaborados ou modificados para que essas estratégias possam fazer parte do produto. A Figura 16 apresenta um exemplo genérico de como os produtos podem se relacionar com as estratégias de EC.

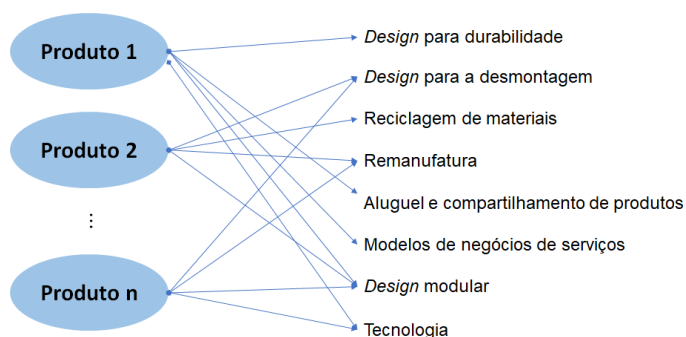


Figura 16: Relação dos produtos com as estratégias de EC
Fonte: Elaborado pelo autor

3.4.4 Atividade de Simbiose Industrial

De acordo com Moreno *et al.* (2016), Vihma e Moora (2020), Khan e Haleem (2021), Sumter *et al.* (2021) e Wang, Burke e Zhang (2022), a simbiose industrial é um conceito que se baseia na cooperação e na troca de recursos, subprodutos e resíduos entre empresas, de modo a criar um sistema mais sustentável e eficiente. Esse conceito se inspira na natureza, onde várias espécies interagem de maneira simbiótica, beneficiando-se mutuamente. No contexto industrial, a simbiose visa minimizar o desperdício, otimizar o uso de recursos e reduzir o impacto ambiental. Algumas características importantes da simbiose industrial incluem:

- Troca de Recursos: empresas envolvidas na simbiose industrial colaboram para identificar oportunidades de compartilhar recursos, como matérias-primas, água, energia, calor, espaço, conhecimento e mão de obra.
- Reutilização de Resíduos: em vez de descartar resíduos, as empresas buscam maneiras de reutilizá-los em outros processos, transformando o que antes era considerado um subproduto em um recurso valioso.

- **Eficiência Energética e Ambiental:** a simbiose industrial visa aprimorar a eficiência energética e a gestão de recursos, resultando em uma redução significativa dos impactos ambientais.
- **Redução de Custos:** a colaboração entre empresas pode levar a reduções de custos significativas, pois os recursos são compartilhados e o desperdício é minimizado.
- **Benefícios Regionais:** a simbiose industrial frequentemente se concentra em *clusters* ou parques industriais, onde várias empresas estão localizadas próximas umas às outras, facilitando a colaboração.
- **Inovação e Sustentabilidade:** a abordagem da simbiose industrial incentiva a inovação e a adoção de práticas mais sustentáveis, o que pode melhorar a imagem da empresa e sua competitividade.

A simbiose industrial promove uma abordagem mais holística e sustentável para as operações industriais, ajudando a reduzir o impacto ambiental, melhorar a eficiência e criar relacionamentos colaborativos entre as empresas. Essa abordagem é cada vez mais relevante em um mundo preocupado com a sustentabilidade e a gestão responsável dos recursos de modo a aplicar diversos conceitos da EC.

Nesse sentido, a alta administração precisa decidir se irá realizar a simbiose industrial e procurar outras empresas que possam colaborar para que os conceitos de EC circular sejam colocados em práticas.

3.5 Estágio 3: Desenvolvimento

No estágio 3 do modelo *Stage-Gate* de Cooper, dedicado ao desenvolvimento de embalagens sustentáveis, a ênfase recai na transformação de conceitos em realidade tangível. Durante esta fase, o foco está na materialização e aprimoramento dos protótipos concebidos nas etapas anteriores, incorporando elementos cruciais de sustentabilidade. A produção de protótipos de embalagens, utilizando materiais sustentáveis identificados no estágio de Construção do Plano Comercial, é essencial. Simultaneamente, ocorre uma otimização dos processos de produção, visando eficiência e redução de impactos ambientais (Cooper, 2008).

A etapa de desenvolvimento de PDP que engloba os conceitos de EC, precisa ser realizada por uma equipe multifuncional com várias especialidades, pois as

características propostas pela EC precisam estar presentes para que o produto seja circular. É nessa etapa que os conceitos da EC serão utilizados e colocados em prática, pois o produto precisa ser produzido pensando na abordagem dos 3Rs (Redução, Reutilização e Reciclagem) (Lin, 2018; Diaz, Reyes e Baumgartner, 2022).

Então, é nessa etapa que os conceitos de EC são colocados em prática de acordo com o que foi planejado. Os projetistas precisam analisar o portfólio de produtos definidos na etapa de planejamento e os conceitos da EC que a organização consegue realizar para que os produtos possam se tornar circular.

Nesse sentido, a etapa de desenvolvimento do modelo proposto ficou de forma resumida dividida em duas atividades: estratégias de EC e procedimentos e processos.

3.5.1 Estratégias de DFX para EC e Procedimentos e Processos

As estratégias de DFX para EC foram apresentadas na seção 3.4.3 dessa tese. Definida quais estratégias de EC cada produto vai incorporar, é necessário pensar no procedimento para cada uma delas. Nesse sentido, a Figura 17 apresenta um formulário para auxiliar a equipe a desenvolver os procedimentos e processos para cada produto com base nas estratégias de EC do produto.

Nome do Produto:			
Descrição do produto			
Estratégia de economia circular			
	Design para durabilidade		Aluguel e compartilhamento de produtos
	Design para a desmontagem		Modelos de negócios de serviços
	Reciclagem de materiais		Design modular
	Remanufatura		Tecnologia
Descrição das estratégias de economia circular			

Figura 17: Formulário de produto com as estratégias de EC incorporadas
Fonte: Elaborado pelo autor

Para que a organização possa elaborar os procedimentos e definir os processos para cada estratégia de EC adotada nesse modelo, algumas questões podem ser elaboradas para auxiliar.

Para *design* para durabilidade:

- O produto será feito para durar quanto tempo? Pensar em um período longo de duração.

- Quais materiais são importantes para que o produto dure o tempo determinado?
- Qual tecnologia utilizar para que os clientes possam ficar satisfeitos por um período longo?

Para *design* para a desmontagem:

- Quanto tempo leva para desmontar o produto?
- Quais materiais são importantes que podem ser reutilizados?
- Pode haver um mapeamento do tempo de desmontagem e a indicação dos materiais importante.

Para reciclagem de materiais:

- Quais os critérios para a seleção de materiais reciclados?
- Quais teste esses materiais precisam passar para que sejam considerados bons para serem utilizados?
- Onde coletar esses materiais? Quais fornecedores?

Para remanufatura:

- O produto pode ser refeito? Ou atualizado?
- Tem como aproveitar para dar um *upgrade* no produto?
- É interessante ter uma linha de produtos remanufaturados?

Para aluguel e compartilhamento de produtos:

- Quais materiais podem ser utilizados para que o produto possa ser usado por vários clientes diferentes?
- O produto precisa ser mais robusto?
- O aluguel ou compartilhamento será de responsabilidade de um ramo da empresa ou de uma empresa parceira? Se for da empresa parceira, ela tem condições de fazer pequenos reparos caso necessário?

Para modelos de negócios de serviços:

- Como será o processo de manutenção? O próprio cliente pode fazer ou somente o suporte técnico?
- Quem irá atualizar o produto?
- Há necessidade de realizar treinamento do cliente? Quem irá fazer esse treinamento?

Para *design* modular:

- Como o produto pode ser dividido em módulos?
- Os módulos serão fabricados separadamente?
- Um módulo pode atualizado separadamente?

Tecnologia: utilizar tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), para rastrear o desempenho dos produtos e otimizar o uso de recursos.

- Quais tecnologias serão utilizadas?
- Será utilizado um banco de dados para coletar informações dos produtos e clientes? Quem vai coletar essas informações? E como elas serão coletadas.

Além dessas questões, as organizações podem acrescentar mais ou retirar algumas de acordo com o seu produto e sua empresa.

3.6 Estágio 4: Teste e Validação

No estágio 4 do modelo *Stage-Gate* de Cooper, que se concentra no teste e validação para embalagens sustentáveis, os produtos desenvolvidos passam por uma fase crucial de avaliação prática. Durante essa etapa, as embalagens sustentáveis são submetidas a testes abrangentes para verificar sua adequação às expectativas de desempenho, resistência e durabilidade. Além disso, os aspectos ambientais são minuciosamente examinados para confirmar que as embalagens estão alinhadas com as metas de sustentabilidade estabelecidas. Este estágio assegura que as embalagens atendam aos padrões de qualidade, desempenho e sustentabilidade antes de avançar para a implementação completa (Cooper, 2008).

Nesse sentido, a etapa de teste e validação do modelo proposto apresenta de forma resumida em três atividades: teste de qualidade, teste de resistência e validação.

Os testes de qualidade desempenham um papel fundamental no desenvolvimento e validação de embalagens sustentáveis. A otimização dos processos de produção visa garantir que os materiais sustentáveis sejam eficientemente incorporados, mantendo altos padrões de qualidade. A abordagem holística para testes de qualidade, integrando aspectos técnicos e práticos, é essencial para garantir que as embalagens sustentáveis não apenas alcancem padrões elevados de desempenho, mas também atendam às expectativas dos consumidores e se destaquem no mercado (Testa *et al.*, 2021).

Lv *et al.* (2022) e Holler *et al.* (2023) ressaltam que os testes de resistência são um componente crítico na avaliação de embalagens sustentáveis. Durante o estágio de desenvolvimento, protótipos sustentáveis passam por testes meticulosos para avaliar sua resistência a fim de garantir que atendam aos padrões de durabilidade essenciais. Estes testes incluem a análise da capacidade das embalagens de suportar carga, resistir a pressões externas e manter a integridade estrutural durante o manuseio e transporte. A otimização dos processos de produção, realizada concomitantemente, visa garantir que os materiais sustentáveis incorporados mantenham níveis adequados de resistência. No estágio de teste e validação, avaliações detalhadas de resistência são realizadas para verificar a capacidade prática das embalagens em condições do mundo real.

De acordo com Kautish, Paço e Thaichon (2022), a validação de embalagens sustentáveis é um processo crucial. Durante o estágio de desenvolvimento, protótipos são cuidadosamente elaborados com base em conceitos sustentáveis, submetidos a testes práticos para garantir resistência, durabilidade e funcionalidade. Simultaneamente, otimizações nos processos de produção são realizadas para assegurar a eficiência na implementação dos novos materiais e práticas sustentáveis. Os produtos sustentáveis são submetidos a avaliações abrangentes, incluindo testes ambientais para confirmar sua aderência a padrões de sustentabilidade. A validação não apenas certifica a integridade ambiental das embalagens sustentáveis, mas também assegura sua eficácia no mundo real, consolidando sua prontidão para a implementação total no estágio de lançamento. Este processo integrado de validação desempenha um papel essencial em garantir que as embalagens não só atendam aos

critérios de sustentabilidade, mas também se destaquem no mercado competitivo, alinhando-se às expectativas dos consumidores e às demandas práticas (Kautish, Paço e Thaichon, 2022).

3.7 Lançamento

A etapa de Lançamento aborda atividades relacionadas à gestão e ao acompanhamento do produto após o desenvolvimento, com foco em aspectos como a manutenção, a evolução, o suporte ao cliente e a avaliação de desempenho.

No estágio 5 do modelo *Stage-Gate* de Cooper, intitulado lançamento, as embalagens sustentáveis que passaram pelos estágios anteriores são oficialmente introduzidas no mercado. Este estágio representa a implementação completa do produto após a conclusão bem-sucedida das fases de desenvolvimento, teste e validação. Durante o lançamento, estratégias de *marketing* são acionadas para comunicar os atributos sustentáveis das embalagens aos consumidores e promover a aceitação no mercado. As equipes de vendas são mobilizadas para estabelecer parcerias com clientes e distribuidores, garantindo uma penetração efetiva no mercado. A monitorização contínua do desempenho do produto no ambiente de mercado é crucial, permitindo ajustes rápidos e contínuos com base no *feedback* dos clientes e nas condições de mercado em constante mudança. A conclusão bem-sucedida deste estágio confirma não apenas a sustentabilidade das embalagens, mas também sua aceitação e relevância no mercado, contribuindo para o sucesso a longo prazo do produto (Cooper, 2008).

Nesse sentido, a etapa de lançamento do modelo proposto abordou três atividades que são importantes para que EC seja implementada eficientemente no PDP. Essas atividades são: logística reversa, ciclo de vida e indicadores de circularidade.

3.7.1 Logística Reversa

De acordo com Jugend *et al.* (2020), Sumter *et al.* (2020), Vihma e Moora (2020), Khan e Haleem (2021), Wang, Burke e Zhang (2022), a logística reversa é o processo que envolve a coleta, transporte, triagem e gestão de produtos, materiais ou resíduos após seu uso pelo consumidor, visando à recuperação, reutilização, reciclagem ou disposição adequada, em conformidade com princípios ambientais e

regulamentações. Ela abrange o retorno de produtos descartados ao ciclo produtivo, promovendo a redução do desperdício, a preservação de recursos, a minimização do impacto ambiental e o cumprimento de obrigações legais, desempenhando um papel essencial na EC e na gestão sustentável de resíduos.

Segundo Jugend *et al.* (2020), Sumter *et al.* (2020), Vihma e Moora (2020), Khan e Haleem (2021), Wang, Burke e Zhang (2022), para implementar a logística reversa de forma eficaz, uma empresa deve começar avaliando a viabilidade e definindo objetivos claros. Em seguida, é necessário identificar os produtos ou materiais que serão alvo desse processo para estabelecer parcerias com fornecedores e prestadores de serviços de logística reversa. Outro ponto importante é desenvolver processos e sistemas sólidos, com foco na coleta, triagem e transporte de produtos ou materiais retornados. É preciso educar clientes e funcionários, cumprir regulamentações, avaliar o desempenho por meio de indicadores-chave e buscar aprimoramentos contínuos. A transparência na comunicação dos resultados é fundamental. A logística reversa não apenas contribui para a sustentabilidade, mas também pode gerar benefícios financeiros e melhorar a reputação da empresa.

3.7.2 Ciclo de Vida

Jugend *et al.* (2020), Leal *et al.* (2020), Fernando *et al.* (2021), He *et al.* (2021), Pérez-Ortega *et al.* (2021), Vimal *et al.* (2022) ressaltam que o ciclo de vida de um produto é uma representação do estágio pelo qual um produto passa desde a sua concepção, produção, lançamento no mercado, uso pelos consumidores e, eventualmente, sua retirada do mercado. Esse conceito é frequentemente dividido em várias fases distintas: introdução, crescimento, maturidade e declínio. Cada fase tem características específicas em termos de vendas, lucratividade, concorrência e demanda do consumidor. O ciclo de vida de um produto é importante para estratégias de gestão de produtos, marketing e sustentabilidade, uma vez que ajuda as empresas a entenderem quando e como ajustar suas estratégias ao longo do tempo para maximizar o sucesso do produto.

De acordo com Jugend *et al.* (2020), Leal *et al.* (2020), Fernando *et al.* (2021), He *et al.* (2021), Pérez-Ortega *et al.* (2021), Vimal *et al.* (2022), o ciclo de vida de produto na EC promove a ideia de que um produto não se torna resíduo, mas sim um recurso valioso que pode ser usado repetidamente. Isso não só ajuda a conservar

recursos naturais, reduzir a poluição e diminuir os custos de produção, mas também está alinhado com princípios sustentáveis que são cada vez mais valorizados.

Ao controlar o ciclo de vida de seus produtos, a empresa pode usar a logística reversa para que o produto volte para empresa com a finalidade de reciclagem, remanufatura e reuso de materiais e componentes de modo a aplicar as estratégias de EC que a empresa adotou.

3.7.3 Indicadores de Circularidade

Na seção 2.1.3 foram discutidas várias estratégias e métricas para medir a economia circular (EC) e avaliar seu impacto nas organizações. Linder, Sarasini e Van Loon (2017) propõem métricas de circularidade com base no valor econômico, medindo a fração de um produto que se origina de produtos usados. Pauliuk (2018) sugere indicadores quantitativos baseados em análise de fluxo de material, contabilidade de custos de fluxo de material e avaliação do ciclo de vida. Figge *et al.* (2018) enfatizam o monitoramento do fluxo de recursos ao longo das cadeias de suprimentos para maximizar o uso de materiais recuperados e minimizar recursos virgens. A longevidade dos recursos também é destacada como um indicador, medindo o tempo em que um recurso é usado pela primeira vez, devido à remodelação de produtos e à reciclagem (Franklin-Johnson, Figge, Canning, 2016; Figge *et al.*, 2018). Além disso, Niero e Kalbar (2019) aplicam uma análise de decisão multicritério para medir a circularidade, usando indicadores baseados em circularidade de materiais e indicadores de ciclo de vida relevantes para um estudo de caso de embalagens de cerveja no Reino Unido e na Índia. Essas métricas e estratégias fornecem abordagens abrangentes para avaliar a economia circular em organizações e produtos.

Nesse sentido, indicadores de circularidade são métricas utilizadas para avaliar o desempenho de processos, produtos ou sistemas em relação aos princípios da EC. Eles fornecem uma maneira de medir e comunicar o progresso em direção a práticas mais sustentáveis e circulares. Alguns indicadores que a empresa pode adotar para avaliar a circularidade são:

- Taxa de reciclagem: esse indicador mede a quantidade de materiais ou produtos que são reciclados em relação ao total de resíduos gerados. Uma taxa de reciclagem mais alta indica uma maior circularidade.

- Vida útil do produto: avalia a duração média de tempo que um produto permanece funcional antes de ser descartado. Produtos com uma vida útil mais longa são considerados mais circulares.
- Reciclabilidade dos materiais: indica a facilidade com que os materiais de um produto podem ser reciclados. Materiais facilmente recicláveis aumentam a circularidade do produto.
- Conteúdo reciclado: esse indicador mede a quantidade de material reciclado incorporado em novos produtos. Um conteúdo reciclado mais elevado demonstra uma maior circularidade.
- Taxa de reutilização: indica a quantidade de produtos ou componentes que são reutilizados em vez de descartados. Uma taxa mais alta de reutilização contribui para a circularidade.
- Durabilidade e reparabilidade: avalia a capacidade de produtos serem reparados e mantidos, o que prolonga sua vida útil e reduz o desperdício.

Esses indicadores permitem que empresas monitorem seu progresso em direção a práticas mais circulares e identifiquem áreas de melhoria.

4. Método de Pesquisa

Neste capítulo será abordado como a pesquisa foi planejada, passando pela fundamentação teórica, desenvolvimento do modelo proposto, método de estudo de caso, critério de seleção de caso e elaboração do instrumento para coleta de dados.

4.1 A Pesquisa

A pesquisa começou com a elaboração da fundamentação teórica que foi feita buscando os conceitos de EC e PDP, que podem ser vistos no Capítulo 2 deste presente trabalho. Depois de analisar os conceitos, propôs-se um modelo de PDP que engloba os conceitos de EC, que pode ser visto no Capítulo 3. O terceiro passo é a estruturação do método de pesquisa que terá por base o método de estudo de caso que será abordado nesse capítulo.

4.2 Método de Estudo de Caso

Um estudo de caso pode ser descrito como uma pesquisa empírica que examina um fenômeno atual em seu contexto do mundo real, especialmente quando as fronteiras entre o fenômeno e seu contexto não estão claramente definidas. Esse tipo de pesquisa lida com uma situação única, na qual há mais variáveis de interesse do que pontos de dados disponíveis. Portanto, depende de diversas fontes de evidência, e os dados devem convergir, como se formando um triângulo, para fornecer uma compreensão abrangente. Além disso, beneficia-se da formulação prévia de hipóteses teóricas para orientar a coleta e análise de dados (Voss, Tsikriktsis e Frohlich, 2002; Martins, Mello e Turrioni, 2014).

Um estudo de caso é uma abordagem de pesquisa que se concentra em examinar a fundo um fenômeno específico, conhecido como caso, em seu contexto do mundo real. Pode envolver a descrição ou explicação dos eventos relacionados a esse caso. Essa investigação pode se basear em dados quantitativos, qualitativos ou uma combinação de ambos, frequentemente envolvendo a coleta de dados de campo. Existem dois tipos principais de estudos de caso: o estudo de caso instrumental, que analisa uma situação única devido a seu potencial aplicabilidade a outras situações semelhantes, e o estudo de caso intrínseco, que se concentra em uma situação

específica devido à sua singularidade e importância, sem considerar sua aplicabilidade a outros contextos (Yin, 2016).

Martins, Mello e Turrioni (2014) afirmam que o método de estudo de caso pode ser dividido em três etapas:

- **Definição e Planejamento:** a etapa de planejamento de um estudo de caso é crucial para sua condução eficaz. Nesta fase, o pesquisador desenvolve a teoria que orientará a pesquisa, estabelecendo os alicerces conceituais para a investigação. Além disso, são definidos o projeto de pesquisa e os casos que serão estudados. A escolha criteriosa dos casos é fundamental, e os critérios podem variar de acordo com os objetivos do estudo, podendo envolver singularidade, relevância, representatividade ou outros fatores pertinentes. O planejamento cuidadoso nesta etapa é essencial para direcionar o estudo de caso e garantir que ele atenda às questões de pesquisa e objetivos estabelecidos. Nessa etapa tem as seguintes atividades:
 - Desenvolver a teoria;
 - Definir projeto de pesquisa;
 - Selecionar os casos.
- **Preparação, coleta e análise:** na etapa de preparação, coleta e análise de um estudo de caso, o pesquisador elabora um protocolo de pesquisa detalhado, delineando os métodos de coleta de dados, os procedimentos para condução dos casos e os critérios de análise. O processo envolve a condução de cada caso, que pode incluir entrevistas, observações e análise de documentos, seguindo o protocolo estabelecido. À medida que os casos são investigados, os dados são sistematicamente coletados e registrados. Após a conclusão de cada caso, um relatório é redigido, descrevendo as principais descobertas, análises e conclusões. Esse relatório serve como um componente crítico para a narrativa geral do estudo de caso, proporcionando *insights* que ajudam a responder às perguntas de pesquisa e a contribuir para o conhecimento no campo de estudo. Nessa etapa tem as seguintes atividades:
 - Desenvolver protocolo de pesquisa;
 - Conduzir 1º caso, 2º caso, ... demais casos;
 - Redigir relatório dos casos.

- **Análise e conclusão:** na etapa de análise e conclusão de um estudo de caso, o pesquisador foca em estabelecer a confiabilidade e validade das descobertas. Isso envolve uma análise rigorosa dos dados coletados, tanto dentro de cada caso individual (análise intracasos) quanto em comparação entre os casos (análise intercasos). Durante essa fase, hipóteses são desenvolvidas e testadas com base nas evidências reunidas, e as descobertas são comparadas com a literatura relevante para identificar *insights* e contribuições ao campo de pesquisa. A conclusão do estudo de caso resulta na composição do relatório final, no qual são apresentados os resultados, análises e interpretações, destacando a relevância das descobertas em relação aos objetivos da pesquisa e ao contexto teórico. Essa etapa é fundamental para garantir a validade e a confiabilidade do estudo de caso e sua contribuição para a literatura existente. Nessa etapa tem as seguintes atividades:
 - Estabelecer confiabilidade e validade;
 - Analisar os dados (intra e intercasos);
 - Desenvolver e testar proposições;
 - Comparar com a literatura;
 - Redigir o relatório final.

A Figura 18 apresenta as atividades do método de pesquisa estudo de caso.

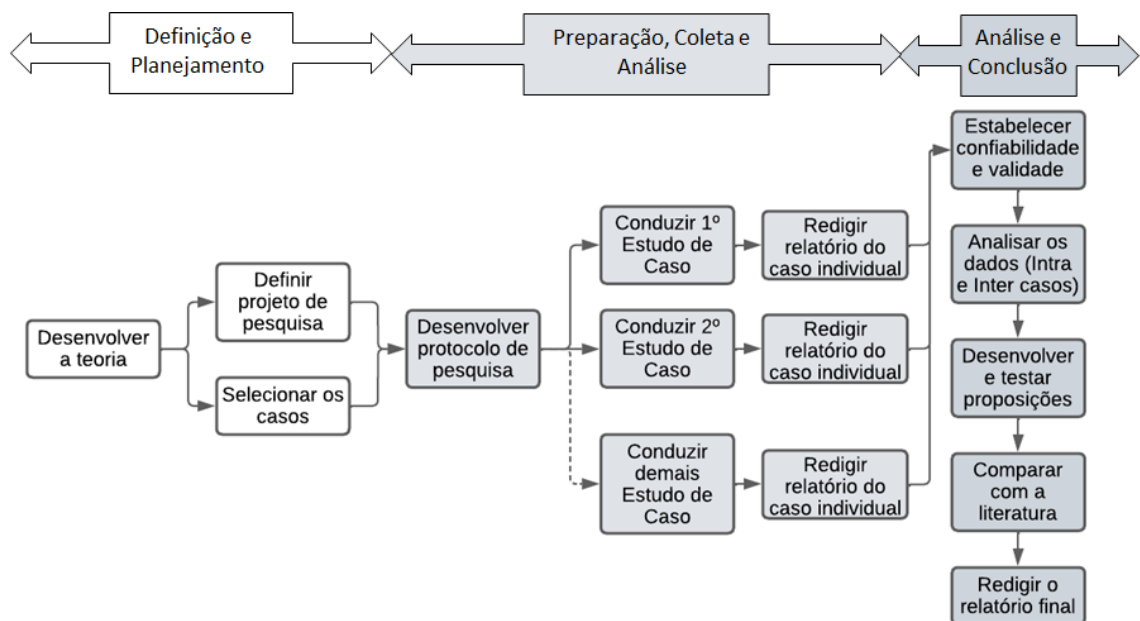


Figura 18: Atividades do Método de Estudo de Caso
Fonte: Martins, Mello e Turrioni (2014, p. 144)

4.3 Critérios para seleção de caso

Martins, Mello e Turrioni (2014) ressaltam que a escolha entre um estudo de caso único ou múltiplos casos devem ser feita antes da coleta de dados, considerando os benefícios e limitações de cada abordagem. Casos únicos são adequados para testar teorias bem formuladas, explorar casos raros ou revelar fenômenos anteriormente inacessíveis, enquanto casos múltiplos oferecem provas mais convincentes e robustez. Cada caso deve servir a um propósito específico dentro do escopo da pesquisa, e o número de casos múltiplos depende do grau de certeza desejado nos resultados. Replicações literais e teóricas desempenham papéis distintos na pesquisa, com foco na certeza e na compreensão das variações do fenômeno estudado.

A definição de critérios para selecionar casos no método de estudo de caso é um passo fundamental para garantir que sua pesquisa seja relevante, direcionada e capaz de responder às questões de pesquisa.

Para a seleção de casos dessa tese, foram adotados os seguintes critérios:

- Adoção de Práticas de Economia Circular: o critério mais importante é se a empresa efetivamente incorpora práticas de EC em seu processo de desenvolvimento de produtos e que seja do setor de embalagens. Isso pode incluir a reutilização de materiais, o *design* para a reciclagem, a extensão da vida útil dos produtos, entre outros;
- Histórico de Sustentabilidade: empresas com um histórico de compromisso com a sustentabilidade e responsabilidade ambiental;
- Inovação e Criatividade: selecionar empresas que demonstrem inovação e criatividade em suas abordagens de EC. Empresas que desenvolvem novas tecnologias, parcerias ou modelos de negócios relacionados à EC;
- Maturidade da Implementação: considera-se há quanto tempo a empresa adota essas práticas de EC;

4.4 Instrumento para coleta de dados

No contexto de um estudo de caso, os pesquisadores empregam várias técnicas de coleta de dados, sendo a entrevista estruturada a principal fonte de informação, frequentemente complementada por entrevistas não estruturadas,

observações pessoais, conversas informais, participação em reuniões, levantamentos, coleta de dados objetivos e análise de documentos. Para a condução eficaz do estudo de caso, a criação de um protocolo de pesquisa é fundamental. Esse protocolo não apenas inclui o questionário, mas também estabelece procedimentos e diretrizes gerais a serem seguidos na utilização do instrumento, aumentando a confiabilidade e validade da pesquisa, especialmente em projetos de casos múltiplos. Esse protocolo muitas vezes começa com perguntas abertas e se torna mais específico à medida que a entrevista progride (Voss, Tsikriktsis e Frohlich, 2002; Martins, Mello e Turrioni, 2014).

Os pesquisadores também enfrentam a decisão sobre o número de respondentes desejados em um estudo de caso. Se um informante-chave pode responder de forma confiável a um conjunto de perguntas, a pesquisa pode se concentrar na identificação e validação dessa pessoa. No entanto, quando as questões não podem ser respondidas por um único informante, devido à complexidade do assunto ou possíveis interpretações variadas, considera-se a realização de entrevistas com múltiplos respondentes, visando a obtenção de perspectivas diversas e a redução de viés nos dados coletados (Martins, Mello e Turrioni, 2014).

Para auxiliar a coleta de dados, um instrumento foi elaborado contendo as algumas perguntas que foram categorizadas de acordo com cada fase do modelo proposto na Figura 14.

Foram propostas as seguintes perguntas para o estágio 1, escopo: embalagens plásticas sustentáveis:

- Quais estratégias ou práticas a empresa adota para promover a economia circular no desenvolvimento de produtos (embalagens)?
- Quais são os principais *stakeholders* (partes interessadas) envolvidos na estratégia de economia circular da empresa?
- Como a empresa promove a conscientização sobre a importância da economia circular entre seus funcionários e colaboradores?
- Quais são as principais metas e objetivos da empresa no que diz respeito à integração de princípios da economia circular em seu processo de desenvolvimento de produtos (embalagens)?

Para o estágio 2, plano de negócios, as seguintes perguntas foram propostas:

- Quais tipos de materiais e componentes são utilizados na fabricação de produtos (embalagens) e de que forma a empresa garante que esses materiais sejam provenientes de fontes sustentáveis?
- Quais são os custos e benefícios associados à implementação de práticas de economia circular no processo de desenvolvimento de produtos (embalagens)?
- Quais impactos ambientais a empresa busca reduzir com suas práticas de economia circular, como emissões de carbono, uso de recursos naturais ou resíduos tóxicos?
- Qual é a visão de longo prazo da empresa em relação à economia circular e como ela planeja expandir ou aprimorar suas práticas no futuro?
- Quais parcerias a empresa estabeleceu para promover a economia circular, como colaborações com organizações de reciclagem, fornecedores de materiais sustentáveis, ou órgãos reguladores?

Foram propostas as seguintes perguntas para o estágio 3, desenvolvimento:

- Quais estratégias a empresa utiliza para estender a vida útil dos produtos (embalagens), como modularidade, atualizações de *software*, ou *design* para desmontagem?
- Você poderia fornecer exemplos específicos de produtos (embalagens) desenvolvidos pela empresa que demonstram princípios de economia circular em ação?

No estágio 4, teste e validação, foram propostas as seguintes perguntas:

- Quais políticas e regulamentos governamentais impactam as operações da empresa em relação à economia circular e ao desenvolvimento de produtos (embalagens) sustentáveis?
- Quais obstáculos ou desafios a empresa enfrentou ao implementar práticas de economia circular no desenvolvimento de produtos (embalagens)? Como esses desafios foram superados?

E finalmente, foram propostas as seguintes perguntas para o estágio 5, lançamento:

- Como a empresa lida com o ciclo de vida dos produtos (embalagens), incluindo reciclagem e reutilização de materiais?
- Como a empresa envolve os consumidores ou clientes no ciclo de vida dos produtos (embalagens)? Existe algum programa de recompra, recondicionamento ou incentivo à devolução de produtos antigos?
- Como a empresa coleta *feedback* dos clientes em relação aos produtos e à abordagem de economia circular? Quais mudanças ou melhorias foram implementadas com base nesse *feedback*?
- Quais são os benefícios percebidos pelos clientes ao adquirir produtos desenvolvidos com abordagem de economia circular?
- Como a empresa mede e avalia os resultados de suas iniciativas de economia circular? Quais métricas são utilizadas para monitorar o progresso?

4.5 Validação do instrumento para coleta de dados

Com o instrumento de coleta de dados pronto, é necessário validar o mesmo para que ele possa ser aplicado nos casos. Então, o mesmo foi enviado para alguns especialistas no assunto para que ele possa ser validado.

Os especialistas precisam cumprir alguns requisitos para poderem avaliar o instrumento de forma coerente. Eles precisavam ter pelo menos cinco anos de experiência na área de desenvolvimento de produto e pelo menos três anos de conhecimento sobre economia circular.

Nesse sentido, foi elaborado uma pequena descrição contendo os assuntos: economia circular, o modelo *Stage-Gate*, o setor de embalagens e apresentação do modelo posposto (Figura 14). A finalidade foi apresentar a pesquisa que está sendo desenvolvida e o modelo proposto para que os especialistas possam entender um pouco sobre o trabalho. Em seguida as perguntas desenvolvidas para o instrumento de coleta de dados foram apresentadas para os especialistas. Tudo foi feito por meio de um formulário eletrônico e os especialistas foram contactados por e-mail.

Três perguntas foram feitas para os especialistas para avaliar o instrumento de coleta de dados. Essas perguntas foram:

- Há alguma sugestão de melhoria ou ajuste (inserção ou retirada de alguma questão)?

- Alguma questão ficou confusa ou precisa ser reescrita?
- As questões formuladas contribuem para que a pesquisa atinja os seus objetivos?]

Quatro especialistas avaliaram o questionário e com base na avaliação deles o mesmo pode ser melhorado.

Uma boa sugestão que veio de forma indireta foi a colocação de números nas perguntas. Nesse sentido, a fase de descoberta será considerada 0 e se houver uma pergunta nela será colocada como 0.1. Na primeira fase ou estágio as perguntas serão numeradas da como 1.1; 1.2 ... no estágio 2, a numeração será 2.1; 2.2 ... e assim será feita para todos os estágios.

Foram sugeridos alguns pontos a serem abordados e que algumas perguntas fossem melhoradas. Nesse sentido, um novo instrumento de coleta de dados foi elaborado de modo a considerar as sugestões dos avaliadores, como: colocar perguntas no estágio de descoberta e algumas perguntas foram sugeridas para ser movidas para esse ponto; acrescentar novas perguntas; separar ou dividir perguntas em duas para melhor entendimento; esclarecer algumas perguntas que estavam de difícil entendimento; e colocar uma explicação mais detalhada sobre o CFD na pergunta que faz referência a essa metodologia.

O Quadro 8 apresenta o novo instrumento de coleta de dados com as sugestões dos avaliadores.

Com o instrumento de coleta de dados pronto, passou-se para a etapa do estudo de caos nas empresas. A análise das empresas e de suas respostas pode ser visto no próximo capítulo.

Estágio	Nº	Questão	Comentários
0	1	Como foi a decisão de escolher implementar a economia circular?	
0	2	Qual é a visão de longo prazo da empresa em relação à economia circular e como ela planeja expandir ou aprimorar suas práticas no futuro?	
1	1	Quais estratégias ou práticas a empresa adota para promover a economia circular no desenvolvimento de embalagens?	
1	2	Quais são os principais <i>stakeholders</i> (partes interessadas) envolvidos na estratégia de economia circular da empresa?	
1	3	Como a empresa promove a conscientização sobre a importância da economia circular entre seus funcionários e colaboradores?	
1	4	Como a empresa promove a conscientização sobre a importância da economia circular entre colaboradores das empresas parceiras?	
1	5	Quais são as principais metas e objetivos da empresa no que diz respeito à integração de princípios da economia circular em seu processo de desenvolvimento de embalagens?	
1	6	Quais barreiras foram encontradas pela empresa na implementação da economia circular?	
2	1	Quais tipos de materiais e componentes são utilizados na fabricação de embalagens?	
2	2	De que forma a empresa garante que esses materiais sejam provenientes de fontes renováveis?	
2	3	Quais são os benefícios associados à implementação de práticas de economia circular no processo de desenvolvimento de embalagens?	
2	4	Quais são os custos associados à implementação de práticas de economia circular no processo de desenvolvimento de embalagens?	
2	5	Quais impactos ambientais a empresa busca reduzir com suas práticas de economia circular? (ex. como emissões de carbono, uso de recursos naturais ou resíduos tóxicos)	
2	6	Quais parcerias a empresa estabeleceu para promover a economia circular, como colaborações com organizações de reciclagem, fornecedores de materiais sustentáveis, ou órgãos reguladores?	
3	1	Quais estratégias a empresa utiliza para estender a vida útil das suas embalagens? (ex. modularidade, atualizações de <i>software</i> , ou <i>design</i> para desmontagem)	
3	2	Você poderia fornecer exemplos específicos de embalagens desenvolvidas pela empresa que demonstram princípios de economia circular em ação?	
3	3	Como você avalia o uso do CFD (Circular Function Deployment) na sua empresa? (vide explicação a parte)	
4	1	Quais políticas e regulamentos governamentais impactam as operações da empresa em relação à economia circular e ao desenvolvimento de embalagens sustentáveis?	
4	2	Há clientes que exigem o desenvolvimento de embalagens sustentáveis?	
4	3	Como foi feita essa solicitação de embalagens sustentáveis pelos clientes?	
4	4	Quais obstáculos ou desafios a empresa enfrentou ao implementar práticas de economia circular no desenvolvimento de embalagens?	
4	5	Como esses desafios foram superados?	
5	1	Como a empresa lida com o ciclo de vida das embalagens, incluindo reciclagem e reutilização de materiais?	
5	2	A empresa realiza algum monitoramento sobre a relação dos clientes e a economia circular?	
5	3	Como a empresa envolve os consumidores ou clientes no ciclo de vida das embalagens? Existe algum programa de recompra, condicionamento ou incentivo à devolução de embalagens usadas?	
5	4	Como a empresa coleta <i>feedback</i> dos clientes em relação às suas embalagens e à abordagem de economia circular? Quais mudanças ou melhorias foram implementadas com base nesse <i>feedback</i> ?	
5	5	Quais são os benefícios percebidos pelos clientes ao adquirir embalagens desenvolvidas com abordagem de economia circular?	
5	6	Como a empresa mede e avalia os resultados de suas iniciativas de economia circular?	
5	7	Quais métricas são utilizadas para monitorar o progresso das iniciativas de economia circular?	

Quadro 10: Lógicas para criação de valor em modelo de negócio

Fonte: Elaborado pelo autor

5. Estudo de caso

Neste capítulo será apresentado a análise dos casos que foram selecionados para este estudo. O método do estudo de caso foi empregado em duas empresas do setor de embalagens plásticas. Optou-se por uma quantidade pequena de casos para que pudessem ser explorados com mais profundidade. Primeiro será apresentada uma descrição das empresas, posteriormente cada caso foi analisado separadamente (análise intracasos) e, por fim, foi realizada uma análise comparativa entre os dois casos (análise intercasos).

5.1 Descrição das empresas

5.1.1 Descrição da Empresa A

Fundada há mais de duas décadas, essa indústria mineira se especializou na fabricação de embalagens flexíveis, com forte atuação nos segmentos alimentício, cosmético, de higiene pessoal, limpeza, saúde e bem-estar. Com uma estrutura sólida e em constante expansão, a empresa conquistou seu espaço no mercado nacional fornecendo soluções personalizadas e tecnicamente avançadas para a proteção, apresentação e conservação de produtos. Sua atuação se destaca pelo domínio de tecnologias como laminação, coextrusão e impressão em alta definição, atendendo demandas que vão desde pequenas produções até grandes volumes industriais.

O portfólio é amplo e inclui embalagens do tipo *stand up pouch* com ou sem zíper, filmes laminados de alta barreira, estruturas metalizadas com apelo visual diferenciado, rótulos termoencolhíveis, lacres de segurança e soluções em nylon poli para produtos que exigem maior resistência térmica e mecânica. A empresa também desenvolve materiais com barreiras específicas contra oxigênio, umidade e luz, essenciais para a integridade de produtos perecíveis e sensíveis ao ambiente. As opções incluem desde filmes com acabamento fosco, brilho, verniz e plastificação, até acessórios como válvulas, bicos e sanfonas, permitindo a personalização tanto estética quanto funcional das embalagens.

O catálogo de produtos dessa fabricante é cuidadosamente desenvolvido para atender a múltiplas exigências técnicas e mercadológicas, com foco em performance, estética e funcionalidade, sem deixar de lado a economia circular. Um dos carro-chefes são as embalagens do tipo *stand up*, que combinam estrutura reforçada com

opções de zíper, bico dosador e válvulas, ideais para produtos que precisam de praticidade no consumo e destaque nas prateleiras. Também se destacam os filmes laminados de alta barreira, indicados para preservar sabor, aroma e frescor de alimentos ou cosméticos sensíveis à luz e à oxidação, com possibilidades de acabamento fosco, brilhante ou *soft touch*. Já as soluções termoencolhíveis garantem aderência total ao produto, reforçando segurança e valor percebido, especialmente em aplicações que exigem vedação firme e apresentação limpa.

Outro diferencial técnico é o desenvolvimento de estruturas multicamadas que unem materiais como PET (Polietileno Tereftalato), PE (Polietileno), BOPP (Polipropileno Biorientado), nylon e poliéster em combinações específicas para cada tipo de aplicação. Essas estruturas são utilizadas tanto em bobinas para empacotamento automático quanto em embalagens prontas para envase manual ou semiautomático. A empresa também oferece rótulos, lacres e etiquetas com impressão de alta definição, adaptados a diferentes tipos de superfície e formatos, com resistência a atrito, umidade e variações de temperatura. Essa flexibilidade permite que a embalagem não só proteja e conserve o conteúdo, mas também reforce o posicionamento da marca por meio de soluções visualmente impactantes e tecnicamente confiáveis.

Com capacidade produtiva robusta e processos bem estruturados, ela mantém operações distribuídas entre unidades voltadas à produção, armazenamento e logística, todas integradas para garantir agilidade no atendimento e consistência na qualidade. A cultura organizacional valoriza a inovação contínua, o desenvolvimento de pessoas e a busca por soluções que agreguem valor real aos produtos embalados. Há um foco expressivo em estética de marca, levando a embalagem a ser pensada não apenas como proteção, mas como um vetor de venda, posicionamento e diferenciação no ponto de venda.

Os clientes atendidos atuam em mercados que exigem alto padrão de segurança alimentar, certificações sanitárias, rastreabilidade e conformidade técnica. Para isso, a empresa investe em equipamentos modernos, laboratórios de controle de qualidade e equipes especializadas em engenharia de materiais, *design* e tecnologia de impressão. A versatilidade técnica permite atender desde negócios regionais até grandes corporações nacionais, com a mesma atenção aos detalhes e compromisso com prazos.

Mesmo com seu crescimento, mantém uma identidade fortemente conectada às suas origens, preservando valores como trabalho duro, valorização das pessoas, transparência e respeito à confiança dos parceiros comerciais. O posicionamento no estado de Minas Gerais contribui estrategicamente para a distribuição nacional, permitindo otimização de rotas logísticas e acesso facilitado a diversos mercados consumidores do país. A empresa segue investindo em expansão física, novos produtos e tecnologias de embalagem que unam desempenho técnico, sustentabilidade e impacto visual.

5.1.2 Descrição da Empresa B

Com mais de quatro décadas de atuação, esta empresa é uma das líderes globais no setor de embalagens plásticas, destacando-se pela inovação, sustentabilidade e abrangência internacional. Sua sede está localizada no estado de São Paulo, de onde coordena operações que se estendem por vários países da América e Europa.

Especializada na fabricação, transformação e reciclagem de materiais plásticos, a companhia possui uma ampla linha de produtos que inclui embalagens flexíveis e rígidas, filmes técnicos, sacos, pré-formas PET, garrafas, potes, galões e tampas plásticas. Atende diversos setores industriais como alimentos e bebidas, cosméticos, farmacêutico, automotivo, construção civil e produtos de higiene pessoal.

A estrutura produtiva da empresa conta com dezenas de plantas industriais e centros logísticos estrategicamente localizados para garantir eficiência operacional e atendimento ágil às demandas regionais. No Brasil, suas unidades estão distribuídas em importantes polos industriais, proporcionando grande capacidade produtiva e diversidade de soluções.

Os produtos desenvolvidos abrangem uma vasta gama de aplicações, desde filmes técnicos coextrudados e laminados, que oferecem alta barreira para alimentos e medicamentos, até embalagens rígidas como frascos, potes e galões que garantem segurança e praticidade no armazenamento e transporte. A empresa também se destaca pela fabricação de pré-formas PET para garrafas, além de tampas plásticas que asseguram vedação confiável e facilidade de uso. Parte expressiva do portfólio é voltada para soluções sustentáveis, com embalagens feitas de materiais reciclados e *designs* que facilitam a reciclagem pós-consumo.

A base de clientes é diversificada e engloba grandes e médios players dos setores industrial e comercial. Atende marcas reconhecidas nos segmentos alimentício, de bebidas, cosmético, farmacêutico, automotivo e higiene pessoal, além de empresas da construção civil e limpeza. O atendimento é orientado para oferecer soluções customizadas que atendam às exigências específicas de cada cliente, com suporte técnico para desenvolvimento de embalagens que alinham funcionalidade, estética e sustentabilidade. Essa proximidade permite à empresa desenvolver parcerias duradouras, consolidando-se como fornecedor estratégico para a cadeia produtiva de seus clientes.

Um dos grandes diferenciais é o compromisso com a sustentabilidade e a economia circular. A companhia foi pioneira na utilização de resina PET pós-consumo reciclada aprovada para contato com alimentos, investindo fortemente em tecnologias para a reciclagem de resíduos plásticos e redução do impacto ambiental. Estabeleceu metas ambiciosas para reciclar progressivamente uma parcela significativa do plástico produzido, visando a neutralização total das emissões de carbono até 2040.

A empresa integra acordos internacionais e pactos ambientais, demonstrando responsabilidade social e ambiental, além de atuar com processos inovadores, como tecnologias para remoção de tintas e contaminantes de plásticos usados, ampliando a eficiência da reciclagem.

Para fortalecer sua presença no mercado e otimizar sua operação, a companhia consolidou diversas marcas e negócios sob uma identidade única, o que ampliou sua capacidade de inovação e a oferta de produtos personalizados, adaptados às necessidades específicas de seus clientes.

Com uma equipe de milhares de colaboradores, a empresa mantém foco na excelência técnica e no desenvolvimento sustentável, investindo continuamente em pesquisa, desenvolvimento e parcerias estratégicas para oferecer soluções integradas e de alta qualidade em embalagens plásticas para diferentes segmentos.

5.2 Análise intracasos

5.2.1 Caso da Empresa A

Baseados nas perguntas que foram elaboradas e utilizadas no instrumento para coleta de dados (presentes nas seções 4.4 e 4.5 dessa tese), esta seção apresenta a análise da Empresa A em relação a sua adequação ao modelo proposto.

O profissional da empresa que ficou responsável por acompanhar o estudo de caso é do setor de pesquisa e desenvolvimento da empresa e possui uma experiência de mais de 5 anos nessa área.

No que se refere a questão sobre a decisão de implantar a EC (pergunta 0.1), pode-se dizer que a Empresa A incorpora os princípios da Economia Circular que estão em conformidade com o que foi apresentado na Fundamentação Teórica (Capítulo 2 dessa tese), com destaque para conceitos como reciclagem, reutilização, logística reversa, eficiência de recursos e regeneração de valor.

A Empresa A destaca investimentos robustos em tecnologia, inovação e desenvolvimento de produtos circulares, buscando antecipar tendências e ser protagonista no setor, além de estar alinhado ao princípio de maximizar a utilidade e valor dos recursos. Esse posicionamento está em consonância com o que Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018) e Hofstra e Huisinigh (2014) descrevem como ecoinovações cíclicas e regenerativas, nas quais a circularidade é alcançada por meio de soluções que não apenas reduzem impactos, mas criam valor adicional para o meio ambiente e para a sociedade. Além disso, ao enfatizar o papel de antecipar tendências e liderar o setor, a empresa se alinha à visão da Ellen MacArthur Foundation (2019), segundo a qual a EC é um modelo restaurativo e regenerativo que mantém materiais e produtos em seu mais alto nível de utilidade e valor.

No quesito sobre a visão a longo prazo e expansão da EC (pergunta 0.2), é possível estabelecer uma correlação entre as visões de longo prazo apresentadas pela empresa e os conceitos de EC discutidos na fundamentação teórica (Capítulo 2 dessa tese). Embora as estratégias apresentem enfoques distintos, ambas se alinham aos princípios e diretrizes de circularidade e sustentabilidade.

A Empresa A projeta sua atuação futura com base em três eixos principais: ampliação do uso de matérias-primas recicladas e renováveis, investimento em tecnologias de ponta e desenvolvimento de produtos alinhados à economia circular.

Essa perspectiva reflete diretamente os princípios apresentados pela Ellen MacArthur Foundation (2019), segundo os quais a EC se sustenta na eliminação de resíduos e poluição, manutenção de materiais em uso e regeneração de sistemas naturais. Além disso, a menção a programas de logística reversa e pós-consumo encontra respaldo teórico em Genovese *et al.* (2017), que destacam a importância desses mecanismos para fechar os ciclos de materiais. O investimento contínuo em inovação e certificações ambientais também se aproxima da noção de ecoinovações regenerativas descritas por Hofstra e Huisingh (2014), que buscam não apenas reduzir danos, mas criar valor agregado em longo prazo.

A análise das estratégias e adotadas (pergunta 1.1) pela empresa evidencia diferentes caminhos para promover a EC no desenvolvimento de embalagens e a empresa tem pontos de convergência com os conceitos apresentados na fundamentação teórica (Capítulo 2 dessa tese).

A Empresa A apresenta um conjunto estruturado de práticas diretamente alinhadas com os princípios da EC. O desenvolvimento do Ecoprime, primeira embalagem 100% reciclável e encolhível do Brasil, exemplifica a aplicação dos princípios de *design* para circularidade, enfatizados pela Ellen MacArthur Foundation (2019), que destacam a importância de projetar embalagens para facilitar o reuso, a reciclagem e a desmontagem. O uso de resinas recicladas, redução da espessura de filmes e seleção de polímeros mais adequados para reciclagem reflete a aplicação prática dos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar) apontados por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), além de traduzir a busca pela eficiência de recursos discutida por Wu *et al.* (2014).

O investimento de 30 milhões em maquinário especializado e a ênfase em parcerias estratégicas com recicladoras e fornecedores certificados estão em consonância com a perspectiva de ecoinovações cíclicas e regenerativas, que visam consolidar novos modelos produtivos capazes de fechar ciclos de materiais (Sandoval, Jaca e Ormazabal, 2018). Assim, a estratégia da Empresa A coloca a empresa como referência na adoção de práticas proativas e integradas, aproximando teoria e prática em direção a um modelo circular de negócio.

A identificação dos principais *stakeholders* envolvidos na estratégia de EC (pergunta 1.2) é essencial, uma vez que a EC pressupõe a integração de diferentes atores ao longo da cadeia de valor. De acordo como apresentado na fundamentação teórica (Capítulo 2 dessa tese), a economia circular depende da articulação entre os

níveis micro (empresas e consumidores), meso (cadeias de valor integradas) e macro (cidades, regiões e governos), sendo os *stakeholders* fundamentais para viabilizar fluxos circulares de materiais, energia e informação (Sandoval, Jaca e Ormazabal, 2018).

Na Empresa A, os *stakeholders* são divididos entre internos e externos. Internamente, destacam-se a diretoria e áreas técnicas (P&D, Engenharia de Produção, Qualidade e *Marketing*), responsáveis por planejar e executar soluções sustentáveis. Externamente, a empresa estabelece relações com fornecedores certificados, recicladoras, cooperativas, laboratórios e certificadoras ambientais, garantindo insumos de origem sustentável e conformidade com normas ambientais. Além disso, os clientes são reconhecidos como atores-chave, uma vez que suas demandas direcionam o desenvolvimento de soluções inovadoras, como a embalagem Ecoprime. Esse conjunto reflete o que Ellen MacArthur Foundation (2019) denomina de abordagem sistêmica da circularidade, na qual empresas, fornecedores, clientes e organizações certificadoras colaboram para manter produtos e materiais em circulação no mais alto valor possível.

A conscientização interna (referente a pergunta 1.3) é um elemento central para a implementação efetiva da EC, uma vez que, segundo Khan e Haleem (2021), a transição de modelos lineares para circulares exige não apenas mudanças tecnológicas, mas também mudanças culturais e comportamentais. Nesse sentido, observa-se que a Empresa A desenvolveu estratégias específicas para sensibilizar seus funcionários e promover o engajamento em práticas circulares.

Na Empresa A, a conscientização ocorre de forma estruturada por meio de treinamentos periódicos que abordam conceitos fundamentais da economia circular, inovações do setor e razões estratégicas para a adoção de práticas sustentáveis. Além disso, a empresa dissemina informações no cotidiano de trabalho, especialmente em áreas ligadas à produção e desenvolvimento de produtos, contribuindo para a construção de uma cultura organizacional de responsabilidade ambiental. Essa prática está alinhada ao conceito de educação corporativa e engajamento de *stakeholders* internos, descrito por Dokter, Thuvander e Rahe (2021), no qual a aprendizagem contínua e a difusão do conhecimento são fundamentais para consolidar comportamentos circulares.

A promoção da conscientização entre colaboradores de empresas parceiras (pergunta 1.4) constitui um aspecto fundamental da EC, pois, conforme destacam

Khan e Haleem (2021), a transição de modelos lineares para circulares exige não apenas inovação tecnológica, mas também cooperação multissetorial e mudanças culturais que envolvem toda a cadeia de valor.

Na Empresa A, a conscientização de parceiros é promovida principalmente por meio do diálogo técnico em negociações e projetos conjuntos, com ênfase em apresentar as vantagens de soluções como o Ecoprime. Quando necessário, a empresa orienta sobre certificações, tendências e requisitos de mercado, em um processo personalizado conforme o perfil de cada parceiro. Essa estratégia se aproxima do conceito descrito por Wang, Burke e Zhang (2022), que apontam a capacitação e a difusão de conhecimento como ferramentas essenciais para viabilizar práticas de circularidade. Além disso, ao apoiar a certificação de fornecedores e clientes, a Empresa A reforça a importância de criar mercados confiáveis para materiais reciclados, aspecto apontado por Genovese *et al.* (2017) como central para superar barreiras de aceitação.

A definição de metas e objetivos claros é um elemento fundamental para a integração efetiva da EC nos processos empresariais (pergunta 1.5). Segundo Pauliuk (2018), o avanço da circularidade depende não apenas da adoção de práticas técnicas, mas também da formulação de compromissos estratégicos mensuráveis, capazes de orientar investimentos, inovação e engajamento dos *stakeholders*. Nesse sentido, a Empresa A relata a existência de objetivos estruturados que guiam sua atuação no desenvolvimento de embalagens, ainda que com enfoques distintos.

A Empresa A estabelece metas específicas e diretamente alinhadas com os princípios da EC, como: aumento do uso de matérias-primas recicladas certificadas, desenvolvimento e expansão de embalagens 100% recicláveis (exemplo do Ecoprime), redução do consumo de matéria-prima por meio da otimização de espessura e processos, além da busca por certificações ambientais. Também destaca a sensibilização de clientes e parceiros, estimulando a adoção de embalagens sustentáveis em toda a cadeia produtiva. Tais metas estão em consonância com os princípios dos 3Rs (reduzir, reutilizar, reciclar) descritos por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), bem como com o conceito de ecoinovação regenerativa apresentado por Hofstra e Huisinigh (2014), que enfatiza o desenvolvimento de soluções que não apenas minimizam impactos, mas criam valor adicional para o sistema produtivo. Além disso, a ênfase na certificação e transparência responde ao que Khan e Yu (2021)

identificam como necessidade de credibilidade institucional para fomentar mercados de insumos reciclados.

A implementação da EC em empresas do setor de embalagens enfrenta uma série de barreiras que vão além dos aspectos técnicos, abrangendo também fatores econômicos, culturais e estruturais (pergunta 1.6). A literatura sobre o tema destaca que a transição para modelos circulares é um processo gradual e desafiador, marcado por obstáculos relacionados a custos elevados, limitações tecnológicas, falta de infraestrutura e resistências comportamentais (Jugend *et al.*, 2020; Khan e Haleem, 2021; Loon, Diener e Harris, 2021).

Na Empresa A, a principal barreira identificada foi o alto custo de investimentos em equipamentos de última geração, desenvolvimento de novos produtos e aquisição de matérias-primas recicladas certificadas. Essa dificuldade corresponde diretamente ao que a literatura aponta como um dos principais entraves da economia circular: o desbalanceamento econômico entre insumos virgens e reciclados, onde o custo do material reciclado tende a ser maior e, muitas vezes, menos competitivo (Gagnon *et al.*, 2022). Além disso, a Empresa A relatou desafios técnicos para adaptar processos industriais e assegurar a qualidade das embalagens circulares, um obstáculo já discutido por Hofstra e Huisinigh (2014), que indicam a necessidade de avanços em ecoinovação para superar limitações de desempenho. Outro ponto citado pela empresa foi a falta de fornecedores nacionais preparados e a resistência inicial de clientes ao custo adicional de embalagens sustentáveis. Aspectos que reforçam o argumento de Wang, Burke e Zhang (2022), segundo o qual a circularidade depende da articulação de toda a cadeia de valor, e não apenas de esforços isolados das empresas.

A escolha dos materiais e componentes utilizados na fabricação de embalagens é um dos pontos centrais para a efetivação da EC (pergunta 2.1), pois define tanto as possibilidades de reutilização e reciclagem quanto os impactos ambientais associados ao ciclo de vida do produto. Conforme ressaltam Offerdinger, Dlugoborskyte e Herstatt (2021), a seleção de materiais mais compatíveis com processos de reciclagem é determinante para viabilizar a circularidade, enquanto Salvador *et al.* (2020) enfatizam que decisões na etapa de *design* e escolha de insumos condicionam todo o desempenho ambiental posterior.

Na Empresa A, observa-se a priorização de resinas poliolefinicas, especialmente polietileno (PE) e polipropileno (PP), devido à sua elevada

reciclabilidade e aplicabilidade em embalagens flexíveis. A utilização de polímeros de alta molaridade, escolhidos por facilitarem o processo de reciclagem e aumentarem a eficiência do reaproveitamento, também está alinhada ao princípio do design para circularidade, defendido pela Ellen MacArthur Foundation (2019). Essa abordagem mostra uma preocupação explícita em maximizar a reciclabilidade sem comprometer a funcionalidade da embalagem, aspecto considerado fundamental pela literatura sobreecoinovação regenerativa (Hofstra; Huisingh, 2014).

A garantia de que os materiais utilizados na fabricação de embalagens sejam provenientes de fontes renováveis ou sustentáveis é um dos maiores desafios da EC, especialmente em setores altamente dependentes de derivados fósseis, como o plástico (pergunta 2.2). A literatura aponta que a transição para matérias-primas de origem renovável exige tanto inovação tecnológica quanto mecanismos de governança e rastreabilidade, além de estar sujeita a barreiras de disponibilidade, custo e regulamentação (Gagnon *et al.*, 2022; Laurenti *et al.*, 2015; Mohagheghian *et al.*, 2021).

Na Empresa A, a estratégia para assegurar fontes renováveis e recicladas baseia-se em seleção criteriosa de fornecedores que declaradamente adotam práticas sustentáveis e em solicitação de documentos comprobatórios de origem sempre que possível. Embora reconheça limitações de mercado e a impossibilidade de rastrear todos os insumos de forma padronizada, a empresa busca alinhar suas aquisições às tendências globais de sustentabilidade e contribuir para uma cadeia produtiva mais responsável. Essa prática está em conformidade com o princípio de transparência e rastreabilidade defendido por Dumée (2022) e Khan *et al.* (2021), que consideram o controle da cadeia de suprimentos como elemento essencial para assegurar credibilidade e confiabilidade no uso de materiais circulares.

A implementação de práticas de EC no desenvolvimento de embalagens traz benefícios que se manifestam em múltiplas dimensões: ambiental, econômica, social e organizacional (pergunta 2.3). A literatura mostra que a aplicação dos princípios da circularidade permite reduzir impactos ambientais, prolongar o ciclo de vida dos produtos, preservar o valor dos materiais e abrir novas oportunidades de negócio (Batwara *et al.*, 2022; Evrard *et al.*, 2021; Gagnon *et al.*, 2022; Jugend *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a Empresa A enfatiza que a circularidade gera ganhos diretos na eficiência produtiva, por meio do reuso de resinas em aplicações menos complexas, da diminuição do consumo de matérias-primas virgens e da otimização de

processos internos. Embora reconheça que os investimentos em tecnologias e insumos reciclados representem um custo inicial elevado, a empresa destaca que tais práticas resultam em benefícios a médio e longo prazo, tanto no aspecto econômico quanto no fortalecimento da imagem institucional, uma vez que consumidores e parceiros têm valorizado crescentemente iniciativas sustentáveis.

A literatura sobre EC aponta que os custos (pergunta 2.4) associados à sua implementação são multifacetados e não se limitam ao dispêndio inicial em equipamentos: incluem investimentos em máquinas e infraestrutura, custos operacionais adicionais como energia, manutenção e insumos reciclados, custos de transação (certificações, auditorias, contratos com fornecedores e recicladores), custos de adaptação/qualidade (controle de processo, validação de produto para manter desempenho) e custos organizacionais (treinamentos, mudança de procedimentos, gestão de projeto). Estes custos tendem a ser mais elevados no curto prazo e que a percepção de retorno financeiro só costuma ocorrer em médio-longo prazo, especialmente se não houver escala de compra para insumos secundários ou incentivos regulatórios que internalizem externalidades ambientais (Gagnon *et al.*, 2022).

No relato da Empresa A os custos aparecem com clareza na forma de investimentos significativos em ativos e em adaptação de processos: aquisição de máquinas específicas para processar resinas recicladas, modificações na planta, contratação de consultorias especializadas e desenvolvimento de produtos (ex.: Ecoprime). A empresa quantificou esse esforço em cerca de 30 milhões, valor que agrega investimento direto, despesas com engenharia e provavelmente despesas pré-operacionais (comissionamento, testes, validação). Além disso, há custos recorrentes decorrentes da compra de resinas especiais e certificações, além do risco de aumentos de custos (ex.: energia para reciclagem, perda por refugo ou reproprocessamento) até que processos e fornecedores se estabilizem. Esses elementos mostram um perfil em que o fator financeiro inicial é determinante, sem escala ou apoio externo, o *payback* depende da capacidade de transferir ganhos de eficiência e do reconhecimento de valor pelos clientes (preço/aceitação).

A literatura sobre EC e sustentabilidade ambiental destaca que as organizações buscam reduzir impactos em três frentes principais:

- (i) resíduos sólidos, por meio da reciclagem e do reaproveitamento de materiais, evitando destinação inadequada;

- (ii) uso de recursos naturais, com foco em eficiência hídrica e energética;
e
- (iii) emissões de carbono, associadas à produção, transporte e descarte (Brasil, 2010; Brasil, 2022).

A integração desses aspectos ao processo produtivo de embalagens é particularmente relevante devido à alta dependência de plásticos de origem fóssil e ao volume expressivo de resíduos gerados pelo setor. Nesse sentido, analisar os impactos ambientais e como a empresa busca minimizar e reduzi-los é importante (pergunta 2.5).

No caso da Empresa A, os principais impactos ambientais que se busca reduzir estão relacionados à gestão de resíduos e eficiência hídrica. A empresa prioriza o reaproveitamento de materiais, reduzindo a quantidade de descartes industriais, e implementa sistemas de tratamento e reuso da água em seu processo produtivo. Ainda que mencione a redução das emissões de CO₂ como parte de seus objetivos, a ênfase recai sobre práticas de controle de resíduos e uso racional de recursos naturais, alinhando-se a um perfil de gestão mais operacional e pragmático. Essa abordagem reflete um alinhamento inicial com princípios de circularidade, mas ainda com menor abrangência em relação a métricas globais de carbono e energia.

Verificar as parcerias em empresa e fornecedores é importante para a EC (pergunta 2.6). A literatura sobre EC destaca que o sucesso da sua implementação depende fortemente da colaboração interorganizacional, pois nenhuma empresa consegue, de forma isolada, fechar ciclos de materiais e promover uma cadeia verdadeiramente sustentável. Parcerias com recicladoras, fornecedores de matérias-primas sustentáveis, cooperativas e órgãos reguladores são apontadas como mecanismos fundamentais para viabilizar o fluxo de materiais secundários e legitimar práticas ambientais diante do mercado e da sociedade (Elia, Gnoni e Tornese, 2017; Ellen MacArthur Foundation, 2019; Khan e Haleem, 2021; Wang, Burke e Zhang, 2022).

No caso da Empresa A, as parcerias concentram-se principalmente com recicladoras, que desempenham papel essencial na viabilização do uso de materiais reciclados em embalagens de segunda linha. Essa colaboração permite que resíduos plásticos que seriam descartados retornem ao processo produtivo, reforçando a circularidade e contribuindo para a redução do impacto ambiental. Ainda que não

mencione certificações formais ou parcerias com órgãos reguladores, a atuação da Empresa A ilustra um movimento de integração prática com agentes da cadeia de reciclagem, o que fortalece sua capacidade de alinhar eficiência produtiva com objetivos ambientais.

A extensão da vida útil (pergunta 3.1) das embalagens é um dos princípios centrais da economia circular, pois contribui para reduzir a demanda por matérias-primas virgens, minimizar resíduos e otimizar o uso de recursos naturais. A literatura aponta que essa estratégia pode ser alcançada por meio de diferentes mecanismos: *design* inteligente (modularidade, facilidade de desmontagem, inserção de zíperes ou visores), durabilidade dos materiais (resistência e proteção do conteúdo), reuso pelo consumidor (ex.: potes de sorvete ou margarina utilizados em novos contextos) e valorização pós-uso (facilidade de reciclagem ou de recuperação energética) (Amend *et al.*, 2022; Asif *et al.*, 2021; Bressanelli *et al.*, 2020; Joustra, Flipsen, e Balkenende, 2021).

No caso da Empresa A, a principal estratégia está centrada no desenvolvimento de embalagens mais resistentes e de maior qualidade, possibilitando que tenham mais de um ciclo de uso. Embora não detalhe mecanismos específicos de *redesign*, a empresa adota práticas que reforçam a durabilidade como vetor de circularidade, incentivando o reuso e reduzindo a geração precoce de resíduos. Essa abordagem ainda é relativamente tradicional, mas reflete um esforço para alinhar o portfólio às demandas de sustentabilidade por meio da robustez dos materiais e da confiabilidade das embalagens.

A adoção de práticas de EC no setor de embalagens passa, de forma essencial, pelo desenvolvimento de soluções concretas que demonstrem como os princípios teóricos se materializam em produtos reais (pergunta 3.2).

A literatura ressalta que a aplicação efetiva da circularidade se dá por meio de embalagens projetadas para serem recicladas, reutilizadas ou reintroduzidas no ciclo produtivo, reduzindo a dependência de matérias-primas virgens e diminuindo os impactos ambientais (Ellen MacArthur Foundation, 2019; Genovese *et al.*, 2015).

Dessa forma, exemplos práticos de embalagens circulares assumem um papel central não apenas no alinhamento com objetivos ambientais, mas também na construção da credibilidade junto ao mercado e aos consumidores.

Na Empresa A, algumas iniciativas se destacam. Um caso emblemático é o das embalagens para queijos, que, após o consumo, podem ser recolhidas, recicladas

e transformadas em novas embalagens, como aquelas destinadas a gelo. Essa estratégia representa um ciclo de reaproveitamento direto, evidenciando a circularidade na prática.

Outro destaque é o Ecoprime, reconhecida como a primeira embalagem encolhível 100% reciclável do Brasil. O produto foi desenvolvido especificamente para viabilizar o retorno à cadeia produtiva sem perda significativa de material, demonstrando um compromisso com a inovação sustentável.

Além disso, a empresa promove o reuso interno de resíduos plásticos, transformando-os em linhas secundárias, como sacos de lixo ou embalagens para mudas, fortalecendo a ideia de aproveitar ao máximo os recursos disponíveis.

O uso de metodologias estruturadas, como o CFD (*Circular Function Deployment*), pode ser um fator determinante para a incorporação sistemática dos princípios da economia circular no processo de desenvolvimento de embalagens (pergunta 3.3). Essa ferramenta, inspirada no QFD (*Quality Function Deployment*), busca integrar critérios de circularidade já nas etapas iniciais do projeto, promovendo maior alinhamento entre inovação, sustentabilidade e requisitos de mercado. No entanto, observa-se que a aplicação dessa metodologia ainda é incipiente no setor, seja por falta de familiaridade conceitual ou por limitações práticas de adaptação aos processos internos (Vimal *et al.*, 2022).

No caso da Empresa A, a resposta é objetiva: a metodologia (CFD) não é utilizada em seus processos. Isso demonstra que, embora a empresa adote práticas concretas de circularidade em seus produtos, não há uma sistematização baseada em *frameworks* formais como o CFD. Em termos acadêmicos, essa ausência pode representar tanto uma limitação, por reduzir a previsibilidade e o controle do processo de integração da circularidade, quanto uma oportunidade, já que a adoção futura do CFD poderia fortalecer ainda mais as estratégias sustentáveis já em curso.

A conformidade regulatória desempenha um papel estratégico no avanço da economia circular aplicada às embalagens, uma vez que orienta tanto os limites quanto as oportunidades para inovação. O setor de plásticos e embalagens, em especial, está sujeito a um arcabouço legal que combina políticas ambientais, de saúde pública e de mercado, refletindo a crescente preocupação global com resíduos, reciclagem e redução da poluição (pergunta 4.1).

No caso da Empresa A, a empresa se posiciona em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabelece diretrizes para a

destinação adequada de resíduos e a promoção da logística reversa. Além dessa legislação central, a Empresa A deve observar regulamentações estaduais e normas técnicas, como aquelas emitidas pela ABNT, que determinam parâmetros de qualidade e segurança. Outro ponto crucial é o cumprimento das exigências da Anvisa, particularmente para embalagens que entram em contato com alimentos, garantindo segurança sanitária. A empresa reconhece que o ambiente regulatório brasileiro ainda está em evolução e que novos projetos de lei podem intensificar as exigências ligadas à circularidade.

A questão sobre a exigência de embalagens sustentáveis pelos clientes revela diferentes percepções nas duas empresas investigadas (pergunta 4.2). A Empresa A destacou que há interesse crescente por parte de grandes marcas e exportadores, mas a adoção prática ainda é limitada pelo custo adicional.

Essa realidade dialoga com a teoria na literatura, que evidencia barreiras tanto do lado da demanda quanto da oferta. Zikopoulos (2022) aponta que a consciência ambiental dos consumidores ainda é insuficiente para sustentar uma mudança efetiva de mercado, o que explica por que, mesmo havendo interesse, a disposição em arcar com custos adicionais é limitada.

Outro ponto de conexão está relacionado à percepção de valor dos consumidores em relação a produtos sustentáveis. Pretner *et al.* (2021) ressaltam que, embora alguns consumidores vejam valor positivo em produtos circulares, outros os associam a menor qualidade, sobretudo quando envolvem materiais reciclados, o que impacta na decisão de compra. Isso reforça o desafio relatado pela Empresa A, que identifica a intenção dos clientes, mas encontra dificuldades na conversão para a prática.

A solicitação por embalagens sustentáveis (pergunta 4.3) pode ocorrer de diferentes formas e é um reflexo da crescente pressão exercida por clientes e pela sociedade sobre as empresas.

No caso da Empresa A, os pedidos surgem tanto por exigências contratuais e requisitos de certificações ambientais, especialmente quando se trata de grandes clientes ou de exportações, quanto em negociações ou reuniões comerciais. Em outros casos, aparecem como curiosidade ou sugestão direta do cliente.

Outro ponto é que a Empresa A também se antecipa a essas demandas por meio de iniciativas internas, como foi o caso do desenvolvimento do Ecoprime, criado pela própria direção da empresa para atender a tendências futuras de mercado. Isso

se aproxima da literatura que ressalta o papel tanto de demandas externas quanto de estratégias internas no avanço da circularidade (Geissdoerfer *et al.*, 2017).

Essa realidade se conecta à fundamentação teórica, que destaca que a EC depende de pressões exercidas em diferentes níveis: micro (empresas e consumidores), meso (cadeias produtivas e redes de reciclagem) e macro (políticas públicas e regulações), todos funcionando como indutores de práticas circulares (Sandoval, Jaca e Ormazabal, 2018).

Dessa forma, a solicitação dos clientes pode assumir a forma de exigências formais, como contratos e certificações, ou de pressões informais, como tendências de consumo e imagem ambiental positiva.

A adoção de práticas de economia circular no desenvolvimento de embalagens apresenta obstáculos (pergunta 4.4) que variam de acordo com a trajetória de cada organização e com seu grau de maturidade em relação à sustentabilidade.

No caso da Empresa A, os principais desafios relatados estão associados aos altos custos de investimento em tecnologias, maquinário e matérias-primas recicladas certificadas, além de barreiras técnicas para garantir que as embalagens sustentáveis mantivessem o mesmo desempenho das convencionais.

Também foram citadas dificuldades logísticas, relacionadas à aquisição de insumos e à adaptação dos processos internos, bem como certa resistência inicial do mercado, tanto por parte de fornecedores quanto de clientes.

A superação de desafios (pergunta 4.5) na implementação da EC no setor de embalagens depende de fatores estratégicos, econômicos e culturais, os quais variam de acordo com a trajetória de cada empresa.

No caso da Empresa A, o relato evidencia que o investimento financeiro planejado foi a principal ferramenta para viabilizar a adoção de práticas sustentáveis. Segundo a empresa, colocar recursos em novas tecnologias, materiais e processos exigiu coragem e visão de futuro, mas se mostrou decisivo para dar os primeiros passos e sustentar mudanças necessárias em direção à circularidade. Isso demonstra que, apesar dos altos custos iniciais, as organizações que compreendem a sustentabilidade como um vetor estratégico conseguem transformar obstáculos em oportunidades de diferenciação competitiva.

Essas experiências estão alinhadas ao que a literatura apresentada na fundamentação teórica (Capítulo 2 dessa tese) que descreve como barreiras e

estratégias de superação. Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) aponta que o investimento em inovação e novas tecnologias é essencial para vencer os limites técnicos e de mercado associados à circularidade.

Da mesma forma, Gagnon *et al.* (2022) reforçam que os altos custos e a falta de demanda consolidada exigem visão estratégica e planejamento financeiro, confirmando a postura da Empresa A.

A forma como as empresas lidam com o ciclo de vida das embalagens (pergunta 5.1) revela diferentes estágios de maturidade em relação à EC.

No caso da Empresa A, observa-se que ainda não há um programa estruturado de logística reversa ou incentivo formal à devolução de embalagens. A responsabilidade pelo destino final permanece com os clientes, e a atuação da empresa restringe-se ao acompanhamento de tendências e à avaliação de possibilidades futuras, especialmente diante de novas legislações. Essa postura evidencia uma abordagem mais reativa do que proativa, em que a circularidade ainda não está plenamente integrada à estratégia operacional.

O monitoramento da relação dos clientes sobre a relação com a EC (pergunta 5.2) ainda é um ponto sensível dentro das práticas empresariais analisadas.

No caso da Empresa A, observa-se que não existe um sistema estruturado para acompanhar o destino final das embalagens. A ausência de normas legais específicas que exijam esse controle faz com que a empresa não adote mecanismos formais para rastrear o descarte ou verificar se as embalagens estão sendo de fato reinseridas em cadeias de reciclagem. Essa postura indica que a circularidade é compreendida de maneira limitada, restrita ao momento da produção e não estendida ao ciclo de consumo e pós-consumo.

Esse ponto está alinhado à fundamentação teórica, que enfatiza que a EC não deve se limitar às empresas, mas envolver toda a cadeia de valor, incluindo consumidores, cooperativas de reciclagem e órgãos reguladores. Dantas *et al.* (2021) destacam que a ausência de monitoramento sistemático do uso e descarte de produtos constitui um dos principais obstáculos à efetividade do modelo circular, gerando lacunas no ciclo de reaproveitamento. Além disso, Genovese *et al.* (2015) e Wang, Burke e Zhang (2022) ressaltam que mecanismos de *feedback* e rastreabilidade são essenciais para que as empresas possam redesenhar estratégias, identificar gargalos e promover a circularidade em nível sistêmico.

O envolvimento dos consumidores no ciclo de vida das embalagens (pergunta 5.3) é um aspecto fundamental para a efetividade da EC, uma vez que a participação ativa dos clientes permite fechar os ciclos de reaproveitamento e reduzir impactos ambientais.

No caso da Empresa A, observa-se que já houve a avaliação de programas voltados ao incentivo da devolução e reuso das embalagens. No entanto, a adesão foi considerada baixa, principalmente porque o perfil de clientes da empresa é composto majoritariamente por micro e pequenos empreendedores, que muitas vezes carecem de estrutura ou interesse em participar dessas iniciativas. Essa limitação faz com que os esforços da empresa ainda estejam em fase exploratória, sem programas robustos de logística reversa ou recompra consolidados. A Empresa A já avaliou programas de logística reversa, mas encontrou baixa adesão de clientes, especialmente micro e pequenos empreendedores. Esse aspecto confirma a literatura, que aponta a dificuldade de engajar pequenos agentes na circularidade (Wang, Burke e Zhang, 2022).

O processo de coleta de *feedback* dos clientes (pergunta 5.4) é um elemento-chave para alinhar práticas empresariais aos princípios da economia circular, uma vez que permite compreender expectativas, identificar barreiras e direcionar melhorias em produtos e processos.

No caso da Empresa A, observa-se que o *feedback* é obtido principalmente por meio do atendimento comercial, de conversas diretas e do acompanhamento pós-venda. Essa proximidade favorece um entendimento mais claro sobre como as embalagens são percebidas pelo mercado e quais ajustes são necessários. Como resultado desse processo, a empresa implementou melhorias em sua linha de embalagens sustentáveis e recicláveis, buscando adequar características como praticidade, resistência e comunicação ambiental, de forma a reforçar tanto a funcionalidade quanto o compromisso com a sustentabilidade.

Os benefícios percebidos pelos clientes (pergunta 5.5) ao adquirir embalagens sustentáveis relacionam-se sobretudo ao fortalecimento da imagem positiva das marcas e ao apelo ambiental perante consumidores e sociedade. Esse resultado se alinha à literatura, que aponta que produtos circulares podem agregar valor intrínseco ao desviarem resíduos de aterros, além de atenderem a crenças e valores ambientais de parte dos consumidores (Evrard *et al.*, 2021; Pretner *et al.*, 2021).

Para a Empresa A, os principais benefícios percebidos por seus clientes são o fortalecimento da imagem positiva de suas marcas, o aumento do apelo comercial e a possibilidade de diferenciação competitiva. O uso de embalagens sustentáveis é visto como um fator de agregação de valor, permitindo que empresas atendam a consumidores mais conscientes e a exigências de grandes compradores ou exportadores. Além disso, há a percepção de benefícios práticos, como maior funcionalidade e, em alguns casos, redução de custos no longo prazo, associada à otimização de processos e ao uso de materiais recicláveis.

A mensuração e avaliação dos resultados das iniciativas de EC (pergunta 5.6) são elementos fundamentais para compreender a efetividade dessas práticas e orientar ajustes estratégicos.

A Empresa A adota um modelo mais simplificado, baseado em levantamentos internos e análises periódicas sobre o uso de materiais reciclados e o desempenho de suas embalagens sustentáveis. Esse processo, embora não tão estruturado, permite acompanhar indicadores-chave relacionados à adoção de insumos reciclados e à eficiência de suas soluções circulares, criando um ciclo de monitoramento e melhoria contínua.

A literatura reforça a importância da mensuração no contexto da economia circular, destacando que apenas por meio de indicadores claros é possível verificar ganhos ambientais, econômicos e sociais (Pauliuk, 2018). Como apontam Figge *et al.* (2018), a ausência de métricas consolidadas é uma das principais barreiras à implementação eficaz da circularidade, o que evidencia a necessidade de evolução constante nas formas de monitoramento.

O monitoramento do progresso (pergunta 5.7) das iniciativas de EC exige o uso de métricas capazes de traduzir em números os avanços obtidos pelas empresas. As métricas utilizadas para monitorar o progresso incluem toneladas de plástico reciclado, percentual de conteúdo reciclado em embalagens, redução da intensidade de carbono por tonelada produzida e volume de matéria-prima virgem evitado. Esses indicadores estão em sintonia com a literatura, que destaca a relevância de mensurações associadas à circularidade, fluxos de materiais, longevidade e valor monetário (Niero e Kalbar, 2019; Figge *et al.*, 2018).

No caso da Empresa A, a prática atual está centrada na observação de indicadores relacionados ao uso de materiais reciclados e ao desempenho de suas soluções sustentáveis. Esses dados, ainda que de caráter mais qualitativo e voltados

ao acompanhamento interno, fornecem subsídios para orientar as próximas ações e alinhar as estratégias da empresa com as expectativas crescentes do mercado em relação à sustentabilidade.

5.2.2 Caso da Empresa B

Baseados nas perguntas que foram elaboradas e utilizadas no instrumento para coleta de dados (presentes nas seções 4.4 e 4.5 dessa tese), esta seção apresenta a análise da Empresa B em relação a sua adequação ao modelo proposto.

O profissional da empresa que ficou responsável por acompanhar o estudo de caso é do setor de pesquisa e desenvolvimento da empresa e possui uma experiência de mais de 5 anos nessa área.

No que se refere à questão sobre a decisão de implantar a EC (pergunta 0.1), verifica-se que a Empresa B incorpora princípios da Economia Circular em consonância com o que foi apresentado na Fundamentação Teórica (Capítulo 2 desta tese).

A Empresa B apresenta um histórico ligado à reciclagem e logística reversa, inicialmente focada em garrafas PET circularidade a partir da reciclagem mecânica e, posteriormente, da reciclagem química, que permite fechar completamente o ciclo dos materiais. Isso se relaciona fortemente com os princípios de reciclagem, reuso e logística reversa, destacados na fundamentação teórica (Capítulo 2 desta tese) como centrais para a EC.

Esse relato conecta-se diretamente com os princípios da EC apresentados por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), que destacam a centralidade dos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar), e com a definição de logística reversa como instrumento essencial para reinserção de materiais no ciclo produtivo (Genovese *et al.*, 2017; Wang, Burke e Zhang, 2022). A evolução da empresa em direção à reciclagem química reforça ainda mais a correlação com o conceito de fechamento de ciclos de materiais, discutido por Korhonen *et al.* (2018) e Ellen MacArthur Foundation (2019).

No que diz respeito à visão de longo prazo e à ampliação da EC (pergunta 0.2), identifica-se uma relação entre o direcionamento estratégico da empresa e os fundamentos da EC apresentados no Capítulo 2 desta tese. Percebe-se que as abordagens estratégicas da Empresa B converge para os princípios de circularidade e para as diretrizes voltadas à sustentabilidade.

A Empresa B apresenta uma visão de longo prazo vinculada a um planejamento estruturado em marcos temporais (5, 10 e 20 anos), com foco na sustentabilidade ampla e na economia circular como parte integrante dessa agenda. O relato da empresa reforça práticas como o uso de energia renovável e a substituição de insumos fósseis, alinhando-se aos princípios destacados por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), que defendem a transição para energias renováveis como fator essencial da circularidade. Além disso, o fato de a empresa afirmar que historicamente esteve “um passo à frente do mercado” ao adotar práticas de reciclagem indica a incorporação de modelos de negócios circulares e inovadores, conforme apontado por Elia, Gnoni e Tornese (2017), que destacam a necessidade de adaptação de modelos empresariais para sustentar práticas circulares no longo prazo.

A análise das estratégias adotadas pela empresa (pergunta 1.1) revela distintas abordagens para fomentar a EC no desenvolvimento de embalagens.

Nesse sentido, a Empresa B demonstra uma atuação mais condicionada ao contexto de mercado, especialmente pela barreira do custo na implementação de soluções circulares. A estratégia consiste em oferecer alternativas mais sustentáveis aos clientes, como embalagens monomateriais, certificadas e de maior reciclabilidade, mesmo quando a escolha final ainda recai sobre estruturas convencionais devido ao preço. Essa prática se relaciona com os desafios identificados por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), que destacam o custo elevado, a falta de infraestrutura e a baixa escala de materiais reciclados como barreiras à plena implementação da EC. Ainda assim, a postura da empresa de sempre oferecer ao cliente uma alternativa mais circular, mesmo que parcialmente, dialoga com a perspectiva de transição gradual para a economia circular descrita por Dantas *et al.* (2021), segundo a qual mudanças sistêmicas requerem tempo, adaptação e aceitação do mercado.

A identificação dos principais *stakeholders* envolvidos na estratégia de EC (pergunta 1.2) mostra-se fundamental, considerando que a EC pressupõe a atuação integrada de múltiplos agentes ao longo da cadeia de valor.

Assim, a Empresa B apresenta uma estrutura organizacional em que a área de sustentabilidade e economia circular possui caráter corporativo, atuando de forma transversal em todas as suas 47 unidades. Esse setor, liderado por uma diretoria específica, interage com áreas de inovação, P&D e produção, além de manter interlocução direta com a alta gestão e a família controladora da empresa. As reuniões semestrais de planejamento estratégico, envolvendo diretoria executiva, proprietários

e áreas-chave, evidenciam a formalização da participação dos stakeholders internos na definição de diretrizes de curto, médio e longo prazo. Essa configuração dialoga com os conceitos de simbiose industrial e colaboração intersetorial (Elia, Gnoni e Tornese, 2017), que destacam a necessidade de cooperação entre diferentes setores e níveis hierárquicos para viabilizar cadeias de valor circulares.

A conscientização interna (pergunta 1.3) configura-se como um fator determinante para a efetiva implementação da Economia Circular, visto que, conforme apontam Khan e Haleem (2021), a transição de modelos lineares para circulares demanda não apenas inovações tecnológicas, mas também transformações culturais e comportamentais. Nesse contexto, verifica-se que a Empresa B estruturou iniciativas específicas com o objetivo de sensibilizar seus colaboradores e estimular o engajamento em práticas alinhadas à circularidade.

A Empresa B adota uma abordagem mais ampla e intensiva, promovendo campanhas de conscientização recorrentes (anuais e mensais) que buscam tanto desmistificar percepções negativas em torno do plástico quanto reforçar a importância do descarte adequado, da coleta seletiva e da reutilização. Essa estratégia é apoiada por materiais visuais e comunicacionais constantes, como cartazes, calendários informativos e conteúdos audiovisuais em espaços comuns, além de iniciativas de comunicação externa em eventos do setor. Essa prática dialoga diretamente com a visão de comunicação integrada para sustentabilidade, apontada por Vimal *et al.* (2022), que defendem o uso de narrativas claras e acessíveis para fortalecer o engajamento dos colaboradores e da sociedade.

A disseminação da conscientização entre os colaboradores de empresas parceiras (pergunta 1.4) representa um componente essencial da Economia Circular, uma vez que, conforme apontam Khan e Haleem (2021), a migração de modelos lineares para circulares requer não apenas avanços tecnológicos, mas também cooperação entre diferentes setores e transformações culturais que alcancem toda a cadeia de valor.

Na Empresa B adota uma estratégia mais abrangente, baseada em apresentações institucionais, visitas técnicas e campanhas de conscientização recorrentes. Clientes e parceiros que visitam as plantas da empresa são expostos aos processos produtivos e às práticas de circularidade. Além disso, recicladoras associadas e plantas internas, como a de pirólise, participam de palestras e programas de conscientização, reforçando a integração de parceiros diretos no

ecossistema circular. A empresa também promove encontros periódicos e atividades virtuais com stakeholders, nos quais temas ligados à sustentabilidade e à economia circular são discutidos. Essas práticas estão alinhadas ao conceito de simbiose industrial apresentado por Elia, Gnoni e Tornese (2017), que destaca a cooperação entre empresas como estratégia para fechar ciclos de materiais. A comunicação constante por meio de cartazes, calendários e campanhas internas reflete ainda a noção de comunicação integrada para sustentabilidade (Spreafico, 2022), essencial para difundir a cultura circular.

A definição de metas e objetivos bem estabelecidos constitui um fator essencial para a incorporação consistente da Economia Circular aos processos organizacionais (pergunta 1.5). Conforme argumenta Pauliuk (2018), o progresso rumo à circularidade não se limita à implementação de soluções técnicas, mas requer a formalização de compromissos estratégicos mensuráveis, capazes de direcionar investimentos, fomentar a inovação e mobilizar os *stakeholders*.

Nessa perspectiva, a Empresa B indica possuir objetivos estruturados que orientam sua atuação no desenvolvimento de embalagens, ainda que tais diretrizes apresentem abordagens específicas.

Dessa forma, a Empresa B apresenta uma abordagem que, embora menos detalhada, evidencia um compromisso sistemático com a inclusão de princípios de circularidade em projetos de P&D. De acordo com os relatos, todo novo desenvolvimento contempla uma alternativa com viés sustentável, mesmo que não seja a escolhida pelo cliente. Essa prática revela a integração da circularidade como um norte estratégico nas atividades de inovação, refletindo o que Hofstra e Huisinigh (2014) descrevem como processo de transição gradual, em que empresas oferecem opções sustentáveis ao mercado ainda que sua adoção seja limitada por barreiras, principalmente custos e aceitação do cliente. Além disso, a empresa reforça a existência de indicadores internos relacionados a sustentabilidade, qualidade e custo, o que demonstra alinhamento com a necessidade de monitoramento de desempenho circular, apontada por Pauliuk (2018) como essencial para avaliar avanços e retroalimentar o processo decisório.

A implementação da Economia Circular em empresas do setor de embalagens (pergunta 1.6) envolve desafios que extrapolam as dimensões estritamente técnicas, abrangendo também aspectos econômicos, culturais e estruturais. A literatura evidencia que a transição de modelos lineares para circulares ocorre de forma gradual

e complexa, sendo permeada por entraves como custos elevados, restrições tecnológicas, carências de infraestrutura adequada e resistências comportamentais (Jugend *et al.*, 2020; Khan e Haleem, 2021; Loon, Diener e Harris, 2021).

A Empresa B apresenta uma perspectiva distinta: embora afirme não enfrentar grandes barreiras estruturais, reconhece a existência de resistências culturais internas, sobretudo entre colaboradores mais antigos. A dificuldade está relacionada à adoção de novos processos produtivos, como a substituição de estruturas convencionais por alternativas monomateriais. Esse tipo de barreira se enquadra na categoria de obstáculos comportamentais e de inércia organizacional, já que mudanças em práticas consolidadas ao longo do tempo tendem a ser recebidas com desconfiança ou resistência (Khan e Haleem, 2021). A empresa relata que tais resistências podem ser mitigadas por meio de explicações claras, dados quantitativos e ênfase nos benefícios ambientais e comerciais, prática que se conecta com o conceito de engajamento e conscientização interna (Wang, Burke, e Zhang, 2022).

A seleção de materiais e componentes para a fabricação de embalagens (pergunta 2.1) constitui um aspecto central para a efetivação da EC, pois influencia diretamente as possibilidades de reutilização, reciclagem e os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto. Conforme destacam Offerdinger, Dlugoborskyte e Herstatt (2021), optar por materiais compatíveis com processos de reciclagem é essencial para viabilizar a circularidade, enquanto Salvador *et al.* (2020) ressaltam que decisões tomadas na fase de *design* e na escolha de insumos determinam o desempenho ambiental das embalagens em etapas posteriores.

Na Empresa B apresenta um portfólio mais diversificado, utilizando uma ampla gama de materiais, entre eles PET (Polietileno Tereftalato), BOPP (Polipropileno Biorientado), PP (Polipropileno), PE (Polietileno) e combinações de filmes metalizados e não metalizados. Além disso, a empresa também produz embalagens rígidas (plásticos de injeção) e faz uso de resinas recicladas, inclusive provenientes de pós-industrial. Esse modelo é compatível com a ideia de flexibilidade na escolha de insumos em função do tipo de aplicação e desempenho desejado, mas enfrenta desafios relacionados a volume de disponibilidade de resinas recicladas e restrições regulatórias, especialmente impostas pela Anvisa, que limitam o reuso de determinados plásticos em embalagens de alimentos e cosméticos. Tais barreiras estão em linha com os apontamentos de Gagnon *et al.* (2022), que destacam os

obstáculos legais e institucionais como entraves à expansão da circularidade, mesmo quando existem soluções técnicas viáveis.

Outro aspecto relevante na Empresa B é a menção a materiais como o PVC (Polietileno Cloreto de Vinila), cuja utilização em embalagens é restrita não por questões de desempenho, mas por preocupações relacionadas ao seu processo de produção e aos riscos ambientais associados. Esse exemplo evidencia a tensão entre a viabilidade técnica e a aceitabilidade regulatória e social, um dilema recorrente na literatura sobre transição para a economia circular (Sumter *et al.*, 2021).

Assegurar que os materiais empregados na produção de embalagens provenham de fontes renováveis ou sustentáveis representa um dos maiores desafios para a EC, especialmente em setores fortemente dependentes de derivados fósseis, como o plástico (pergunta 2.2). A literatura indica que a adoção de matérias-primas renováveis demanda não apenas inovação tecnológica, mas também mecanismos robustos de governança e rastreabilidade, enfrentando ainda obstáculos relacionados à disponibilidade, aos custos e às exigências regulatórias. (Gagnon *et al.*, 2022; Laurenti *et al.*, 2015; Mohagheghian *et al.*, 2021).

Na Empresa B adota uma abordagem mais complexa e multifacetada. A empresa reconhece que 70% a 80% das resinas ainda têm origem fóssil, mas aponta experiências com insumos renováveis, como o polietileno verde da Braskem, derivado da cana-de-açúcar. Apesar de sua relevância, a utilização desse material é limitada por altos custos (até 30% superiores) e pela instabilidade na oferta, uma vez que sua produção depende da rentabilidade comparativa entre etanol e polietileno. Além disso, a Empresa B destaca como diferencial o controle interno de duas frentes: a reciclagem mecânica, a partir de aparas do próprio processo produtivo e de cooperativas credenciadas, e a reciclagem química, que permite transformar resíduos plásticos em óleo de pirólise, posteriormente convertido em resinas. Essas iniciativas dialogam com a noção de fechamento de ciclos materiais defendida por Sandoval; Jaca; Ormazabal (2018) e com a estratégia de ecoinovação cíclica, que busca reduzir a dependência de fontes virgens ao reinserir resíduos como insumos na produção (Hofstra e Huisingh, 2014).

A adoção de práticas de EC no desenvolvimento de embalagens apresenta benefícios que se estendem por diversas dimensões: ambiental, econômica, social e organizacional (pergunta 2.3). Conforme apontado na literatura, a incorporação de princípios de circularidade contribui para a redução dos impactos ambientais, a

extensão do ciclo de vida dos produtos, a preservação do valor dos materiais e a criação de novas oportunidades de negócio (Batwara *et al.*, 2022; Evrard *et al.*, 2021; Gagnon *et al.*, 2022; Jugend *et al.*, 2020).

Na Empresa B adota uma perspectiva mais ambiental e social ao tratar dos benefícios da economia circular. Para ela, a principal contribuição está na retirada de plásticos do meio ambiente, na redução da destinação inadequada de resíduos para lixões e aterros e na diminuição da dependência de recursos fósseis. Além disso, reforça que tais práticas devem ser compreendidas também sob um viés intergeracional, uma vez que preservam os recursos disponíveis para as próximas gerações e evitam um cenário de esgotamento ambiental. Esse enfoque dialoga diretamente com a literatura sobre desenvolvimento sustentável, que defende a necessidade de equilibrar consumo atual e a capacidade de regeneração do planeta (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

A literatura sobre EC evidencia que os custos associados à sua implementação (pergunta 2.4) são diversos e vão além do investimento inicial em equipamentos. Eles incluem despesas com máquinas e infraestrutura, custos operacionais adicionais como energia, manutenção e insumos reciclados, custos de transação, incluindo certificações, auditorias e contratos com fornecedores e recicladores, custos de adaptação e qualidade relacionados ao controle de processos e validação de produtos para manter o desempenho, além de custos (Gagnon *et al.*, 2022).

A Empresa B descreve um regime de custos diferente: a principal pressão é no preço da matéria-prima (resinas virgens vs. resinas verdes ou recicladas) e na incidência de custos comerciais quando se busca repassar o diferencial ao cliente. Do ponto de vista produtivo, algumas substituições (p.ex. mudar de PET/PE para PE/PE monomaterial) não alteram substancialmente o processo, de modo que o investimento incremental pode ser baixo, mas o custo por quilo da resina renovável ou reciclada é significativamente maior e a volatilidade de oferta (p.ex. resinas *biobased* ligadas à produção de etanol) implica riscos de disponibilidade e preço. A empresa também destaca custos intangíveis: esforço para convencer clientes, treinamento de operadores e perdas temporárias de eficiência durante a transição. Importante notar que a postura da Empresa B é que, numa transição em escala, esses custos seriam diluídos e poderiam até originar ganhos econômicos (economias de escala e padronização), mas esse cenário demanda tempo e coordenação de mercado.

A literatura sobre Economia Circular e sustentabilidade ambiental aponta que as organizações buscam reduzir impactos em três frentes principais: resíduos sólidos, por meio da reciclagem e do reaproveitamento de materiais, evitando sua destinação inadequada; uso de recursos naturais, com ênfase na eficiência hídrica e energética; e emissões de carbono, relacionadas à produção, transporte e descarte (Brasil, 2010; Brasil, 2022). A incorporação desses aspectos ao processo produtivo de embalagens é especialmente relevante devido à elevada dependência de plásticos de origem fóssil e ao grande volume de resíduos gerados pelo setor, tornando importante analisar os impactos ambientais e as estratégias adotadas pela empresa para minimizá-los (pergunta 2.5).

Assim, a Empresa B apresenta uma atuação mais abrangente e estruturada, vinculada a uma área corporativa de sustentabilidade. A empresa declara possuir programas de avaliação de ciclo de vida (ACV) para diferentes produtos, monitorando reduções nas emissões de carbono, inclusive com projetos que geram balanço de emissões negativas em determinadas linhas. Além disso, destaca o uso de energia renovável (64% do total consumido, proveniente de fontes solar e eólica) e a definição de metas ambientais de longo prazo (2040–2050), em sintonia com compromissos internacionais de descarbonização.

A verificação das parcerias com empresas e fornecedores é um aspecto importante para a EC (pergunta 2.6). A literatura destaca que a implementação bem-sucedida da EC depende fortemente da colaboração interorganizacional, uma vez que nenhuma empresa, isoladamente, consegue fechar ciclos de materiais e promover uma cadeia verdadeiramente sustentável. Parcerias com recicladoras, fornecedores de matérias-primas sustentáveis, cooperativas e órgãos reguladores são apontadas como mecanismos essenciais para viabilizar o fluxo de materiais secundários e legitimar as práticas ambientais perante o mercado e a sociedade. (Elia, Gnoni e Tornese, 2017; Ellen MacArthur Foundation, 2019; Khan e Haleem, 2021; Wang, Burke e Zhang, 2022).

Na Empresa B apresenta uma rede de parcerias mais diversificada e estruturada. A empresa possui certificação ISCC Plus, reconhecida internacionalmente como um selo voltado à sustentabilidade e rastreabilidade, além de estar em processo de obtenção de outras certificações relevantes para atender clientes nacionais e internacionais. Também estabelece contratos com cooperativas, como a localizada em Pindamonhangaba, fundamentais para alimentar sua planta de

pirólise, que transforma resíduos plásticos em insumos químicos reutilizáveis. Além disso, a empresa recorre tanto ao fornecimento interno de materiais reciclados quanto à aquisição de insumos sustentáveis no mercado, como o PET verde. Esse conjunto de parcerias evidencia uma abordagem integrada, que articula atores locais (cooperativas), infraestrutura própria (pirólise e reciclagem mecânica) e compromissos globais (certificações internacionais).

A extensão da vida útil das embalagens (pergunta 3.1) constitui um dos princípios centrais da EC, pois contribui para reduzir a demanda por matérias-primas virgens, minimizar a geração de resíduos e otimizar o uso de recursos naturais. A literatura indica que essa estratégia pode ser implementada por meio de diferentes mecanismos, incluindo design inteligente, como modularidade, facilidade de desmontagem, durabilidade dos materiais, garantindo resistência e proteção do conteúdo; reuso pelo consumidor, e valorização pós-uso, por meio da facilidade de reciclagem ou recuperação energética (Amend *et al.*, 2022; Asif *et al.*, 2021; Bressanelli *et al.*, 2020; Joustra, Flipsen, e Balkenende, 2021).

Na Empresa B descreve um conjunto mais amplo de práticas e condicionantes. Em primeiro lugar, aponta que muitos aspectos de extensão da vida útil decorrem do próprio processo produtivo, como o aumento da durabilidade resultante da laminação ou coextrusão, que prolonga o tempo de vida útil de filmes e potes plásticos. Além disso, enfatiza a relevância do design orientado ao consumidor, como o uso de zíperes em embalagens flexíveis, visores transparentes e rótulos removíveis, que favorecem o reuso doméstico. Também destaca a influência crescente da pressão do mercado e da consciência do consumidor, que direciona o *redesign* de embalagens, mesmo quando isso implica em maiores custos de produção. Assim, a Empresa B associa a extensão de vida a uma estratégia de *design* e aceitação social, alinhada às práticas de “*design for reuse*” descritas pela literatura.

A adoção de práticas de Economia Circular no setor de embalagens depende, essencialmente, do desenvolvimento de soluções concretas que evidenciem a materialização dos princípios teóricos em produtos reais (pergunta 3.2). A literatura destaca que a efetiva aplicação da circularidade ocorre por meio de reciclagem ou resuo, reduzindo a dependência de matérias-primas virgens e mitigando os impactos ambientais (Ellen MacArthur Foundation, 2019; Genovese *et al.*, 2015). Nesse contexto, exemplos práticos de embalagens circulares tornam-se fundamentais não

apenas para o alinhamento com metas ambientais, mas também para fortalecer a credibilidade da empresa perante o mercado e os consumidores.

Na Empresa B apresenta exemplos que também refletem o avanço da economia circular em escala industrial. Entre eles estão as embalagens de biscoito, produzidas a partir de materiais coletados em pontos de coleta seletiva da própria empresa, que são transformados em resinas recicladas e reintroduzidos no mercado.

Outro exemplo são os rótulos de garrafa produzidos com PCR (plástico reciclado pós-consumo), com até 50% de material reciclado. Embora não possam ser aplicados diretamente em alimentos ou bebidas por restrições regulatórias, seu uso em embalagens secundárias já representa um avanço significativo.

A empresa ainda destaca o projeto em curso de garrafas recicladas, que, além de já estar no mercado, simboliza o potencial de circularidade em produtos de grande escala e alta visibilidade.

O uso de metodologias estruturadas, como o CFD (*Circular Function Deployment*), pode ser um elemento crucial para a incorporação sistemática dos princípios da EC no desenvolvimento de embalagens (pergunta 3.3). Inspirada no QFD (*Quality Function Deployment*), essa ferramenta busca integrar critérios de circularidade já nas fases iniciais do projeto, promovendo maior alinhamento entre inovação, sustentabilidade e demandas de mercado (Vimal *et al.*, 2022).

Na Empresa B indica um posicionamento mais aberto à metodologia, ainda que de forma indireta ou não estruturada. Embora não haja clareza sobre a utilização formal do CFD, elementos descritos pela empresa sugerem que práticas semelhantes já estão presentes em áreas como P&D, inovação e sustentabilidade. O relato aponta também para uma percepção de familiaridade com os conceitos ligados ao modelo, ainda que eles possam estar diluídos em outros instrumentos de gestão. Nesse sentido, a empresa reconhece o potencial da ferramenta, mas ainda precisa consolidar sua aplicação de maneira explícita e integrada.

A conformidade regulatória exerce um papel estratégico na implementação da EC em embalagens, pois define tanto os limites quanto as oportunidades para inovação. O setor de plásticos e embalagens, em particular, está sujeito a um conjunto de normas que envolvem políticas ambientais, de saúde pública e de mercado, refletindo a crescente preocupação global com a gestão de resíduos, a reciclagem e a redução da poluição (pergunta 4.1).

No caso da Empresa B evidencia uma atenção mais ampla ao cenário regulatório, incluindo legislações nacionais e tratados internacionais. Além da PNRS, a empresa também cita a Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR) e a Lei de Incentivo à Reciclagem (LIR) como instrumentos que moldam práticas de circularidade, especialmente em relação à logística reversa. Destaca ainda o Tratado Global de Combate à Poluição Plástica, que traz compromissos de escala internacional. Importante notar que a empresa acompanha de perto o andamento de novas regulações, como o Decreto do Plástico e o PL 2524, que podem impactar diretamente a produção ao restringir materiais ou obrigar o uso de conteúdo reciclado. Nesse caso, observa-se um olhar prospectivo, de antecipação regulatória, o que denota maior maturidade estratégica.

A questão relativa à demanda por embalagens sustentáveis pelos clientes evidencia percepções distintas entre as duas empresas analisadas (pergunta 4.2). A Empresa B afirmou que os clientes não exigem diretamente, mas frequentemente solicitam alternativas, especialmente sem alumínio, embora nem todos os projetos avancem para homologação.

Essa realidade está em consonância com a literatura, que identifica barreiras tanto no lado da demanda quanto da oferta. Zikopoulos (2022) observa que a consciência ambiental dos consumidores ainda é insuficiente para sustentar uma mudança efetiva no mercado, explicando por que, mesmo havendo interesse, a disposição para arcar com custos adicionais permanece limitada.

A demanda por embalagens sustentáveis (pergunta 4.3) pode se manifestar de maneiras variadas e reflete a crescente pressão exercida tanto pelos clientes quanto pela sociedade sobre as empresas.

Na Empresa B, a solicitação ocorre, sobretudo, por meio de diretrizes estratégicas vindas da matriz ou da alta direção dos clientes, que determinam a necessidade de desenvolver embalagens sustentáveis para linhas específicas de produtos. Essa abordagem *top-down* demonstra que, em muitos casos, a decisão de adotar embalagens circulares não parte apenas da área operacional, mas está ligada à governança corporativa, refletindo compromissos assumidos em nível global. Tal fato confirma que pressões internacionais têm maior peso na aceleração da EC em países emergentes (Loiseau *et al.*, 2016; Sandoval, Jaca e Ormazabal, 2018).

Essa realidade está alinhada à fundamentação teórica, que aponta que a EC é influenciada por pressões em diferentes níveis: micro (empresas e consumidores),

meso (cadeias produtivas e redes de reciclagem) e macro (políticas públicas e regulações), funcionando como indutores das práticas circulares (Sandoval, Jaca e Ormazabal, 2018). Nesse contexto, a demanda dos clientes pode se manifestar tanto por meio de exigências formais, como contratos e certificações, quanto por pressões informais, incluindo tendências de consumo e valorização de uma imagem ambiental positiva.

Além disso, a percepção de valor dos clientes em relação a embalagens sustentáveis também interfere no processo. Pretner *et al.* (2021) ressaltam que, apesar de haver consumidores que atribuem valor positivo a produtos circulares, muitos ainda associam embalagens recicladas a uma qualidade inferior, o que gera resistência em homologar ou adotar alternativas apresentadas pelos fornecedores. a Empresa B observa que muitos projetos não chegam sequer à homologação.

A implementação de práticas de EC no desenvolvimento de embalagens enfrenta diferentes obstáculos (pergunta 4.4), que dependem da trajetória de cada organização e do seu nível de maturidade em relação à sustentabilidade.

A Empresa B não identifica obstáculos relevantes em sua trajetória, uma vez que nasceu como uma recicladora e incorporou desde o início a lógica de circularidade em sua cultura e processos produtivos.

Para a empresa, práticas como a logística reversa, a reciclagem e a conscientização ambiental fazem parte do DNA organizacional, de modo que as mudanças no vocabulário (como a introdução do termo “economia circular”) são percebidas mais como uma evolução semântica do que como rupturas operacionais.

Nesse sentido, a Empresa B considera que os desafios foram internalizados desde sua fundação, sendo minimizados por meio da integração entre cultura organizacional e práticas de sustentabilidade.

O enfrentamento dos desafios (pergunta 4.5) na implementação da Economia Circular no setor de embalagens está condicionado a aspectos estratégicos, econômicos e culturais, os quais se manifestam de maneira distinta em cada empresa, dependendo de sua trajetória e contexto organizacional.

No caso da Empresa B, os desafios internos não foram significativos, dado que a circularidade faz parte do seu modelo de negócio desde a origem. Entretanto, a empresa reconhece que a principal dificuldade está em convencer os clientes, uma vez que, muitas vezes, o critério predominante nas decisões de compra continua sendo o preço final da embalagem. Nesse sentido, o desafio não está apenas no

desenvolvimento interno de soluções circulares, mas em superar as barreiras externas relacionadas à percepção de valor e à disposição do mercado em pagar por produtos sustentáveis.

Essas experiências estão alinhadas ao que a literatura apresentada na fundamentação teórica (seção 2 dessa tese) que enfatiza que a superação desses desafios requer não apenas investimentos, mas também estratégias de engajamento com *stakeholders* e uso de ferramentas como a avaliação do ciclo de vida (ACV), que fornecem dados técnicos para demonstrar ganhos ambientais e agregar valor às soluções sustentáveis (Ghisellini, Cialani e Ulgiati, 2016).

A gestão do ciclo de vida das embalagens pelas empresas (pergunta 5.1) evidencia distintos níveis de maturidade no que diz respeito à adoção da EC.

Na Empresa B apresenta um nível avançado de atuação, com responsáveis dedicados na área de sustentabilidade e iniciativas que cobrem todo o ciclo da economia circular do plástico. A empresa adota práticas que vão desde o *redesign* de embalagens para maior reciclabilidade até a reciclagem mecânica e avançada, reinserindo a resina reciclada em novos produtos. Além disso, destaca-se como uma das principais recicladoras da América Latina, assumindo papel ativo na logística reversa e mostrando como a circularidade pode ser operacionalizada de forma sistêmica e integrada.

O acompanhamento da percepção dos clientes em relação à EC (pergunta 5.2) continua sendo um aspecto delicado nas práticas empresariais observadas.

A Empresa B não realiza qualquer tipo de monitoramento relacionado à forma como os clientes lidam com a economia circular. Embora tenha práticas mais consolidadas em outras áreas, como logística reversa e reciclagem mecânica, a ausência de acompanhamento do comportamento dos consumidores reforça um desafio comum às organizações: a dificuldade de integrar o usuário final como agente ativo no fechamento dos ciclos de materiais.

Esse aspecto dialoga com a fundamentação teórica, que destaca que a economia circular não pode ser restrita às empresas, mas deve envolver toda a cadeia de valor, incluindo consumidores, cooperativas de reciclagem e órgãos reguladores. Dantas *et al.* (2021) apontam que um dos grandes entraves para a efetividade do modelo circular é justamente a falta de monitoramento sistemático do uso e descarte de produtos, o que gera lacunas no ciclo de reaproveitamento.

O engajamento dos consumidores ao longo do ciclo de vida das embalagens (pergunta 5.3) constitui um elemento essencial para a efetividade da EC, já que a participação ativa dos clientes contribui para fechar os ciclos de reaproveitamento e diminuir os impactos ambientais.

A Empresa B apresenta um cenário mais avançado, ainda que em fase de desenvolvimento. A empresa está estruturando um projeto piloto em parceria com um grande cliente e uma cooperativa. Nesse modelo, as embalagens pós-consumo produzidas pela Empresa B são recolhidas, processadas por uma empresa grupo (passando por etapas de lavagem, destintamento e delaminação) e transformadas em resina PCR (pós-consumo reciclada). Essa resina é então reinserida na cadeia produtiva para a fabricação de embalagens secundárias destinadas ao mesmo cliente. Embora o projeto ainda esteja em fase de testes, já demonstra resultados positivos e um potencial relevante para ser expandido, evidenciando uma estratégia clara de circularidade aplicada ao cliente final. Essa prática está em sintonia com a noção de simbiose industrial e colaboração em rede (Sandoval, Jaca e Ormazabal, 2018).

O levantamento de *feedback* dos clientes (pergunta 5.4) constitui um componente fundamental para alinhar as práticas empresariais aos princípios da Economia Circular, pois possibilita compreender as expectativas, identificar obstáculos e orientar aprimoramentos em produtos e processos.

A Empresa B não apresenta um sistema específico de coleta de *feedback* voltado exclusivamente à economia circular. O monitoramento ocorre de forma indireta, por meio de pesquisas anuais de satisfação dos clientes. Nessas pesquisas, há perguntas sobre propostas sustentáveis, mas de maneira superficial. Ainda que exista um protocolo para contato em caso de respostas detratórias, a empresa relata que, até o momento, não houve ocorrências nesse sentido.

Essa prática vai de encontro com o que os autores Genovese *et al.* (2015) e Wang, Burke e Zhang (2022), mecanismos de *feedback* e rastreabilidade são fundamentais para que empresas consigam redesenhar suas estratégias, identificar gargalos e fomentar a circularidade em nível sistêmico.

Os benefícios percebidos pelos clientes (pergunta 5.5) ao optarem por embalagens sustentáveis estão principalmente ligados ao fortalecimento da imagem positiva das marcas e ao reconhecimento ambiental perante consumidores e sociedade. Esse resultado está em consonância com a literatura, que aponta que produtos circulares podem agregar valor intrínseco ao reduzir o envio de resíduos a

aterros e ao atender às crenças e valores ambientais de parte dos consumidores (Evrard *et al.*, 2021; Pretner *et al.*, 2021).

No caso da Empresa B, a percepção dos benefícios ocorre de maneira indireta, já que a empresa não comercializa diretamente para clientes finais. Nesse contexto, os retornos mais evidentes vêm por meio de premiações setoriais e recompras de embalagens, o que sinaliza reconhecimento do mercado e dos clientes corporativos, mas sem uma sistematização clara de como os consumidores finais percebem as vantagens das soluções circulares. Isso sugere que a empresa ainda possui espaço para ampliar sua atuação na mensuração e comunicação dos benefícios ligados à circularidade de suas embalagens.

A avaliação e o acompanhamento dos resultados das iniciativas de EC (pergunta 5.6) são fundamentais para entender a eficácia dessas práticas e para subsidiar ajustes estratégicos quando necessário.

A Empresa B apresenta uma abordagem formalizada e quantitativa, utilizando indicadores específicos como redução do uso de matéria-prima virgem, aumento do conteúdo reciclado em seus produtos, volume de materiais reciclados em plantas próprias e redução das emissões associadas. Essa prática reflete um alinhamento mais direto com os princípios de gestão de desempenho, permitindo que os resultados da circularidade sejam monitorados e comunicados de forma objetiva.

A literatura enfatiza a importância da mensuração no âmbito da EC, destacando que apenas indicadores bem definidos permitem avaliar de forma concreta os benefícios ambientais, econômicos e sociais (Pauliuk, 2018).

O acompanhamento do desenvolvimento das iniciativas de EC (pergunta 5.7) depende da adoção de indicadores que permitam quantificar os resultados obtidos pelas empresas. Entre os principais parâmetros utilizados estão a quantidade de plástico reciclado, a proporção de material reciclado incorporada às embalagens, a diminuição da intensidade de carbono por tonelada produzida e a redução do uso de matéria-prima virgem. Esses dados refletem as recomendações da literatura, que ressalta a necessidade de métricas capazes de mensurar circularidade, fluxos de materiais, durabilidade dos produtos e valor econômico gerado ao longo do ciclo de vida. (Niero e Kalbar, 2019; Figge *et al.*, 2018).

A Empresa B adota métricas mais específicas e quantitativas, como toneladas de plástico reciclado por ano, percentual de conteúdo reciclado presente em suas embalagens, redução da intensidade de carbono por tonelada produzida e o volume

de matéria-prima virgem evitado. Esse conjunto de indicadores permite não apenas mensurar resultados internos, mas também gerar relatórios comparáveis e alinhados a padrões internacionais de sustentabilidade, fortalecendo a credibilidade da empresa junto a clientes e órgãos reguladores.

5.3 Análise intercasos

Depois de analisar cada caso separadamente (caso da empresa A apresentado na seção 5.2.1 e caso da empresa B apresentado na seção 5.2.2), é importante fazer uma análise comparativa entre os dois casos e este é o objetivo desta seção.

Ao analisar a situação das empresas no quesito de implementar a EC, pode-se dizer que a Empresa A e a Empresa B incorporam os princípios da Economia Circular por meio de estratégias distintas e complementares. A primeira adota uma postura proativa, centrada em investimentos em tecnologia, inovação e desenvolvimento de produtos circulares, com o objetivo de antecipar tendências e assumir posição de liderança setorial. Em contraste, a segunda constrói sua trajetória a partir da reciclagem mecânica e da logística reversa de garrafas PET, avançando posteriormente para a reciclagem química como forma de promover o fechamento do ciclo dos materiais. Enquanto a Empresa A enfatiza a geração de valor por meio da inovação e do posicionamento estratégico, a Empresa B evidencia uma evolução operacional orientada pela reinserção contínua de materiais no sistema produtivo.

As práticas descritas encontram respaldo na literatura ao se relacionarem com as ecoinovações cíclicas e regenerativas, conforme apresentado por Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018) e Hofstra e Huisinigh (2014), bem como com a concepção de modelo restaurativo e regenerativo que mantém produtos e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor, segundo a Ellen MacArthur Foundation (2019). Também se articulam com a centralidade dos 3Rs proposta por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), com a definição de logística reversa como instrumento essencial para reinserção de materiais no ciclo produtivo, conforme Genovese *et al.* (2017) e Wang, Burke e Zhang (2022), e com a discussão sobre o fechamento de ciclos de materiais apresentada por Korhonen *et al.* (2018). Tais fundamentos teóricos justificam as práticas analisadas ao demonstrar que elas se alinham aos princípios estruturantes da EC.

Dessa forma, pode-se constatar que apesar das diferenças estratégicas e operacionais, ambas as empresas apresentam aderência consistente aos fundamentos da EC, evidenciando que múltiplas trajetórias podem convergir para a transição de um modelo linear para um modelo circular de produção e consumo.

Ao analisar as visões de longo prazo relacionadas à Economia Circular, observa-se que a Empresa A e a Empresa B adotam direcionamentos estratégicos distintos, porém convergentes quanto à ampliação da circularidade. A Empresa A estrutura sua projeção futura na expansão do uso de matérias-primas recicladas e renováveis, no investimento em tecnologias avançadas e no desenvolvimento de produtos alinhados a esse modelo, incorporando ainda programas de logística reversa e certificações ambientais como instrumentos de consolidação de liderança. Em contrapartida, a Empresa B fundamenta seu planejamento em marcos temporais definidos, com ênfase na sustentabilidade integrada à estratégia organizacional, priorizando energia renovável, substituição de insumos fósseis e aperfeiçoamento contínuo de práticas produtivas. Enquanto a primeira privilegia a diferenciação por meio de inovação e posicionamento estratégico, a segunda orienta sua atuação por uma transição progressiva sustentada por metas de longo prazo.

As diretrizes apresentadas encontram respaldo nos fundamentos teóricos da EC ao se relacionarem com a eliminação de resíduos e poluição, a manutenção de materiais em uso e a regeneração de sistemas naturais, conforme proposto pela Ellen MacArthur Foundation (2019). Também se articulam com a relevância da logística reversa para o fechamento dos ciclos de materiais, segundo Genovese *et al.* (2017), com a noção de ecoinovações regenerativas que promovem geração de valor em longo prazo, descrita por Hofstra e Huisinigh (2014), com a defesa da transição para energias renováveis como elemento essencial da circularidade, apresentada por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), e com a necessidade de adaptação de modelos de negócios para sustentar práticas circulares, conforme Elia, Gnoni e Tornese (2017). Dessa forma, as estratégias delineadas mantêm relação direta com os pressupostos conceituais que estruturam a transição para sistemas produtivos mais sustentáveis.

Assim, conclui-se que, embora orientadas por enfoques estratégicos distintos, as duas empresas demonstram alinhamento consistente com os princípios da EC, evidenciando que diferentes trajetórias podem sustentar a consolidação de práticas circulares no longo prazo.

A análise das práticas voltadas à promoção da EC no desenvolvimento de embalagens revela abordagens estratégicas distintas entre a Empresa A e a Empresa B. A Empresa A adota um modelo estruturado e proativo, evidenciado pelo desenvolvimento de embalagem 100% reciclável, pela incorporação de resinas recicladas, pela redução de espessura de materiais e por investimentos significativos em maquinário e parcerias na cadeia produtiva. Essas ações indicam integração entre design, inovação tecnológica e articulação com *stakeholders*. Em contraste, a Empresa B apresenta atuação condicionada às dinâmicas de mercado, oferecendo alternativas mais sustentáveis, como embalagens monomateriais e certificadas, ainda que reconheça limitações relacionadas ao custo e à adesão dos clientes. Enquanto a primeira consolida uma estratégia orientada à transformação estrutural do modelo produtivo, a segunda opera por meio de adaptação gradual às condições econômicas e à demanda.

As estratégias descritas mantêm relação direta com o design para circularidade proposto pela Ellen MacArthur Foundation (2019), com a aplicação dos 3Rs apresentada por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) e com a eficiência de recursos discutida por Wu *et al.* (2014). Também se vinculam à perspectiva de ecoinovações cíclicas e regenerativas voltadas ao fechamento de ciclos de materiais, conforme Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018), à compreensão da inovação sistêmica e do envolvimento da cadeia de valor destacada por Heyes *et al.* (2018) e Rajput e Singh (2019), aos entraves econômicos e estruturais apontados por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) e à noção de transição gradual para a circularidade descrita por Dantas *et al.* (2021). Esses referenciais fundamentam teoricamente as práticas observadas, evidenciando sua aderência aos pressupostos da EC.

Diante desse cenário, verifica-se que ambas as empresas expressam alinhamento com os fundamentos da EC no desenvolvimento de embalagens, ainda que por trajetórias estratégicas distintas, demonstrando a multiplicidade de caminhos possíveis para a incorporação de princípios circulares no contexto empresarial.

O Quadro 9 apresenta um comparativo entre as Empresas A e B e a relação com a teoria no aspecto que envolve estratégias ou práticas da EC que são utilizadas no processo de desenvolvimento de embalagens.

Dimensão	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Inovação em produto	Lançamento do Ecoprime, embalagem 100% reciclável e encolhível.	Desenvolvimento de estruturas mais sustentáveis (ex.: monomateriais) para clientes.	Ellen MacArthur Foundation (2019): desenvolvimento como chave para circularidade.
Materiais	Uso de resinas recicladas certificadas; redução da espessura dos filmes.	Oferta de estruturas que facilitam a reciclagem, embora custo limite a adoção.	Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016): redução do consumo de matéria-prima como eixo da EC.
Processos	Investimento de R\$ 30 milhões em maquinário para reciclagem e reaproveitamento.	Produção ajustada às demandas de clientes, ainda limitada por custos.	Vimal <i>et al.</i> (2022): necessidade de inovação tecnológica para a EC.
Stakeholders	Parcerias com fornecedores, recicladoras e certificadoras; engajamento interno.	Propostas de embalagens mais sustentáveis apresentadas diretamente a clientes.	Genovese <i>et al.</i> (2015): colaboração Inter organizacional como pilar da circularidade.

Quadro 11: Estratégias ou práticas de economia circular no desenvolvimento de embalagens

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise dos *stakeholders* envolvidos na estratégia de EC evidencia configurações organizacionais distintas entre a Empresa A e a Empresa B. A Empresa A estrutura sua atuação a partir da articulação entre atores internos, como diretoria e áreas técnicas, e uma rede diversificada de agentes externos, incluindo fornecedores certificados, recicladoras, cooperativas, laboratórios, certificadoras ambientais e clientes, os quais influenciam diretamente o desenvolvimento de soluções sustentáveis. Em contraste, a Empresa B concentra sua estratégia em uma governança corporativa formalizada, na qual a área de sustentabilidade possui caráter transversal e interage com inovação, P&D, produção e alta gestão, contando ainda com a participação da família controladora em processos decisórios periódicos. Enquanto a primeira enfatiza a integração ao longo da cadeia de valor com forte participação de parceiros externos, a segunda destaca a coordenação interna e o alinhamento estratégico em múltiplas unidades operacionais.

A relevância atribuída aos diferentes atores mantém relação com a compreensão de que a EC depende da articulação entre níveis micro, meso e macro para viabilizar fluxos circulares de materiais, energia e informação, conforme Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018). Também se vincula à abordagem sistêmica da circularidade descrita por Ellen MacArthur Foundation (2019), que ressalta a colaboração entre empresas, fornecedores, clientes e organizações certificadoras para preservar o valor dos recursos, bem como aos conceitos de simbiose industrial e colaboração intersetorial apresentados por Elia, Gnoni e Tornese (2017), que

ênfatizam a cooperação entre setores e níveis hierárquicos na consolidação de cadeias circulares. Esses fundamentos teóricos sustentam a centralidade dos *stakeholders* como elemento estruturante das estratégias analisadas.

Verifica-se, portanto, que ambas as empresas demonstram alinhamento com os pressupostos da EC ao reconhecerem a importância da cooperação multissetorial e da integração organizacional, ainda que adotem arranjos institucionais distintos para operacionalizar essa diretriz.

O Quadro 10 apresenta um comparativo com três tipos de *stakeholders* entre as empresas A e B e a relação com a teoria.

Categoria	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Internos	Diretoria; P&D; Engenharia; Qualidade; Marketing.	Área corporativa de sustentabilidade; P&D (inovação e cotidiano); produção.	Elia, Gnoni e Tornese, 2017: stakeholders internos como decisores-chave.
Externos	Fornecedores certificados; recicladoras; cooperativas; certificadoras; clientes.	Clientes (parceiros estratégicos); empresas de reciclagem (DEC, pirólise); diretoria familiar.	Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018): importância de múltiplos atores para viabilizar circularidade.
Governo	Planejamento estratégico alinhado às tendências sustentáveis.	Reuniões semestrais entre diretoria, sustentabilidade e inovação.	Wang, Burke e Zhang (2022): Governos podem criar leis, oferecer incentivos e garantir infraestrutura para apoiar o <i>design</i> circular e a reciclagem.

Quadro 12: Principais *stakeholders* na estratégia de economia circular

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise das práticas de conscientização interna revela abordagens distintas entre a Empresa A e a Empresa B na promoção da EC junto a seus colaboradores. A Empresa A adota um modelo estruturado baseado em treinamentos periódicos que abordam fundamentos conceituais, inovações setoriais e diretrizes estratégicas, integrando tais conteúdos às rotinas das áreas produtivas e de desenvolvimento. Essa dinâmica favorece a incorporação técnica da circularidade às operações. Em contrapartida, a Empresa B implementa campanhas recorrentes com foco na sensibilização cultural, enfatizando descarte adequado, coleta seletiva e reutilização, apoiadas por materiais visuais e ações comunicacionais internas e externas. Enquanto a primeira privilegia capacitação formal orientada à prática organizacional, a segunda investe em comunicação contínua voltada à transformação de percepções e comportamentos.

As iniciativas descritas mantêm relação com a compreensão de que a transição para a EC requer mudanças culturais e comportamentais além de avanços tecnológicos, conforme Khan e Haleem (2021). Também se articulam com o conceito de educação corporativa e engajamento de stakeholders internos apresentado por Dokter, Thuvander e Rahe (2021), com a perspectiva de comunicação integrada para sustentabilidade defendida por Vimal *et al.* (2022) e com a ênfase na formação e no envolvimento coletivo destacada por Jönbrink (2020) e Spreafico (2022). Esses referenciais teóricos fundamentam as estratégias adotadas ao evidenciar que a consolidação de práticas circulares depende da difusão de conhecimento e da mobilização organizacional.

Dessa forma, ambas as empresas demonstram alinhamento com os pressupostos da EC ao reconhecerem a conscientização interna como elemento estratégico para sustentar a transformação organizacional e fortalecer a cultura voltada à circularidade.

A análise das estratégias de conscientização entre parceiros evidencia abordagens diferenciadas entre a Empresa A e a Empresa B na promoção da EC. A Empresa A adota uma prática mais personalizada, baseada em diálogos técnicos durante negociações e projetos conjuntos, orientando parceiros sobre certificações, requisitos de mercado e tendências, reforçando a operacionalização de soluções circulares. Em contraste, a Empresa B prioriza uma abordagem ampla e institucional, utilizando apresentações, visitas técnicas, palestras, programas de conscientização e campanhas internas, com foco na integração de clientes e recicladoras no ecossistema circular. Enquanto a primeira busca engajamento profundo e técnico, a segunda enfatiza a difusão cultural e a comunicação contínua dos valores e práticas da EC.

As práticas adotadas refletem conceitos teóricos que destacam a necessidade de articulação multissetorial para viabilizar fluxos circulares de materiais, energia e informação, conforme Khan e Haleem (2021) e Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018). Também se relacionam com a capacitação e difusão de conhecimento como ferramentas para implementar a circularidade (Wang, Burke e Zhang, 2022), a importância de criar mercados confiáveis para materiais reciclados (Genovese *et al.*, 2017), a simbiose industrial e cooperação entre empresas (Elia, Gnoni e Tornese, 2017) e a comunicação integrada para sustentabilidade (Spreafico, 2022). Desafios econômicos e de escala, que limitam a adoção plena de práticas circulares, estão

alinhados com as barreiras apontadas por Diaz, Reyes e Baumgartner (2022), enquanto a construção de ecossistemas colaborativos é enfatizada por Bocken, Schuit e Kraaijenhagen (2018).

Dessa forma, ambas as empresas demonstram que a conscientização de parceiros é um vetor estratégico para a implementação da EC, evidenciando que diferentes trajetórias podem fortalecer a construção de ecossistemas circulares e a integração de práticas sustentáveis ao longo da cadeia de valor.

A análise das metas e objetivos relacionados à integração de princípios da EC evidencia abordagens complementares entre a Empresa A e a Empresa B. A Empresa A estabelece metas explícitas e quantitativas, voltadas ao aumento do uso de matérias-primas recicladas, desenvolvimento de embalagens 100% recicláveis, otimização de processos e certificações ambientais, com foco na inovação tecnológica e no estímulo à adoção de práticas sustentáveis por parceiros e clientes. Em contraste, a Empresa B adota uma estratégia baseada na oferta contínua de alternativas sustentáveis no desenvolvimento de embalagens, mesmo que não escolhidas pelo cliente, integrando a circularidade ao processo de P&D e utilizando indicadores internos de sustentabilidade, qualidade e custo. Enquanto a primeira prioriza a definição formal de objetivos e mensuração de resultados, a segunda enfatiza a incorporação transversal da circularidade nas atividades de inovação.

As práticas descritas encontram respaldo na literatura, que destaca a necessidade de metas estratégicas mensuráveis para orientar investimentos e engajamento dos *stakeholders* (Pauliuk, 2018), a centralidade dos 3Rs como princípio estruturante (Ghisellini, Cialani e Ulgiati, 2016) e a ecoinovação regenerativa para criação de valor adicional (Hofstra e Huisigh, 2014). A credibilidade institucional para fomentar mercados de insumos reciclados é enfatizada por Khan e Yu (2021), enquanto o processo gradual de oferta de alternativas sustentáveis ainda que limitadas por barreiras de mercado é descrito por Hofstra e Huisigh (2014). Além disso, Linder, Sarasini e Van Loon (2017) reforçam que indicadores claros permitem monitoramento e retroalimentação do desempenho circular. Esses fundamentos justificam as práticas adotadas ao demonstrar que a definição de metas e a integração da circularidade nos processos de inovação são compatíveis com os princípios da EC.

Dessa forma, observa-se que, embora distintas em detalhamento e operacionalização, ambas as empresas implementam estratégias que fortalecem a

circularidade em embalagens, evidenciando que diferentes caminhos podem efetivar a transição de um modelo linear para um modelo circular no setor industrial.

O Quadro 11 apresenta as metas das empresas A e B separadas por dimensões e faz uma relação com a teoria.

Dimensão	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Ambiental	Aumentar uso de matérias-primas recicladas; reduzir consumo de plástico.	Oferecer sempre alternativas sustentáveis a clientes, mesmo que não adotem.	Salvador <i>et al.</i> (2020): circularidade como redução de resíduos e insumos fósseis.
Econômica	Ampliar linhas recicláveis como o Ecoprime; tornar processos mais eficientes.	Metas associadas a custo, sustentabilidade e qualidade, ajustadas conforme viabilidade de mercado.	Loiseau <i>et al.</i> (2016): sustentabilidade vinculada à eficiência de mercado.
Organizacional	Buscar certificações e atender normas ambientais.	Metas compartilhadas entre todas as áreas do P&D e alinhadas à área corporativa de sustentabilidade.	Ko (2020): integração da EC à estratégia corporativa.
Social	Sensibilizar clientes e parceiros para uso de embalagens sustentáveis.	Divulgar objetivos para o mercado e alinhar metas com demandas de stakeholders.	Figge <i>et al.</i> (2018): engajamento de stakeholders externos como vetor de circularidade.

Quadro 13: Metas e objetivos na integração da economia circular
Fonte: Elaborado pelo autor

A análise das barreiras enfrentadas na implementação da EC evidencia diferenças significativas entre a Empresa A e a Empresa B. A Empresa A identifica como principais obstáculos os elevados custos de investimentos em equipamentos, desenvolvimento de produtos e aquisição de matérias-primas recicladas certificadas, além de desafios técnicos na adaptação de processos industriais e dificuldades em garantir a qualidade das embalagens circulares. Também observa limitações no fornecimento nacional e resistência inicial de clientes frente ao custo adicional. Em contraste, a Empresa B relata barreiras de natureza cultural e organizacional, especialmente a resistência interna de colaboradores mais antigos à adoção de novos processos produtivos e à substituição de materiais convencionais por alternativas monomateriais, mitigadas por comunicação clara e ênfase nos benefícios ambientais e comerciais. Assim, enquanto uma empresa lida principalmente com entraves econômicos e técnicos, a outra enfrenta desafios comportamentais e de gestão da mudança.

As dificuldades relatadas encontram respaldo na literatura, que destaca a complexidade da transição para modelos circulares e os diferentes tipos de barreiras

que podem surgir. Entraves econômicos e de competitividade entre insumos virgens e reciclados são apontados por Gagnon *et al.* (2022), enquanto a necessidade de avanços em ecoinovação para superar limitações técnicas é discutida por Hofstra e Huisingh (2014). Resistências comportamentais e culturais são evidenciadas por Khan e Haleem (2021), e a articulação de toda a cadeia de valor como condição para viabilizar a circularidade é enfatizada por Wang, Burke e Zhang (2022). Essas referências justificam as práticas observadas, mostrando que os desafios enfrentados pelas empresas estão diretamente relacionados aos fatores econômicos, técnicos e culturais destacados na fundamentação teórica.

A análise evidencia que, embora distintas em natureza e magnitude, as barreiras enfrentadas refletem a complexidade estrutural da EC no setor de embalagens. A adoção de estratégias integradas, envolvendo inovação tecnológica, engajamento da cadeia de valor e programas de conscientização, é essencial para superar os entraves e avançar na transição para modelos de produção e consumo mais circulares.

O Quadro 12 apresenta um comparativo entre as barreiras encontradas pelas empresas A e B e a relação com a teoria.

Tipo de barreira	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Econômica	Alto custo de máquinas, insumos reciclados e desenvolvimento de novos produtos.	Custo de estruturas diferenciadas, explicação necessária para justificar mudanças.	Gagnon <i>et al.</i> (2022): custo como barreira central da circularidade.
Técnica	Adaptação de processos industriais e garantia de qualidade.	Resistência de operadores a novos processos produtivos (ex.: monomateriais).	Joustra <i>et al.</i> (2022): desafios técnicos e de know-how na transição circular.
Mercado/Clientes	Resistência de clientes a adotar embalagens sustentáveis devido ao preço adicional.	Clientes podem aceitar apenas quando compreendem o valor agregado.	Cordella <i>et al.</i> (2021): mercado ainda não preparado para custos da circularidade.
Fornecedores	Escassez de fornecedores nacionais preparados para demandas de EC.	Menor relevância, pois controla parte da reciclagem internamente.	Wang, Burke e Zhang (2022): importância da infraestrutura para garantir circularidade.

Quadro 14: Barreiras na implementação da economia circular

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia que a Empresa A adota uma estratégia restritiva e seletiva na escolha de materiais, priorizando resinas poliolefinicas como polietileno (PE) e polipropileno (PP) por sua elevada reciclabilidade e aplicabilidade

em embalagens flexíveis, bem como polímeros de alta molaridade que facilitam a reciclagem e aumentam a eficiência do reaproveitamento. Em contraste, a Empresa B apresenta uma abordagem mais abrangente, utilizando uma variedade de materiais, incluindo PET, BOPP, PP, PE, combinações de filmes metalizados e não metalizados, além de resinas recicladas e plásticos rígidos. Enquanto a Empresa A concentra-se em maximizar a reciclabilidade e funcionalidade da embalagem, a Empresa B busca flexibilidade para atender diferentes mercados, enfrentando desafios regulatórios e de disponibilidade de insumos reciclados.

As escolhas de materiais encontram respaldo teórico ao se relacionarem com a viabilização da circularidade e o desempenho ambiental do ciclo de vida do produto. A seleção de materiais compatíveis com reciclagem é destacada como determinante para a circularidade por Offerdinger, Dlugoborskyte e Herstatt (2021), enquanto a importância das decisões de design e insumos para o desempenho ambiental posterior é enfatizada por Salvador *et al.* (2020). A priorização de polímeros recicláveis e o design para circularidade estão alinhados às diretrizes da Ellen MacArthur Foundation (2019), e o desenvolvimento de soluções que conciliam funcionalidade e reciclabilidade se conecta com a ecoinovação regenerativa descrita por Hofstra e Huisinigh (2014). A literatura também reconhece barreiras legais e institucionais à expansão da circularidade (Gagnon *et al.*, 2022) e dilemas regulatórios e ambientais relacionados ao uso de determinados materiais (Sumter *et al.*, 2021), justificando as decisões estratégicas observadas nas empresas.

Observa-se que ambas as empresas traduzem os princípios da EC em escolhas concretas de materiais, cada uma adaptando sua estratégia às demandas de mercado, aos requisitos regulatórios e à viabilidade técnica. A gestão criteriosa dos insumos evidencia que o desenvolvimento de embalagens circulares envolve equilibrar reciclabilidade, desempenho e conformidade, sendo estas decisões centrais para a efetividade da transição para modelos de produção mais circulares.

O quadro 13 apresenta características comparativas da utilização de materiais entre as empresas A e B e faz uma relação com a teoria.

Categoria	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Plásticos principais	PE e PP.	PET, BOPP, PP, PE.	Spreafico (2022): escolha de materiais com foco em reciclabilidade.
Propriedades	Polímeros de alta molaridade para facilitar reciclagem.	Diferentes estruturas (metalizado, transparente, mate), conforme aplicação e função de barreira.	Ellen MacArthur Foundation (2019): <i>design</i> para reciclagem e funcionalidade.
Reciclados	Uso de resinas recicladas, ainda de forma limitada.	Resinas recicladas pós-industriais e de cooperativas; restrições regulatórias (ex.: Anvisa).	Gagnon <i>et al.</i> (2022): entraves regulatórios e tecnológicos limitam circularidade.
Restritos	Não mencionado.	PVC não utilizado em embalagens por restrições legais e ambientais, embora seja aplicado em outros setores (ex.: canos).	

Quadro 15: Tipos de materiais e componentes utilizados
Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia que a Empresa A adota uma estratégia focada em controle da cadeia de suprimentos, seleção criteriosa de fornecedores e solicitação de comprovações de origem para assegurar a utilização de materiais renováveis ou reciclados, enfrentando limitações de disponibilidade e rastreabilidade no mercado. Em contraste, a Empresa B prioriza a autonomia operacional por meio da implementação de reciclagem mecânica e química, assim como experiências com insumos renováveis, como o polietileno verde, superando parcialmente as restrições de fornecimento, mas lidando com desafios relacionados a custo, escala e regulação. Enquanto a Empresa A enfatiza confiabilidade e governança, a Empresa B investe em infraestrutura própria e tecnologias emergentes para reduzir a dependência de matérias-primas virgens.

As práticas observadas encontram respaldo teórico ao se relacionarem com mecanismos de governança, rastreabilidade e ecoinovação. A literatura destaca a importância da inovação tecnológica e do controle da cadeia de suprimentos para assegurar a credibilidade no uso de materiais circulares (Gagnon *et al.*, 2022; Laurenti *et al.*, 2015; Mohagheghian *et al.*, 2021). A aplicação de critérios de transparência e rastreabilidade está em consonância com Dumée (2022) e Khan *et al.* (2021), enquanto o fechamento de ciclos materiais e a ecoinovação cíclica, que reduzem a dependência de insumos virgens ao reinserir resíduos no processo produtivo, são abordados por Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018) e Hofstra e Huisinigh (2014). Tais fundamentos teóricos justificam as estratégias adotadas, evidenciando alinhamento com princípios estruturantes da EC.

Verifica-se que, apesar das abordagens distintas, ambas as empresas avançam na integração de materiais renováveis e reciclados de maneira a fortalecer a circularidade, equilibrando disponibilidade de insumos, governança e inovação tecnológica. Essa combinação de esforços demonstra que múltiplas trajetórias podem contribuir para a redução da dependência de fontes virgens e o fortalecimento da EC no setor de embalagens.

O Quadro 14 apresenta um comparativo entre as empresas A e B e a relação com a teoria no aspecto de garantir que a origem dos materiais utilizados seja de fontes renováveis.

Estratégia	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Rastreabilidade	Seleção de fornecedores que declaram práticas sustentáveis; solicitação de documentos comprobatórios.	Utilização parcial de PE verde da Braskem (cana-de-açúcar), limitado por custo e oferta instável.	Jugend <i>et al.</i> (2020): rastreabilidade como elemento-chave da circularidade.
Reciclagem mecânica	Uso ainda limitado, dependente de fornecedores externos.	Produção própria com aparas internas e insumos de cooperativas; PCR (Pós-Consumo Reciclado) até 30%.	Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018): reciclagem como estratégia de fechamento do ciclo.
Reciclagem química	Não mencionado.	Pirólise para transformação de resíduos em óleo e posterior geração de resina.	Pérez-Ortega <i>et al.</i> (2021): inovação tecnológica para maior autonomia circular.
Limitações	Dependência de disponibilidade no mercado nacional.	Dependência de preço, escala e regulamentação.	Gagnon <i>et al.</i> (2022): infraestrutura e custo como entraves centrais.

Quadro 16: Garantia de origem renovável dos materiais

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia que a Empresa A concentra-se em benefícios econômicos e estratégicos da EC, priorizando a eficiência produtiva, o reuso de resinas e a otimização de processos internos, resultando em ganhos financeiros e fortalecimento da imagem institucional. Em contrapartida, a Empresa B enfatiza os impactos ambientais e sociais, destacando a redução da poluição, a retirada de plásticos do meio ambiente, a diminuição da dependência de recursos fósseis e a preservação de recursos para futuras gerações. Enquanto a Empresa A foca na operacionalização da circularidade e competitividade, a Empresa B direciona seus esforços para sustentabilidade e responsabilidade intergeracional.

As práticas observadas encontram respaldo teórico ao se relacionarem com os múltiplos benefícios da EC, abrangendo aspectos ambientais, econômicos e sociais. A literatura aponta que a circularidade contribui para a redução de impactos ambientais, prolongamento do ciclo de vida dos produtos, preservação do valor dos materiais e geração de novas oportunidades de negócio (Batwara *et al.*, 2022; Evrard *et al.*, 2021; Gagnon *et al.*, 2022; Jugend *et al.*, 2020). Além disso, o desenvolvimento sustentável é reforçado pelo equilíbrio entre consumo atual e capacidade de regeneração do planeta (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Tais fundamentos teóricos justificam a adoção de estratégias que promovem eficiência, reaproveitamento de materiais, mitigação de impactos ambientais e fortalecimento institucional.

Observa-se que, apesar das abordagens distintas, ambas as empresas ampliam os benefícios associados à EC, integrando ganhos econômicos, sociais e ambientais no processo de desenvolvimento de embalagens. Essa articulação evidencia que diferentes trajetórias podem convergir para maximizar a circularidade e fortalecer a sustentabilidade no setor.

O Quadro 15 apresenta os benefícios da EC pelo ponto de vista das empresas A e B e é feita uma relação do a literatura.

Dimensão	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Ambiental	Redução do consumo de matéria-prima virgem; reaproveitamento de resinas.	Retirada de plásticos do meio ambiente; diminuição de lixões e poluição.	Batwara <i>et al.</i> (2022): circularidade como estratégia de redução de impactos ambientais.
Econômica	Investimentos iniciais altos, mas ganhos de eficiência no médio/longo prazo.	Redução de custos indiretos ao evitar desperdício de recursos fósseis.	Evrard <i>et al.</i> (2021): benefícios econômicos surgem de eficiência e inovação.
Social/Intergeracional	Reforço da imagem institucional e reputação de marca sustentável.	Preservação de recursos para futuras gerações; impacto positivo na sociedade.	Jugend <i>et al.</i> (2020): circularidade como meio de assegurar bem-estar futuro.
Organizacional	Fortalecimento da cultura interna e competitividade no mercado.	Estímulo à responsabilidade coletiva e defesa da circularidade em fóruns setoriais.	Diaz <i>et al.</i> (2021): integração de <i>stakeholders</i> como fator chave para EC.

Quadro 17: Benefícios da EC no desenvolvimento de embalagens: comparação entre as empresas
Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia que a Empresa A apresenta um perfil de custos elevado, concentrado em investimentos em máquinas, adaptação de processos, desenvolvimento de produtos e aquisição de resinas recicladas, refletindo uma estratégia de capital intensivo e dependente da escala e do reconhecimento de valor pelo cliente. Em contraste, a Empresa B enfrenta custos menos intensivos em investimento direto, com maior impacto relacionado ao preço das matérias-primas renováveis ou recicladas, volatilidade de oferta e esforços comerciais e organizacionais para adaptação de processos e treinamento de colaboradores. Enquanto a Empresa A assume riscos financeiros iniciais significativos, a Empresa B busca diluir custos em escala e transferir parte deles ao mercado, evidenciando diferentes abordagens estratégicas na implementação da EC.

As práticas observadas encontram respaldo teórico ao indicarem que os custos da circularidade vão além do investimento inicial em infraestrutura, incluindo custos operacionais, de adaptação, transação e organizacionais, com retorno financeiro esperado apenas no médio e longo prazo, especialmente na ausência de incentivos regulatórios ou escala de aquisição (Gagnon *et al.*, 2022). Além disso, a sensibilidade ao preço e a resistência do consumidor constituem barreiras adicionais à adoção de soluções circulares, como apontado por Urbinati, Chiaroni e Toletti (2019). Tais fundamentos teóricos justificam a necessidade de planejamento estratégico, gestão de riscos financeiros e coordenação de mercado para viabilizar a implementação da EC.

Observa-se que, apesar das diferenças na estrutura e na origem dos custos, ambas as empresas enfrentam desafios econômicos e estratégicos similares, evidenciando que a transição para práticas circulares exige equilíbrio entre investimentos, eficiência operacional e aceitação do mercado para consolidar a circularidade no setor de embalagens.

Analisando as respostas das duas empresas, o Quadro 16 apresenta um comparativo entre os custos das empresas A e B.

Categoria de custo	Empresa A	Empresa B
Investimento em máquinas/infra	Elevado — aquisição e adaptação de linhas (relato ≈ 30 milhões).	Baixo a moderado — muitas mudanças podem ser processuais; Investimento reduzido quando apenas troca de material.
Custo da matéria-prima	Aumento (resinas certificadas/especiais).	Aumento significativo e volátil (resinas verdes/recicladas + oferta limitada).
Custo de processamento	Aumento inicial (energia, manutenção, perdas).	Variação conforme processo; pode manter-se similar se processo não mudar, mas insumos mais caros elevam os custos.
Custos de qualidade/adaptação técnica	Testes, validação, consultorias, controle laboratorial.	Treinamento, ajustes de produção e validação regulatória.
Custos de certificação/conformidade	Certificações, auditorias externas.	Mesmas demandas; potencial resistência regulatória em alguns usos (ex.: ANVISA).
Custos de transação/comerciais	Esforço comercial para vender linhas circulares (marketing, vendas).	Esforço grande para convencer clientes e repassar custo; risco de perda de vendas.
Custos de oportunidade/ risco de mercado	Risco de obsolescência de investimento se clientes não adotarem.	Risco de perda de volume se o mercado não aceitar preço maior.
Payback/benefício esperado	<i>Payback</i> longo-médio prazo; ganhos por imagem e novo mercado.	<i>Payback</i> condicionado à escala; potencial de lucro futuro com massificação.

Quadro 18: Comparativo dos custos associados a práticas da EC
Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia que a Empresa A concentra esforços na redução de resíduos sólidos e no reaproveitamento de água, adotando uma abordagem mais operacional e pragmática de mitigação de impactos ambientais, enquanto a Empresa B adota uma estratégia mais estruturada e abrangente, com programas de avaliação de ciclo de vida, metas de longo prazo para emissões de carbono e maior uso de energia renovável. A Empresa A prioriza a gestão interna de recursos e resíduos, enquanto a Empresa B busca integrar compromissos ambientais corporativos com padrões internacionais de descarbonização, demonstrando níveis distintos de maturidade em relação à implementação da EC.

As práticas observadas encontram respaldo teórico ao se relacionarem com a eficiência de recursos como pilar central da EC, associando-se ao reaproveitamento de materiais e gestão hídrica (Dumée, 2022; Khan *et al.*, 2021). Além disso, a mensuração sistemática de impactos ambientais e o monitoramento de emissões de carbono são destacados como instrumentos essenciais para assegurar a credibilidade e efetividade das iniciativas circulares (Linder, Sarasini e Van Loon, 2017). Tais fundamentos teóricos justificam a adoção de práticas voltadas à redução de resíduos, uso racional de recursos e mitigação de emissões de gases de efeito estufa.

Observa-se que, embora as empresas adotem estratégias distintas, ambas contribuem para a redução de impactos ambientais relevantes, evidenciando que

diferentes trajetórias de implementação da EC podem gerar benefícios ambientais significativos e reforçar a sustentabilidade no setor de embalagens.

O Quadro 17 resume os impactos ambientais que as empresas A e B buscam reduzir com a EC.

Categoria de impacto	Empresa A	Empresa B
Resíduos sólidos	Redução da geração de resíduos e reaproveitamento de materiais.	Reciclagem mecânica e química, com metas corporativas de reaproveitamento.
Uso de recursos hídricos	Tratamento e reuso da água industrial.	Não enfatizado, mas inclui eficiência em consumo.
Emissões de carbono	Redução considerada, mas não detalhada.	Monitoramento via LCA; projetos com emissão negativa; metas até 2050.
Energia	Não detalhado.	64% da energia proveniente de fontes renováveis (solar e eólica).
Resíduos tóxicos	Não mencionado.	Não trabalhado explicitamente.

Quadro 19: Comparativo dos impactos que buscam reduzir com a EC
Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia que a Empresa A estabelece parcerias mais direcionadas e operacionais, concentrando-se em recicladoras para reinserir resíduos plásticos no ciclo produtivo, enquanto a Empresa B desenvolve uma rede mais ampla e estruturada, envolvendo cooperativas, certificações internacionais, fornecedores de materiais sustentáveis e infraestrutura própria de pirólise e reciclagem mecânica. A primeira adota uma abordagem prática e localizada, focada na eficiência operacional, enquanto a segunda busca articular múltiplos atores e processos, promovendo integração em escala global e maior robustez na implementação da EC.

As práticas observadas encontram respaldo teórico ao se relacionarem com a colaboração interorganizacional como mecanismo central para viabilizar o fluxo de materiais secundários e legitimar práticas ambientais (Elia, Gnoni e Tornese, 2017; Ellen MacArthur Foundation, 2019; Khan e Haleem, 2021; Wang, Burke e Zhang, 2022). A concepção de “simbiose industrial” também fundamenta a integração de diferentes atores para otimizar fluxos de materiais e energia (Sandoval, Jaca e Ormazabal, 2018). Tais referências justificam a adoção de parcerias estratégicas com recicladoras, cooperativas, fornecedores e certificadoras, demonstrando alinhamento com os princípios estruturantes da EC.

Verifica-se que, embora os níveis de maturidade e abrangência das parcerias sejam distintos, ambas as empresas fortalecem a circularidade de suas operações por

meio da colaboração com atores estratégicos, evidenciando que alianças bem estruturadas são essenciais para consolidar ciclos de materiais sustentáveis.

O Quadro 18 apresenta de forma resumida um comparativo entre as empresas A e B no aspecto a parcerias.

Categoria	Empresa A	Empresa B
Recicladoras	Parcerias para reaproveitar plásticos em embalagens de segunda linha.	Contratos com cooperativas (ex.: Pindamonhangaba) para abastecer reciclagem mecânica e planta de pirólise.
Fornecedores sustentáveis	Não especificado.	Compra de insumos como PET verde no mercado.
Certificações	Não mencionadas.	ISCC Plus já obtida; em processo de novas certificações nacionais e internacionais.
Estrutura interna	Não relatada.	Autossuficiência parcial com reciclagem mecânica e química (pirólise).

Quadro 20: Comparativo das Parcerias para promover a EC

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia que a Empresa A concentra-se na durabilidade técnica das embalagens, priorizando materiais mais resistentes que permitem múltiplos ciclos de uso e incentivam o reuso, enquanto a Empresa B adota uma abordagem mais abrangente, combinando aumento da durabilidade por meio de processos produtivos, como laminação e coextrusão, com estratégias de design orientadas ao consumidor, incluindo zíperes, visores transparentes e rótulos removíveis. A primeira enfatiza a robustez e confiabilidade das embalagens, enquanto a segunda integra aspectos de aceitação social e *redesign* funcional, demonstrando diferentes caminhos para ampliar a vida útil das embalagens no contexto da EC.

As práticas adotadas encontram respaldo teórico ao se relacionarem com o *design* circular e a extensão da vida útil dos produtos, visando reduzir a demanda por matérias-primas virgens e otimizar o uso de recursos naturais (Asif *et al.*, 2021). O papel do consumidor e do mercado na condução do *redesign* de embalagens está alinhado às discussões de circularidade voltadas ao reuso e à valorização pós-uso (Amend *et al.*, 2022). Outras referências destacam mecanismos de durabilidade, modularidade e facilidade de desmontagem como estratégias centrais para prolongar o ciclo de vida de embalagens (Bressanelli *et al.*, 2020; Joustra, Flipsen e Balkenende, 2021), justificando a adoção das abordagens descritas.

Observa-se que, embora as estratégias das empresas variem em escopo e complexidade, ambas contribuem para a ampliação da vida útil das embalagens,

fortalecendo a circularidade ao reduzir desperdícios e otimizar o uso de recursos ao longo do ciclo de vida.

O Quadro 19 apresenta de forma resumida as estratégias que as empresas A e B utilizam e também foi realizado um comparativo com o que existe na teoria.

Categoria	Empresa A	Empresa B	Relação com a teoria
Durabilidade técnica	Embalagens resistentes e de qualidade, possibilitando mais de um ciclo de uso.	Processos como laminação e coextrusão que aumentam a durabilidade dos filmes e potes.	Asif <i>et al.</i> (2021): prolongar o ciclo de vida como eixo da circularidade.
Design para reuso	Não detalhado.	Zíperes em embalagens flexíveis; visores transparentes; rótulos removíveis para facilitar reutilização.	Amend <i>et al.</i> (2022): modularidade como facilitadores do reuso.
Reuso pelo consumidor	Incentivo indireto via resistência do material.	Estímulo ao uso secundário (ex.: potes, embalagens em pé mais reutilizadas).	Joustra, Flipsen e Balkenende (2021): papel ativo do consumidor no ciclo de circularidade.

Quadro 21: Comparativo das estratégias para estender a vida útil das embalagens

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia que a Empresa A concentra-se em soluções inovadoras e pioneiras de embalagens circulares, como o Ecoprime, embalagens de queijos reaproveitáveis e transformação interna de resíduos plásticos em produtos secundários, reforçando ciclos técnicos fechados e reaproveitamento interno. Em contraste, a Empresa B adota uma abordagem voltada à escala industrial, utilizando materiais coletados em pontos de coleta seletiva, rótulos com até 50% de PCR e projetos de garrafas recicladas, integrando parceiros externos e ampliando a circularidade em diferentes mercados. Enquanto a primeira foca em inovação e reaproveitamento direto, a segunda enfatiza a integração sistêmica e o impacto em larga escala.

Essas práticas encontram respaldo teórico ao se relacionarem com a concepção de ciclos técnicos e reintrodução de materiais no processo produtivo, conforme apontado por Ellen MacArthur Foundation (2019). A integração de materiais reciclados em produtos de diferentes aplicações e a valorização de resíduos secundários estão alinhadas à literatura que enfatiza a necessidade de reconectar embalagens ao ciclo de circularidade (Genovese *et al.*, 2015; Niero e Kalbar, 2019). Tais referências justificam a adoção de estratégias que promovem eficiência no uso de recursos e extensão do ciclo de vida dos materiais.

Observa-se que ambas as empresas materializam os princípios de EC por meio de exemplos concretos de embalagens, seja por inovação interna e reaproveitamento ou por integração de recicláveis em escala industrial, evidenciando trajetórias complementares que fortalecem a circularidade e a sustentabilidade do setor.

O Quadro 20 apresenta um comparativo entre as duas empresas no que se refere a embalagens circulares.

Categoria	Empresa A	Empresa B
Exemplos de produtos	Embalagens de queijo recicladas em embalagens de gelo; Ecoprime 100% reciclável; sacos de lixo e para mudas a partir de resíduos internos.	Embalagens de biscoito feitas de materiais coletados; garrafas recicladas; rótulos de garrafa com até 50% PCR.
Inovação destacada	Ecoprime como primeira embalagem encolhível 100% reciclável no Brasil.	Uso pioneiro de PCR em rótulos e embalagens secundárias, com viabilidade de escala industrial.
Origem do material	Resíduos internos reaproveitados e reciclados.	Materiais coletados em cooperativas e coletores próprios da empresa.
Escopo de aplicação	Foco em reaproveitamento interno e produtos pioneiros.	Projetos de larga escala voltados a diferentes segmentos de mercado.

Quadro 22: Exemplos de embalagens circulares

Fonte: Elaborado pelo autor

A comparação entre as empresas revela abordagens distintas quanto à incorporação do CFD (*Circular Function Deployment*) em seus processos. A Empresa A não utiliza a metodologia em seus projetos, adotando práticas de circularidade de forma pontual e sem integração sistemática, o que indica um estágio inicial de formalização. Em contrapartida, a Empresa B apresenta sinais de adoção indireta de conceitos semelhantes ao CFD em áreas como P&D, inovação e sustentabilidade, demonstrando maior familiaridade com *frameworks* de gestão voltados à circularidade, embora ainda sem implementação estruturada. Enquanto uma concentra-se em experiências isoladas, a outra caminha para integrar critérios de circularidade no desenvolvimento de produtos.

O uso do CFD relaciona-se diretamente com a literatura que aponta metodologias estruturadas como essenciais para a incorporação sistemática de princípios de EC desde as fases iniciais de projeto, promovendo alinhamento entre inovação, sustentabilidade e requisitos de mercado (Vimal *et al.*, 2022). Esse referencial teórico justifica que a adoção de ferramentas formais pode aumentar a previsibilidade e o controle sobre o processo de integração da circularidade,

evidenciando a relevância de frameworks como o CFD para otimizar resultados ambientais e produtivos.

Observa-se que a diferença de maturidade entre as empresas quanto ao CFD reflete distintos níveis de formalização e sistematização da circularidade nos processos de desenvolvimento de embalagens, com potencial para expansão futura naquelas que ainda não adotaram a metodologia de forma estruturada.

A análise comparativa evidencia diferentes abordagens das empresas quanto à influência de políticas e regulamentos sobre a implementação da EC. A Empresa A atua de maneira reativa, adequando-se às normas vigentes, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, regulamentações estaduais e normas técnicas da ABNT, bem como exigências sanitárias da Anvisa, sem indicadores de monitoramento proativo de mudanças regulatórias. Em contrapartida, a Empresa B adota postura proativa, considerando legislações nacionais, tratados internacionais e mecanismos como a Responsabilidade Estendida do Produtor e a Lei de Incentivo à Reciclagem, além de acompanhar projetos de lei em tramitação, o que permite antecipar impactos regulatórios sobre a produção e o uso de materiais reciclados. Enquanto uma foca na conformidade imediata, a outra integra a gestão regulatória à estratégia de circularidade de forma mais abrangente.

A relevância dessa atuação encontra respaldo na literatura e na legislação, que indicam que a gestão da circularidade deve conciliar conformidade com normas existentes e capacidade de adaptação a cenários futuros. O Projeto de Lei nº 1874, de 2022, que institui a Política Nacional de Economia Circular (Brasil, 2022), reforça a necessidade de alinhamento estratégico com regulamentações emergentes, destacando o papel de tratados internacionais e políticas de incentivo à reciclagem como instrumentos para promover a logística reversa e práticas sustentáveis no desenvolvimento de embalagens.

Observa-se que a diferença de abordagem entre as empresas reflete distintos níveis de maturidade regulatória e estratégica, com maior potencial de antecipação e integração da circularidade por parte daquelas que acompanham e incorporam ativamente mudanças legislativas.

A análise comparativa evidencia diferentes percepções das empresas em relação à exigência de embalagens sustentáveis pelos clientes. A Empresa A observa interesse crescente por parte de grandes marcas e exportadores, mas enfrenta limitações na adoção prática devido ao custo adicional. Em contrapartida, a Empresa

B indica que, embora não haja exigência direta, há solicitações frequentes de alternativas, especialmente sem alumínio, ainda que nem todos os projetos avancem para homologação. Enquanto uma enfrenta barreiras econômicas na implementação de demandas explícitas, a outra registra uma demanda emergente que ainda não se traduz em requisitos formais, evidenciando diferentes níveis de interação com o mercado consumidor.

As práticas das empresas encontram respaldo na literatura que discute barreiras à adoção de produtos circulares. Zikopoulos (2022) aponta que a consciência ambiental dos consumidores ainda é insuficiente para sustentar mudanças efetivas de mercado, e Gagnon *et al.* (2022) reforçam que custos mais elevados e falta de demanda consolidada dificultam a implementação de práticas circulares. Além disso, Pretner *et al.* (2021) destacam que a percepção de produtos sustentáveis pode impactar a decisão de compra, uma vez que alguns consumidores associam materiais reciclados a menor qualidade. Evrard *et al.* (2021) complementam ao indicar que, embora consumidores valorizem aspectos ambientais, a conversão em práticas de compra ainda é parcial. Cada referência evidencia elementos teóricos que explicam as limitações e oportunidades relatadas pelas empresas na adoção de embalagens sustentáveis.

Observa-se que, apesar das diferenças na forma de interação com os clientes, ambas as empresas refletem tendências de mercado que enfrentam obstáculos estruturais, principalmente relacionados a custos e percepção de qualidade, enquanto surgem sinais de mudança que apontam para maior interesse por soluções ambientalmente responsáveis.

Um quadro comparativo entre as empresas A e B juntamente com conceitos da literatura foi elaborado para mostrar alguns aspectos relacionados com os clientes e as embalagens sustentáveis. E esse comparativo pode ser visto no Quadro 21.

Aspecto	Empresa A	Empresa B	Relação com a teoria
Exigência de clientes	Interesse de grandes marcas e exportadores, mas adesão limitada	Não exigem, mas pedem alternativas, sobretudo sem alumínio	Consciência ambiental dos consumidores ainda baixa (Zikopoulos, 2022)
Barreiras	Custo adicional impede adoção em maior escala	Projetos muitas vezes não homologados	Custos mais altos e falta de demanda consolidada são barreiras (Gagnon <i>et al.</i> , 2022)
Percepção de valor	Interesse inicial não se converte em ação devido a custo	Crescente movimento em direção a alternativas circulares	Consumidores podem associar produtos circulares a menor qualidade (Pretner <i>et al.</i> , 2021)

Quadro 23: Comparativo de alguns aspectos entre clientes e as embalagens sustentáveis
Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia diferentes formas de solicitação de embalagens sustentáveis entre as empresas. A Empresa A recebe demandas tanto por exigências contratuais e certificações ambientais quanto em negociações comerciais, além de desenvolver iniciativas internas para antecipar tendências, como o Ecoprime. Em contraste, a Empresa B identifica solicitações originadas principalmente de diretrizes estratégicas da matriz ou da alta direção dos clientes, refletindo decisões top-down com base em compromissos globais. Enquanto uma combina pressões externas e estratégias internas, a outra responde a orientações corporativas de nível superior, evidenciando distintos canais de estímulo à adoção de práticas circulares.

As práticas relatadas pelas empresas encontram respaldo teórico que enfatiza múltiplos níveis de pressão para a implementação da EC. Geissdoerfer *et al.* (2017) destacam a importância de demandas externas e estratégias internas no avanço da circularidade, enquanto Loiseau *et al.* (2016) e Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018) ressaltam o papel das pressões internacionais. Zikopoulos (2022) indica que a consciência ambiental dos consumidores ainda não é suficiente para mudanças de mercado significativas, e Gagnon *et al.* (2022) evidenciam barreiras como custos elevados e falta de demanda consolidada. Pretner *et al.* (2021) apontam que a percepção de valor de produtos circulares influencia a decisão de compra, reforçando obstáculos à adoção. Por fim, Ellen MacArthur Foundation (2019) e Joustra *et al.* (2022) recomendam a integração de ferramentas como avaliação do ciclo de vida e *design* para circularidade para apoiar decisões sustentáveis. Cada referência explica aspectos teóricos que justificam os desafios e estratégias observados.

Observa-se que, embora os canais de solicitação variem entre iniciativas internas, exigências contratuais ou diretrizes corporativas, ambas as empresas enfrentam limitações similares relacionadas a custos, percepção de qualidade e homologação, evidenciando que múltiplos fatores influenciam a implementação prática de embalagens sustentáveis.

O Quadro 22 apresenta um comparativo entre as empresas A e B no que tange à solicitação de embalagens sustentáveis por parte dos clientes e também foi realizada uma comparação com conceitos presentes na teoria.

Canal de solicitação	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Exigência contratual / certificação	Pedidos vinculados a contratos e certificações, sobretudo de grandes clientes e exportadores.	Pode ocorrer, mas é mais comum por diretriz de matriz.	Pressão em diferentes níveis (micro, meso e macro) induz a circularidade (Sandoval, Jaca e Ormazabal, 2018).
Reuniões comerciais / sugestões	Demandas surgem em negociações ou reuniões, podendo gerar projetos internos.	Clientes solicitam alternativas, mas muitas não chegam à homologação.	Barreiras de mercado: custos e demanda incerta (Gagnon <i>et al.</i> , 2022).
Diretiva de matriz / top-down	Menos frequente, mas ocorre em alguns casos específicos.	Frequente: clientes determinam embalagens sustentáveis por orientação estratégica.	Governança corporativa e modelos de negócio como indutores de circularidade (Loiseau <i>et al.</i> , 2016).
Iniciativa interna (P&D)	Desenvolvimento proativo, como o <i>Ecoprime</i> , antecipando tendências.	Também há integração de P&D com sustentabilidade em escala corporativa.	Inovação proativa e <i>design</i> para circularidade são estratégias centrais (Geissdoerfer <i>et al.</i> , 2017).
Resultado prático	Interesse elevado, mas adesão limitada pelo custo adicional.	Solicitações recorrentes, mas muitas não homologadas.	Consciência ambiental ainda insuficiente para mudança em larga escala (Pretner <i>et al.</i> , 2021).

Quadro 24: Formas de solicitação de embalagens sustentáveis

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia diferenças marcantes entre as empresas na implementação de práticas de EC. A Empresa A enfrenta desafios relacionados a altos custos de investimento em tecnologias, maquinário e matérias-primas recicladas certificadas, dificuldades técnicas para manter o desempenho das embalagens, barreiras logísticas e resistência inicial do mercado. Em contraste, a Empresa B internalizou a circularidade desde sua fundação, incorporando práticas como logística reversa, reciclagem e conscientização ambiental em sua cultura organizacional, o que minimiza obstáculos operacionais e facilita a adaptação às mudanças sem impactos significativos. Enquanto uma organização vivencia a transição para modelos circulares, a outra exemplifica os benefícios de uma trajetória historicamente alinhada à sustentabilidade.

Essas práticas e desafios encontram respaldo teórico. Gagnon *et al.* (2022) e Zikopoulos (2022) indicam que altos custos, fornecedores não preparados, dificuldades técnicas e resistência do mercado são barreiras comuns à implementação da circularidade. Pretner *et al.* (2021) ressalta que a percepção de menor qualidade de materiais reciclados pode dificultar a adoção de produtos circulares. Por outro lado,

Jiang *et al.* (2021) evidencia que empresas que internalizam a lógica circular desde sua criação desenvolvem modelos de negócio regenerativos, capazes de superar barreiras de mercado e engajar colaboradores e parceiros em práticas sustentáveis. Cada referência explica teoricamente os obstáculos e estratégias observados nas duas empresas.

A comparação mostra que a trajetória histórica e o grau de maturidade em sustentabilidade influenciam diretamente a intensidade dos obstáculos enfrentados, evidenciando que a internalização precoce da EC contribui para uma implementação mais fluida e integrada.

Um quadro contendo uma comparação das barreiras ou obstáculos que as empresas A e B tiveram foi elaborado. Nesse quadro também relação com a teoria presente na literatura. Essas informações estão presente no Quadro 23

Aspecto	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Custos de investimento	Altos custos com máquinas, tecnologias e matérias-primas recicladas.	Não identifica custos adicionais significativos.	Custos elevados são barreira estrutural à circularidade (Gagnon <i>et al.</i> , 2022).
Desafios técnicos	Garantir qualidade e desempenho equivalentes às embalagens convencionais.	Não reporta desafios técnicos relevantes.	Resistência técnica ligada ao desempenho de reciclados (Pretnier <i>et al.</i> , 2021).
Questões logísticas	Dificuldade na compra de insumos e adaptação de processos internos.	Processos já ajustados à lógica circular desde a origem.	Falta de fornecedores preparados é barreira comum (Joustra <i>et al.</i> , 2022).
Resistência de mercado	Fornecedores e clientes resistentes a soluções sustentáveis de maior custo.	Cultura de circularidade incorporada, com foco em campanhas internas.	Aceitação de mercado depende de engajamento cultural e modelos regenerativos (Zikopoulos, 2022).
Cultura organizacional	Processo de adaptação gradual à lógica circular.	Circularidade incorporada como parte do "DNA organizacional".	Empresas com cultura sustentável desde a origem enfrentam menos barreiras (Jiang <i>et al.</i> , 2021).

Quadro 25: Obstáculos para implementar a EC

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia abordagens distintas na superação de desafios para implementar a EC. A Empresa A enfrentou obstáculos internos relacionados a altos custos e limitações técnicas, que foram mitigados por investimentos planejados em novas tecnologias, materiais e processos, transformando barreiras em oportunidades estratégicas. Em contraste, a Empresa B

apresenta maturidade operacional devido à incorporação da circularidade desde a origem do negócio, enfrentando dificuldades principalmente externas, relacionadas à percepção de valor dos clientes e à disposição do mercado em pagar por soluções sustentáveis. Enquanto uma organização mobilizou recursos financeiros para viabilizar a circularidade, a outra concentra esforços na comunicação e no engajamento do mercado.

Essas práticas encontram respaldo na literatura, que destaca mecanismos de superação de barreiras na EC. Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) evidenciam que investimento em inovação e novas tecnologias é fundamental para vencer limites técnicos e de mercado, reforçando a estratégia de alocação de recursos planejada. Gagnon *et al.* (2022) indicam que altos custos e ausência de demanda consolidada requerem planejamento estratégico, alinhado à postura de investimento da Empresa A. Pretner *et al.* (2021) esclarece que a dificuldade de adoção por clientes decorre da percepção de menor qualidade ou custo elevado, aspecto identificado na experiência da Empresa B. Zikopoulos (2022) enfatiza que engajamento e campanhas educativas são essenciais para aumentar a aceitação de produtos circulares. Cada referência justifica teoricamente as práticas observadas e a forma como os desafios foram enfrentados.

O estudo das duas organizações demonstra que a superação de obstáculos depende tanto de investimentos internos e visão estratégica quanto da comunicação e valorização externa das soluções circulares, evidenciando que múltiplos fatores devem ser considerados para viabilizar a transição para modelos de produção e consumo circulares.

O quadro 24 apresenta um resumo que foi elaborado para mostrar alguns aspectos relacionadas com a literatura e como as empresas A e B superaram os desafios na implementação da EC.

Aspecto	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Estratégia principal	Investimento financeiro planejado em tecnologias e materiais.	Foco em convencer clientes sobre valor das soluções circulares.	Investimentos em inovação como chave de superação (Ghisellini, Cialani e Ulgiati, 2016).
Natureza do desafio	Custos elevados e necessidade de adaptação tecnológica.	Resistência de mercado, com foco no preço como critério decisivo.	Barreiras de custo e percepção de valor limitam a adoção (Gagnon <i>et al.</i> , 2022).
Visão adotada	Coragem e visão de futuro para sustentar mudanças.	Circularidade já no DNA, mas clientes ainda priorizam custo.	Empresas proativas superam barreiras por planejamento estratégico (Ghisellini, Cialani e Ulgiati, 2016).
Ferramentas sugeridas	Investimentos graduais e estratégicos em P&D e infraestrutura.	Engajamento e convencimento de <i>stakeholders</i> .	ACV e <i>design</i> para circularidade como instrumentos de legitimação (Ghisellini, Cialani e Ulgiati, 2016).

Quadro 26: Superação dos desafios para implementar a EC

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia diferenças significativas na gestão do ciclo de vida das embalagens entre as empresas A e B. A Empresa A adota uma postura mais reativa, sem programas estruturados de logística reversa ou incentivos formais à devolução de embalagens, restringindo-se ao acompanhamento de tendências e avaliação de possibilidades futuras, o que indica integração parcial da circularidade à estratégia operacional. Em contrapartida, a Empresa B apresenta atuação sistêmica e integrada, com responsáveis dedicados à sustentabilidade, práticas de *redesign* para maior reciclabilidade, reciclagem mecânica e avançada, e reinserção da resina reciclada em novos produtos, assumindo papel ativo na logística reversa e demonstrando aplicação operacional consolidada da EC.

Essas práticas se relacionam com a fundamentação teórica, que enfatiza a necessidade de fechar os ciclos de materiais e reduzir desperdícios em toda a cadeia produtiva (Dantas *et al.*, 2021). Bag *et al.* (2021) destacam que muitas empresas ainda se limitam a ações pontuais no pós-consumo, enquanto modelos mais abrangentes e colaborativos permitem incorporar todo o ciclo da circularidade. Cada referência fornece suporte teórico para as diferenças observadas, evidenciando que a implementação efetiva da EC depende da sistematização de processos e da integração de iniciativas desde o *design* até a reinserção dos materiais.

A análise demonstra que a gestão do ciclo de vida das embalagens requer estrutura integrada, combinando design circular, logística reversa e engajamento de

consumidores, mostrando que organizações mais maduras na EC conseguem operacionalizar a circularidade de forma contínua e sistêmica.

Para resumir as respostas e realizar um comparativo foi elaborado e pode ser visto no Quadro 25.

Aspecto	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Logística reversa	Inexistente, responsabilidade do cliente.	Atuação direta em programas de logística reversa.	Logística reversa é essencial para fechar o ciclo (Khan <i>et al.</i> , 2021).
Reciclagem/ Reutilização	Não há programa formal, apenas acompanhamento de tendências.	Reciclagem mecânica e avançada com reinserção de resinas recicladas em novas embalagens.	Fechamento de ciclos de materiais (Wang, Burke e Zhang, 2022).
Atuação estratégica	Reativa, dependendo de legislações futuras e demandas de clientes.	Proativa e sistêmica, integrando <i>design</i> , consumo, coleta e reciclagem.	Circularidade como modelo integrado de negócios (Hobson, 2016).
Maturidade da prática	Estágio inicial.	Estágio avançado, sendo referência na América Latina.	Diferenças de maturidade são comuns entre empresas em transição circular (Hofstra e Huisingh, 2014)

Quadro 27: Gestão do ciclo de vida das embalagens

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia que ambas as empresas apresentam limitações quanto ao monitoramento da relação dos clientes com a EC, embora por motivos distintos. A Empresa A não possui sistemas estruturados para rastrear o destino final das embalagens, restringindo sua atuação ao processo produtivo e limitando a integração da circularidade ao ciclo de consumo. A Empresa B, apesar de apresentar práticas consolidadas em logística reversa e reciclagem mecânica, também não acompanha o comportamento dos consumidores, revelando uma lacuna na incorporação do usuário final como agente ativo no fechamento dos ciclos de materiais.

Esse panorama se relaciona com a fundamentação teórica, que ressalta que a EC deve envolver toda a cadeia de valor, incluindo consumidores e órgãos reguladores. Dantas *et al.* (2021) destacam que a ausência de monitoramento sistemático do uso e descarte de produtos constitui um entrave para o fechamento dos ciclos. Genovese *et al.* (2015) e Wang, Burke e Zhang (2022) indicam que mecanismos de *feedback* e rastreabilidade são essenciais para redesenhar estratégias, identificar gargalos e fomentar a circularidade de forma sistêmica. Essas

referências teóricas justificam a necessidade de integração de ações que permitam acompanhar o comportamento do usuário final e aprimorar a efetividade da circularidade.

A análise demonstra que a consolidação da EC exige estratégias de engajamento e monitoramento pós-consumo, incluindo sistemas de logística reversa interativos e ferramentas digitais que possibilitem rastrear fluxos de descarte, reforçando a importância de considerar o cliente como parte ativa do ciclo circular.

A análise comparativa evidencia que as empresas apresentam níveis distintos de envolvimento dos consumidores no ciclo de vida das embalagens. A Empresa A realizou avaliações de programas de devolução e reuso, porém a baixa adesão dos clientes, especialmente micro e pequenos empreendedores, mantém as iniciativas em fase exploratória, sem programas estruturados de logística reversa ou recompra. Em contraste, a Empresa B desenvolve um projeto piloto em parceria com um grande cliente e uma cooperativa, no qual as embalagens pós-consumo são processadas e transformadas em resina PCR reinserida na cadeia produtiva, evidenciando uma estratégia de circularidade mais consolidada e integrando o consumidor como agente ativo no ciclo de reaproveitamento.

Esse cenário se relaciona com a fundamentação teórica, que enfatiza a importância do engajamento de todos os atores da cadeia de valor para a efetividade da EC. Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018) destacam a relevância da colaboração em rede e da simbiose industrial, indicando que apenas a atuação empresarial não é suficiente para fechar os ciclos de materiais. Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) reforçam que programas que incentivem a devolução de produtos podem ampliar a eficiência das cadeias de reciclagem. Essas referências justificam a necessidade de integrar consumidores e clientes nos processos circulares para consolidar práticas de reaproveitamento.

As empresas demonstram diferentes níveis de maturidade na integração do consumidor à circularidade. Enquanto uma adota postura exploratória e reativa diante da baixa adesão, a outra implementa ações estruturadas e colaborativas, mostrando que estratégias proativas podem gerar benefícios ambientais e competitivos no contexto da EC.

O Quadro 26 apresenta alguns elementos do envolvimento dos clientes em relação ao ciclo de vida das embalagens e, nesse sentido, foi realizado um

comparativo das respostas das empresas A e B juntamente com uma relação com a teoria.

Aspecto	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Programas de devolução	Avaliou incentivos e logística reversa, mas sem adesão significativa.	Projeto piloto com cliente e cooperativa para recolher embalagens e transformá-las em resina PCR.	Engajamento da cadeia de valor é essencial (Elia, Gnoni e Tornese, 2017).
Perfil dos clientes	Majoritariamente micro e pequenos empreendedores, pouco engajados em iniciativas de circularidade.	Grandes clientes dispostos a cooperar em projetos de economia circular.	Diferentes perfis de clientes impactam viabilidade de práticas circulares (Vihma e Moora, 2020).
Estágio atual	Exploratório, sem iniciativas consolidadas.	Em fase de testes, com resultados positivos e tendência de expansão.	Programas de devolução aumentam eficiência do ciclo (Ghisellini, Cialani e Ulgiati, 2016).
Nível de maturidade	Baixo, com iniciativas pontuais.	Médio/alto, com parcerias estruturadas em andamento.	Circularidade exige cooperação entre empresas, clientes e cooperativas – várias empresas (Wang, Burke e Zhang, 2022).

Quadro 28: Envolvimento dos clientes no ciclo de vida das embalagens
Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia abordagens distintas na coleta e utilização de *feedback* dos clientes em relação às embalagens e à EC. A Empresa A utiliza o atendimento comercial e o acompanhamento pós-venda para compreender a percepção dos clientes e implementar melhorias em embalagens sustentáveis e recicláveis, ajustando aspectos como praticidade, resistência e comunicação ambiental. Em contrapartida, a Empresa B realiza monitoramento indireto por meio de pesquisas anuais de satisfação, com perguntas superficiais sobre sustentabilidade, sem um protocolo específico de *feedback* voltado à circularidade, indicando um modelo mais generalista e menos integrado à prática da EC.

Esse cenário encontra respaldo na literatura, que destaca a importância de integrar o consumidor como agente ativo no processo de inovação sustentável. Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018) enfatizam que o diálogo com *stakeholders* constitui um dos pilares da EC, sendo necessário criar mecanismos que permitam retroalimentar o sistema produtivo com percepções e demandas dos usuários finais. Essas referências justificam a prática de utilizar o *feedback* para direcionar ajustes e melhorias, reforçando a necessidade de engajamento ativo do cliente no ciclo de vida dos produtos.

Observa-se que a incorporação sistemática de *feedback* contribui para aprimorar a sustentabilidade das embalagens e fortalecer a lógica circular. Enquanto uma empresa aplica de forma prática as informações recebidas para promover melhorias, a outra apresenta oportunidade para ampliar o envolvimento do consumidor e alinhar suas ações aos princípios da EC.

Quanto a coleta de *feedback* dos clientes, o Quadro 27 apresenta um comparativo com base nas respostas das empresas A e B.

Aspecto	Empresa A	Empresa B
Método de coleta	Atendimento comercial, conversas diretas e pós-venda.	Pesquisa anual de satisfação, com poucas questões sobre sustentabilidade.
Uso do <i>feedback</i>	Implementação de melhorias em embalagens recicláveis e sustentáveis (praticidade, resistência).	Apenas contato em caso de respostas detratoras (sem ocorrência até agora).
Foco na circularidade	Direcionado e aplicado à linha sustentável.	Generalista e busca atuar diretamente com os clientes
Maturidade da prática	Médio/alto – <i>feedback</i> integrado às estratégias de sustentabilidade.	Baixo – ausência de sistema específico.

Quadro 29: Envolvimento dos clientes no ciclo de vida das embalagens

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa evidencia diferenças na percepção dos benefícios das embalagens circulares entre as empresas. A Empresa A apresenta benefícios percebidos diretamente pelos clientes, incluindo fortalecimento da imagem de marca, aumento do apelo comercial, diferenciação competitiva e vantagens práticas como funcionalidade e redução de custos. Em contraste, a Empresa B experimenta esses benefícios de forma indireta, por meio de premiações setoriais e recompras de embalagens, sem mensuração clara da percepção dos consumidores finais, evidenciando menor proximidade com o usuário na avaliação do valor das soluções circulares.

A literatura reforça que produtos circulares podem gerar valor intrínseco ao desviar resíduos de aterros e atender valores ambientais dos consumidores (Evrard *et al.*, 2021; Pretner *et al.*, 2021). Além disso, práticas circulares podem proporcionar ganhos de reputação, fortalecimento de marca e oportunidades de negócio, gerando vantagem competitiva ao alinhar sustentabilidade e inovação (Hobson, 2016; Korhonen *et al.*, 2018). Essas referências justificam a importância de traduzir a EC em benefícios percebidos pelo mercado, demonstrando como a implementação de soluções sustentáveis agrega valor tanto ambiental quanto econômico.

A percepção de benefícios está diretamente relacionada à proximidade da empresa com o consumidor final e à maturidade de seus mecanismos de avaliação. Enquanto uma empresa evidencia impactos tangíveis e mensuráveis para seus clientes, a outra depende de reconhecimento institucional, indicando que diferentes estratégias podem influenciar a internalização do valor da circularidade.

Quanto aos benefícios percebidos pelos clientes, o Quadro 28 apresenta um comparativo com base nas respostas das empresas A e B.

Aspecto	Empresa A	Empresa B
Benefícios percebidos	Fortalecimento da marca; apelo comercial; diferenciação competitiva; praticidade; redução de custos no longo prazo.	Premiações setoriais e recompras, sem acesso direto à percepção do consumidor final.
Foco do impacto	Direto no cliente e consumidor final.	Indireto, com reconhecimento institucional.

Quadro 30: Benefícios percebidos pelos clientes

Fonte: Elaborado pelo autor

A comparação entre as empresas evidencia abordagens distintas na mensuração dos resultados das iniciativas de EC. A Empresa A utiliza um modelo simplificado, baseado em levantamentos internos e análises periódicas sobre o uso de materiais reciclados e desempenho das embalagens sustentáveis, permitindo ajustes e melhoria contínua de forma qualitativa. Em contrapartida, a Empresa B adota uma metodologia mais formalizada e quantitativa, considerando indicadores como redução do uso de matéria-prima virgem, aumento do conteúdo reciclado, volume de materiais reciclados e diminuição de emissões, promovendo monitoramento estruturado e comunicação objetiva dos resultados.

A literatura reforça que a mensuração é essencial para verificar ganhos ambientais, econômicos e sociais em iniciativas de circularidade (Pauliuk, 2018). A falta de métricas consolidadas representa uma barreira à implementação eficaz da EC, enquanto indicadores claros permitem avaliar o desempenho e orientar melhorias contínuas (Figge *et al.*, 2018). Essas referências teóricas justificam a importância de adotar mecanismos de avaliação sistemáticos, mostrando que a prática de monitoramento contribui para a efetividade das iniciativas circulares.

Observa-se que o grau de formalização e detalhamento das métricas diferencia o nível de maturidade das empresas, com uma ainda em fase inicial de estruturação e outra avançando para indicadores quantitativos robustos, evidenciando distintas formas de acompanhar e aprimorar os resultados da circularidade.

Quanto aos benefícios percebidos pelos clientes, o Quadro 29 apresenta um comparativo com base nas respostas das empresas A e B juntamente com a relação com a teoria.

Aspecto	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Forma de avaliação	Levantamentos internos e análises periódicas.	Indicadores formais e quantitativos (redução de matéria-prima virgem, aumento de reciclado, emissões).	Medição é essencial para eficácia da economia circular (Pauliuk, 2018).
Foco	Uso de materiais reciclados e desempenho das embalagens sustentáveis.	Impacto quantitativo em insumos, emissões e volume de reciclagem.	Métricas reduzem barreiras e aumentam efetividade (Figge <i>et al.</i> , 2018).
Maturidade	Estágio inicial, acompanhamento qualitativo.	Estágio avançado, monitoramento quantitativo estruturado.	A literatura defende evolução contínua nos sistemas de avaliação (Linder, Sarasini e Van Loon, 2017).

Quadro 31: Medição e avaliação dos resultados da EC
Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa das empresas revela abordagens diferentes no monitoramento das iniciativas de EC. A Empresa A concentra-se em indicadores internos relacionados ao uso de materiais reciclados e ao desempenho de suas soluções sustentáveis, fornecendo informações qualitativas que orientam ajustes e planejamento estratégico. Em contraste, a Empresa B utiliza métricas quantitativas detalhadas, como toneladas de plástico reciclado, percentual de conteúdo reciclado, redução da intensidade de carbono e volume de matéria-prima virgem evitado, permitindo avaliação objetiva do desempenho e alinhamento com padrões internacionais de sustentabilidade.

A relevância das métricas no contexto da EC é destacada na literatura, evidenciando que indicadores claros permitem mensurar resultados, identificar oportunidades de melhoria e acompanhar fluxos de materiais, longevidade e valor monetário (Niero e Kalbar, 2019; Figge *et al.*, 2018). A definição de métricas estruturadas é considerada essencial para a efetividade das práticas circulares (Linder, Sarasini e Van Loon, 2017), enquanto indicadores quantitativos auxiliam na padronização e na comparação de iniciativas entre setores (Pauliuk, 2018). Essas referências teóricas justificam a adoção de diferentes formas de mensuração, evidenciando que tanto abordagens qualitativas quanto quantitativas contribuem para a evolução das práticas de circularidade.

Observa-se que a maturidade das empresas no uso de métricas varia, com uma ainda em fase inicial de acompanhamento interno e outra consolidando um sistema robusto e quantitativo, demonstrando distintas trajetórias para avaliar e fortalecer os resultados das iniciativas de EC.

O Quadro 30 apresenta um comparativo com base nas respostas das empresas A e B juntamente com a relação com a teoria.

Aspecto	Empresa A	Empresa B	Relação com a Teoria
Indicadores usados	Uso de materiais reciclados e desempenho de soluções sustentáveis.	Toneladas de plástico reciclado; % de conteúdo reciclado; redução de carbono; insumos virgens evitados.	Métricas são essenciais para validar avanços e superar barreiras (Linder, Sarasini e Van Loon, 2017).
Abordagem	Monitoramento qualitativo e interno.	Monitoramento quantitativo e estruturado.	Alinhamento com boas práticas (Pauliuk, 2018).
Maturidade	Estágio inicial.	Estágio avançado, com foco em resultados comparáveis.	Diferentes níveis de evolução refletem distintos graus de integração da circularidade (Figge <i>et al.</i> , 2018).

Quadro 32: Métricas utilizadas no monitoramento da EC

Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.1 Síntese dos casos

A análise das respostas fornecidas pelas duas empresas investigadas (Empresa A e Empresa B) evidencia diferentes estágios de maturidade e distintas estratégias em relação à integração da economia circular no desenvolvimento de embalagens. Embora ambas reconheçam a relevância desse paradigma para o setor de embalagens plásticas e flexíveis, suas trajetórias revelam nuances que vão desde os desafios de implementação até a forma de mensuração dos resultados.

No caso da Empresa A, observa-se uma postura marcada pela busca gradual de adaptação às demandas do mercado e às exigências regulatórias. A empresa destaca o pioneirismo em iniciativas como o desenvolvimento do Ecoprime, mas também evidencia barreiras significativas, sobretudo relacionadas a custos, adequação técnica e à resistência de clientes em aceitar embalagens sustentáveis com maior valor agregado. Sua abordagem ainda é mais centrada em monitoramentos internos e qualitativos, sem a adoção de métricas robustas que permitam a mensuração sistemática dos impactos de suas iniciativas.

Por outro lado, a Empresa B demonstra uma inserção mais consolidada na economia circular, destacando-se como um dos maiores recicladores da América Latina. Suas práticas vão além do redesenho de embalagens e do uso de materiais reciclados, abrangendo toda a cadeia da circularidade: da coleta e logística reversa até a reciclagem mecânica e química. A empresa investe em indicadores quantitativos claros, como toneladas de plástico reciclado, redução da intensidade de carbono e percentual de conteúdo reciclado, alinhando-se a padrões internacionais de mensuração e transparência. Essa postura denota um estágio de maturidade superior, em que a economia circular não é apenas uma estratégia de marketing ou de conformidade regulatória, mas um eixo central da governança corporativa.

Outro ponto relevante é a diferença de percepção sobre barreiras e desafios. Enquanto a Empresa A identifica os altos custos de investimento e a resistência de clientes como entraves principais, a Empresa B afirma que não enfrentou obstáculos significativos, uma vez que a circularidade já estaria em seu “DNA organizacional”. Contudo, ao analisar criticamente, nota-se que, mesmo na Empresa B, há dificuldades associadas à conscientização de clientes, cujo foco muitas vezes permanece no custo imediato em detrimento dos benefícios ambientais de longo prazo.

A relação com os *stakeholders* também apresenta contrastes importantes. A Empresa A trabalha de forma mais reativa e personalizada, atendendo demandas de clientes específicos e promovendo diálogos técnicos conforme o interesse de cada parceiro. Já a Empresa B desenvolve um ecossistema mais amplo e integrado, envolvendo cooperativas, certificadoras, fornecedores e clientes em projetos conjuntos, alguns deles estruturados em programas de logística reversa.

Por fim, no que se refere à percepção de valor, ambas as empresas reconhecem que clientes enxergam benefícios como fortalecimento da imagem de marca, apelo mercadológico e diferenciação competitiva. Entretanto, os relatos indicam que esses ganhos simbólicos ainda não se convertem de forma plena em práticas consolidadas de compra, sobretudo entre clientes de menor porte. Tal constatação reforça a necessidade de políticas públicas mais consistentes e de incentivos regulatórios que promovam a adoção em larga escala de soluções circulares.

Em síntese, pode-se concluir que a Empresa A e a Empresa B ilustram dois estágios distintos da transição para a economia circular no setor de embalagens. Enquanto a primeira avança de forma gradual e enfrenta barreiras estruturais, a

segunda apresenta maior consolidação e integração sistêmica. No entanto, ambas reforçam os principais pontos identificados na fundamentação teórica: a relevância da circularidade para a competitividade, os desafios de custo e adesão de clientes, e a necessidade de métricas claras e de redes de colaboração para viabilizar a transição. Esses achados contribuem para o entendimento de como empresas de diferentes portes e maturidades respondem às pressões ambientais e de mercado, oferecendo subsídios relevantes para a formulação de estratégias empresariais e de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável.

O quadro 31 apresenta uma síntese geral comparando as empresas A e B nos principais quesitos questionados para cada uma das empresas. Assim, o quadro 31 permite visualizar de maneira objetiva as semelhanças e, sobretudo, as diferenças entre a Empresa A e a Empresa B no que diz respeito à implementação da economia circular no desenvolvimento de embalagens. Essa comparação reforça que, embora ambas reconheçam a relevância do tema e tenham iniciativas consistentes, encontram-se em estágios distintos de maturidade organizacional.

Dimensão	Empresa A	Empresa B
Decisão de adotar economia circular	Motivada por exigências regulatórias e compromisso ambiental; decisão estratégica de liderança; investimentos em maquinário e inovação (≈ US\$ 30 milhões).	Originada como recicladora; evolução natural para logística reversa e circularidade; DNA organizacional voltado à sustentabilidade.
Visão de longo prazo	Tornar-se referência nacional em embalagens sustentáveis; expansão de linhas recicláveis e programas de logística reversa.	Planejamento estratégico de longo prazo (5, 10, 20 anos) com metas ambientais; foco em energia renovável e redução do uso de fósseis.
Estratégias e práticas	Desenvolvimento de produtos recicláveis (ex. Ecoprime), redução de espessura de filmes, <i>design</i> para reciclagem, parcerias e treinamentos internos.	Oferta de estruturas sustentáveis mesmo sem demanda explícita; desenvolvimento de monomateriais; enfrentamento do desafio do custo.
Stakeholders envolvidos	Diretoria, P&D, Engenharia, fornecedores certificados, recicladoras, clientes e cooperativas.	Área corporativa de sustentabilidade e inovação; diretoria executiva; clientes; cooperativas; fornecedores.
Conscientização interna	Treinamentos e compartilhamento de informações para equipe, ainda de forma gradual.	Campanhas contínuas e visíveis (cartazes, calendários, mídias internas); forte defesa da circularidade do plástico.
Conscientização de parceiros/clientes	Diálogo técnico, orientação sobre certificações e tendências.	Apresentações em visitas de clientes e fóruns; integração com cooperativas e empresas parceiras em projetos de reciclagem.

Quadro 33: Síntese geral e comparação das empresas – parte 1

Fonte: Elaborado pelo autor

Dimensão	Empresa A	Empresa B
Metas e objetivos	Substituição de plástico virgem, expansão de linhas recicláveis, certificações ambientais, sensibilização de clientes.	Oferta constante de soluções sustentáveis; integração de metas de sustentabilidade a todos os P&Ds do grupo.
Barreiras enfrentadas	Custos elevados, desafios técnicos, resistência de clientes e fornecedores.	Não identifica barreiras internas significativas; principais dificuldades estão na aceitação e no preço para clientes.
Materiais utilizados	Resinas poliolefinicas (PE, PP) e polímeros de alta molaridade.	Diversidade de plásticos (PET, BOPP, BOPE etc.); uso de reciclados; limitação por legislação (ex.: PVC em alimentos).
Fontes renováveis	Prioriza fornecedores certificados; acompanhamento de tendências, mas com limitações de mercado.	Uso limitado de polietileno verde (cana-de-açúcar); forte atuação em reciclagem mecânica e química.
Benefícios da circularidade	Redução de consumo de matéria-prima virgem, fortalecimento da imagem da marca e alinhamento ao mercado sustentável.	Redução de lixões e aterros; menor consumo de fósseis; benefícios ambientais para futuras gerações.
Custos associados	Elevados, com investimentos significativos em máquinas e tecnologia.	Custos recaem no preço da matéria-prima; produtivamente não há diferença; custo repassado ao cliente.
Impactos ambientais visados	Redução de resíduos, tratamento e reuso de água, menor consumo de recursos naturais.	Redução de emissões de carbono, uso de 64% de energia renovável, programas de ciclo de vida de produtos.
Parcerias estabelecidas	Recicladoras, fornecedores certificados e laboratórios.	Cooperativas, certificações ISCC Plus, fornecedores de materiais sustentáveis, plantas de pirólise e reciclagem.
Extensão da vida útil das embalagens	Desenvolvimento de embalagens reutilizáveis e resistentes.	Processo produtivo naturalmente estende vida útil; <i>design</i> e demandas de consumidores influenciam <i>redesign</i> (zíper, visor, <i>stand-up pouches</i>).
Exemplos práticos	Ecoprime; embalagens de queijo recicladas em sacos de lixo e mudas.	Embalagens de biscoito com PCR; rótulos de garrafas com até 50% PCR; projetos de logística reversa em parceria com clientes.
Ciclo de vida e logística reversa	Não coleta embalagens pós-consumo; avalia possibilidades futuras.	Atuação em toda a cadeia circular; maior recicladora da América Latina; logística reversa consolidada.
Feedback de clientes	Coletado via atendimento comercial; levou à expansão de linha sustentável.	Pesquisas anuais de satisfação com poucas questões sobre sustentabilidade; baixo retorno específico.
Benefícios percebidos pelos clientes	Imagem positiva, apelo mercadológico, diferenciação e alinhamento a certificações.	Retorno indireto via recompras e premiações, sem percepção direta documentada.
Mensuração de resultados	Levantamentos internos e análises periódicas, sem indicadores claros.	Métricas robustas: toneladas recicladas, % de reciclados nas embalagens, redução de carbono e de matéria-prima virgem.
Métricas utilizadas	Indicadores internos qualitativos sobre uso de reciclados.	Indicadores quantitativos claros e internacionalmente reconhecidos.

Quadro 34: Síntese geral e comparação das empresas – parte 2

Fonte: Elaborado pelo autor

Depois de analisar de forma aprofundada os casos apresentados, voltou-se ao modelo proposto (que pode ser visto na Figura 14) para incluir as alterações observadas na análise dos casos, de forma que ele refletisse melhor a realidade das empresas de embalagens plásticas analisadas, visando colocar as atividades de forma detalhada para cada estágio. O modelo ajustado pode ser visto no Capítulo 6.

6. Modelo proposto ajustado

Neste capítulo será apresentado o modelo proposto ajustado de acordo com o que foi observado nos casos apresentados no Capítulo 5. Também é apresentado a verificação da adequação do modelo feita pelas duas empresas do estudo de caso e, finalmente, o modelo final com sua adequação validada.

Depois de analisar as informações das empresas analisadas no estudo de caso, o modelo foi ajustado para melhor descrever o processo de desenvolvimento de embalagens. A Figura 19 apresenta o modelo ajustado.

Nas seções seguintes, cada etapa será explicada detalhadamente.

6.1 Descoberta: Embalagens

O processo começa com a chegada de um novo pedido, que pode vir tanto de um cliente já existente quanto de um novo cliente. Nessa etapa é importante definir as expectativas iniciais sobre as embalagens a serem produzidas, incluindo prazos, volumes e requisitos específicos. Em seguida, a empresa precisa verificar as necessidades do cliente e traduzi-las em um projeto inicial, que servirá de base para as próximas etapas.

Após a solicitação, é feita a primeira análise de viabilidade básica (*Gate 1*). A empresa precisa responder à pergunta: “Há condições de atender a esse pedido?” Esse filtro leva em consideração a capacidade técnica, os equipamentos disponíveis, a experiência prévia e as exigências legais. Se for identificado que o pedido não pode ser atendido, ele é arquivado de forma documentada. Caso seja viável, o processo segue para o Estágio 1.

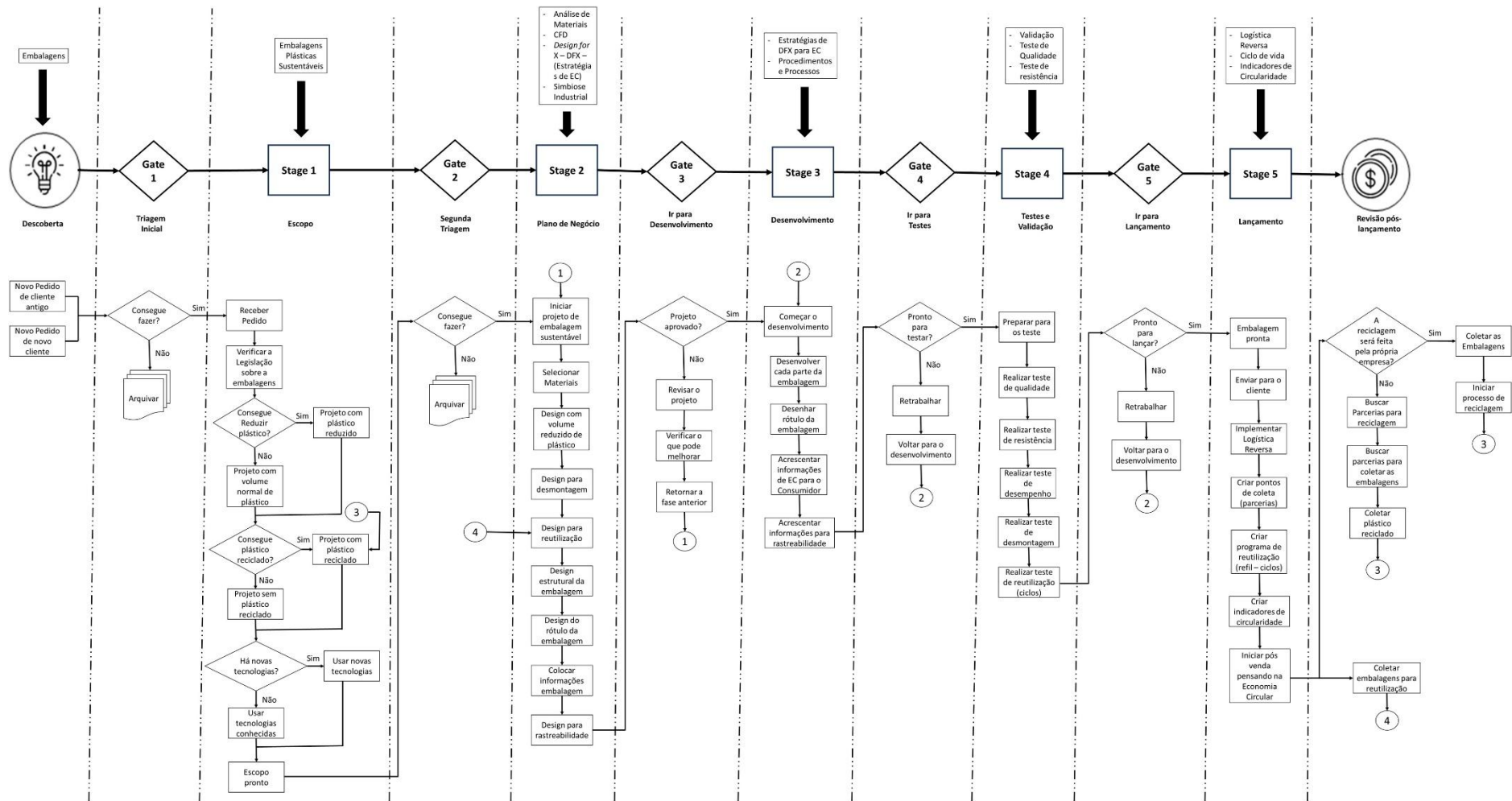


Figura 19: Modelo de PDP ajustado depois das análises
 Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 20 apresenta a esta da descoberta e o primeiro *gate*.

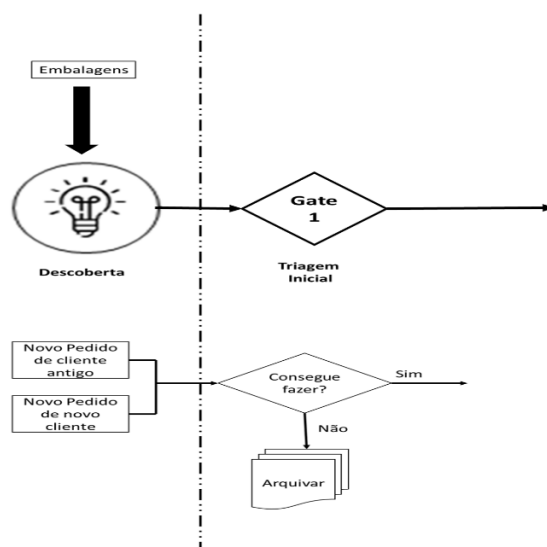


Figura 20: Atividades da etapa de descoberta
Fonte: elaborado pelo autor

6.2 Estágio 1: Escopo – Embalagens Plásticas

Sustentáveis

Ao receber o pedido, inicia-se o escopo do projeto de desenvolvimento de embalagens plásticas. Para isso é necessário verificar as legislações, pois dependendo do tipo de produto que vai ser embalado, há uma regulamentação específica. As embalagens precisam atender normas de rotulagem, requisitos de segurança, e regulamentação ambiental. Essa verificação é crítica, pois o não cumprimento das obrigações legais pode ter consequências graves e até inviabilizar o projeto.

O segundo ponto de análise inicial é a possibilidade de reduzir a quantidade de plástico. Isso envolve repensar o design para diminuir espessuras, eliminar partes ou otimizar a geometria. A redução do consumo de matéria-prima virgem tem um grande impacto na sustentabilidade, mas deve ser equilibrada com a resistência e a funcionalidade da embalagem. O projeto pode seguir também sem a redução da quantidade de plástico.

Outro ponto que precisa ser analisado, é a possibilidade de utilizar plástico reciclado no projeto. O uso de material reciclado pós-consumo ou pós-industrial fortalece compromissos de sustentabilidade e melhora indicadores de circularidade. Então, o material reciclado pode ter origem nas sobras do processo produtivo das próprias embalagens ou de embalagens que foram recolhidas e, dessa forma, todo o

plástico passa pelo processo de reciclagem para ser usado como um novo insumo no processo de embalagens. No entanto, é necessário validar a qualidade do material, sua disponibilidade em escala e a compatibilidade com os requisitos legais. Essa etapa exige integração com fornecedores e testes preliminares de propriedades. O escopo do projeto pode seguir sem utilizar materiais reciclados.

Outra atividade da triagem inicial é a investigação sobre novas tecnologias aplicáveis ao projeto. Isso pode incluir novos polímeros, aditivos que melhoram a reciclabilidade, ou ainda utilização de máquinas melhores. Caso existam tecnologias viáveis, elas podem ser adotadas, aumentando o diferencial competitivo. Se não houver inovação disponível ou aplicável, utiliza-se o portfólio de tecnologias já consolidadas.

Uma vez aprovadas as triagens, o documento do escopo do projeto é elaborado. Aqui, o objetivo é consolidar todos os requisitos levantados até o momento em um documento que pode conter, por exemplo: os objetivos de desempenho da embalagem, os requisitos de sustentabilidade (como metas de redução de massa ou percentual de reciclado), os limites de custo, além das necessidades legais e comerciais.

Antes de seguir para o próximo estágio, é feita uma segunda checagem de viabilidade. Diferente da primeira, essa análise é mais robusta e pode incluir, por exemplo: estimativas de custos, avaliação de fornecedores, prazos de produção e análise de riscos. Caso se conclua que o projeto não pode ser executado dentro dos parâmetros definidos, ele pode ser reformulado ou arquivado. Se a resposta for positiva, o projeto avança para a fase de plano de negócio (Estágio 2).

A Figura 21 apresenta a parte do estágio 1 que se refere ao escopo.

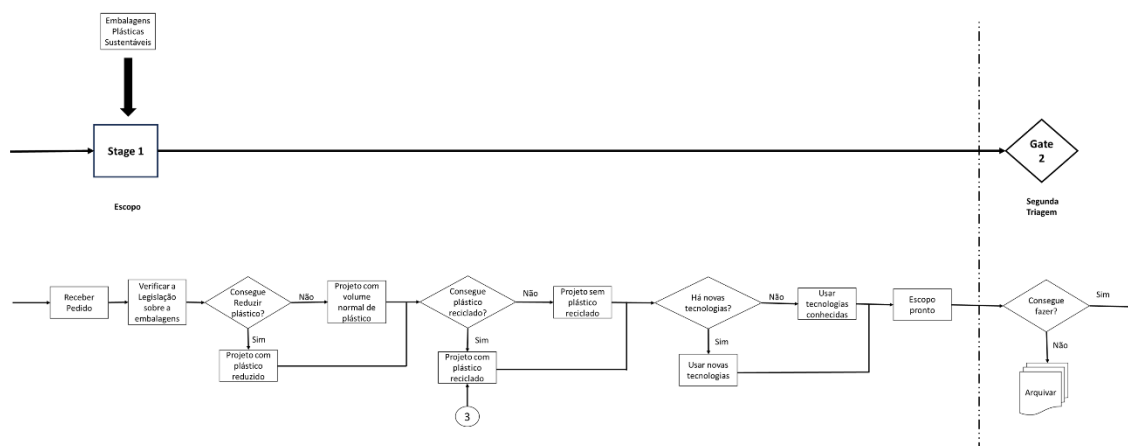


Figura 21: Atividades do estágio de escopo
Fonte: elaborado pelo autor

6.3 Estágio 2: Plano de Negócio

No estágio de plano de negócio, um projeto detalhado de como a embalagem será feita é realizado. Pensando em considerar as estratégias e práticas da EC, o plano de negócio apresentado será voltado para esse assunto.

Uma das primeiras atividades é a escolha dos materiais que serão utilizados nas embalagens. Essa escolha precisa analisar desempenho, reciclabilidade e custo. Também é importante avaliar os fornecedores para garantir qualidade e considerar impactos ambientais ao longo do ciclo de vida. A utilização de material reciclado precisa ser avaliada com um rigor a mais para garantir que ele consiga atender todas as necessidades e exigências.

Outra atividade é projetar uma embalagem com volume menor de plástico de modo a pensar na redução do uso de matérias virgens. Então um projeto de design com espessuras reduzidas e geométricas otimizadas precisa ser definida, mas é necessário garantir que a embalagem cumpra sua função de armazenagem, transporte e uso pelo consumidor.

Outra prática é criar embalagens que possam ser facilmente desmontadas. Então os componentes das embalagens precisam ser projetados de forma que possam ser separados sem esforço, facilitando a reciclagem. Por exemplo, tampas e rótulos que possam ser removidos facilmente. Dessa forma a taxa de reaproveitamento de materiais é maior e contribui para a economia circular que pede que os materiais fiquem em circulação por mais tempo.

Dependendo do tipo de embalagem e da sua finalidade, ela pode ser projetada para ter múltiplos usos, como sistemas de refil ou embalagens retornáveis. Nesse caso, o design deve priorizar durabilidade, facilidade de limpeza e resistência ao manuseio repetido. Essa abordagem prolonga o ciclo de vida da embalagem, reduzindo a necessidade de novas matérias-primas e reforçando a proposta de circularidade.

A embalagem precisa ser projetada com uma estrutura física que consiga garantir a resistência mecânica e cumpra sua função. Isso envolve simulações de queda, compressão e empilhamento, além de testes de compatibilidade com linhas de envase. Uma embalagem mal dimensionada pode causar vazamentos, perdas de

produto e rejeição pelo consumidor. Por isso, esse design deve considerar não apenas a estética, mas também a funcionalidade em toda a cadeia logística.

Os rótulos, impressões e estampas precisam ser desenvolvidos corretamente para garantir a sustentabilidade. Um rótulo inadequado pode inviabilizar a reciclagem de toda a embalagem. Por isso, devem ser utilizadas tintas e adesivos compatíveis, além de opções como rótulos removíveis em processos de reciclagem. Além do aspecto ambiental, o design do rótulo também precisa atender exigências legais e de marketing, garantindo clareza de informações e atratividade visual.

Inserir informações claras sobre sustentabilidade e economia circular diretamente na embalagem é uma prática cada vez mais valorizada. Ícones de descarte, instruções de refil ou QR-Codes que direcionem a páginas educativas ajudam o consumidor a adotar práticas corretas. Essa comunicação deve ser simples, objetiva e de fácil compreensão, para que o consumidor não fique confuso no momento do descarte.

Outro requisito moderno é a rastreabilidade da embalagem. Isso significa permitir a identificação de lotes, datas de fabricação e até mesmo ciclos de reutilização. Tecnologias como QR-Codes, códigos de barras ou marcadores podem ser utilizadas. A internet das coisas e inteligência artificial são duas tecnologias que estão sendo muito estudadas e utilizadas e também podem ser utilizadas para ajudar no processo de rastreabilidade. A rastreabilidade é importante para ajudar no controle de qualidade e indicadores de circularidade e sustentabilidade.

Concluído o plano de negócio, o projeto passa por um comitê de aprovação (*gate 3*). O comitê pode ser formado por gestores e líderes de áreas estratégicas, com pessoas das áreas: diretoria, marketing, engenharia, produção, qualidade e finanças. Se houver falhas, o projeto é revisado e retorna à fase anterior para ajustes com a finalidade de evitar retrabalhos. Caso seja aprovado, o desenvolvimento físico da embalagem é iniciado.

A Figura 22 apresenta a sequência de atividades do estágio plano de negócio.

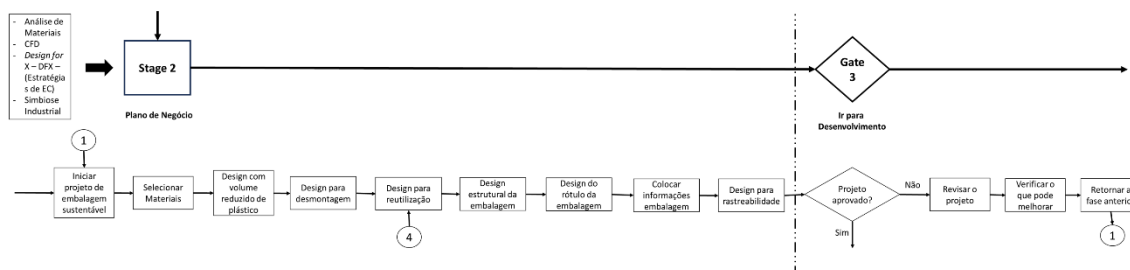


Figura 22: Atividades do estágio plano de negócio
Fonte: elaborado pelo autor

6.4 Estágio 3: Desenvolvimento

Nesse estágio a embalagem começa a ser desenvolvida e o plano de negócio é colocado em prática. Cada parte da embalagem é desenvolvida, como corpo, tampa, e rótulo, tudo é desenvolvido com detalhes técnicos de produção. São feitos testes piloto, ajustes de engenharia e validações preliminares. A linha de produção executa o processo conforme o planejamento coloca para a fabricação.

O rótulo final (que também pode ser entendido como impressões e estampas) é desenvolvido nessa fase, com aprovação de marketing, considerando também os aspectos legais. São definidos layout, cores, adesivos e acabamentos. O rótulo precisa cumprir todas as exigências legais, transmitir a identidade visual da marca e, ao mesmo tempo, não comprometer a reciclabilidade da embalagem. Teste primário de impressão e aderência precisa ser realizado para validar o material escolhido.

Também precisa ser desenvolvida as informações relacionadas à economia circular e como elas serão adicionadas ao design da embalagem. Elas podem incluir orientações de descarte, instruções sobre programas de refil ou ícones que indiquem que o material é reciclável. Essas informações fortalecem a imagem da marca e incentiva práticas mais sustentáveis por parte do consumidor.

Também é nesse estágio que são definidos os sistemas de marcação de lote e rastreabilidade. Os códigos são definidos e registrados para cada uma das embalagens. As embalagens passam a ter códigos únicos que permitem identificar sua origem e trajetória. Por meio desse sistema a empresa pode tratar de tanto de aspecto de falhas como também saber quando as suas embalagens estão passando pelo sistema de reciclagem ou sistema de reutilização.

Antes de iniciar o estágio de testes, verifica-se se todos os requisitos de desenvolvimento foram cumpridos (*gate 4*). Caso haja falhas ou pendências, o projeto retorna para retrabalho. Se estiver completo, ele avança para a fase de validação.

A Figura 23 apresenta a sequência de atividades do estágio de desenvolvimento.

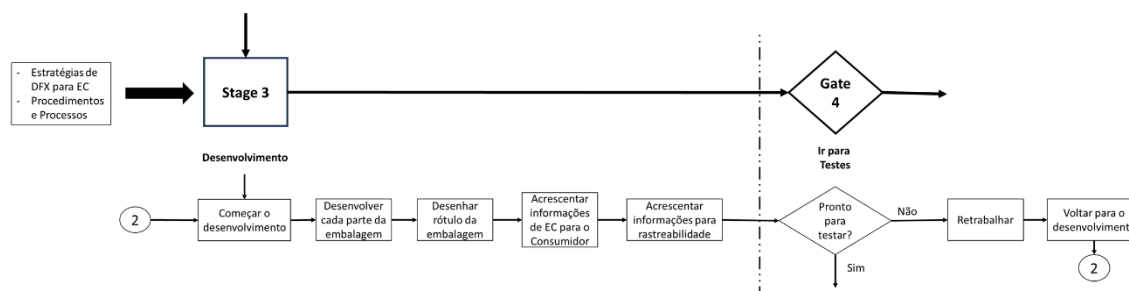


Figura 23: Atividades do estágio desenvolvimento
Fonte: elaborado pelo autor

6.5 Estágio 4: Teste e Validação

Neste estágio, a embalagem passa por diversos testes para verificar se ela foi produzida corretamente e atende todas as exigências do projeto. O primeiro tipo de teste é de qualidade que verifica se a embalagem atende aos padrões estabelecidos, como medidas, aspecto visual e funcionalidade. Esses testes visam garantir que a embalagem vai estar dentro das especificações técnicas que o cliente solicitou.

Outro tipo de teste realizado é o de robustez, onde a embalagem é verificada por meio de ensaios de queda, compressão e empilhamento, por exemplo. A finalidade desses testes é simular condições reais de transporte e armazenamento para assegurar que o produto chegue intacto ao consumidor final.

Também há testes de desempenho para avaliar a funcionalidade da embalagem em uso. Como exemplo, pode-se verificar se o líquido flui corretamente, se a tampa veda adequadamente ou se o sistema de dosagem funciona como planejado. Esses ensaios asseguram a experiência do consumidor.

Já o teste de desmontagem é feito pensando no processo de reciclagem da embalagem de modo a garantir princípios e práticas da EC. Nesse sentido, componentes precisam ser separados sem esforço ou com pouco esforço e sem comprometer a reciclabilidade dos materiais. Quanto mais simples o processo de desmontagem, maior será a taxa de reciclagem.

No caso de embalagens projetadas para múltiplos ciclos, elas precisam ser testadas por meio de ensaios que simulam usos repetidos. São verificadas resistência mecânica, estabilidade química e possibilidade de higienização, por exemplo. A finalidade é garantir que a embalagem suporte vários ciclos de vida sem comprometer sua segurança ou sua funcionalidade.

Após a etapa de testes, o projeto é submetido a uma nova decisão. Caso alguma falha seja identificada na embalagem, ela precisa retornar para retrabalho na etapa de desenvolvimento. Se estiver em conformidade com todos os requisitos, a embalagem é aprovada para lançamento no mercado.

O ideal é que, dependendo do tipo de embalagem, a empresa busque as normas que especificam os testes a serem realizados, os critérios e as especificações a serem atingidas.

A Figura 24 apresenta a sequência de atividades do estágio de teste e validação.

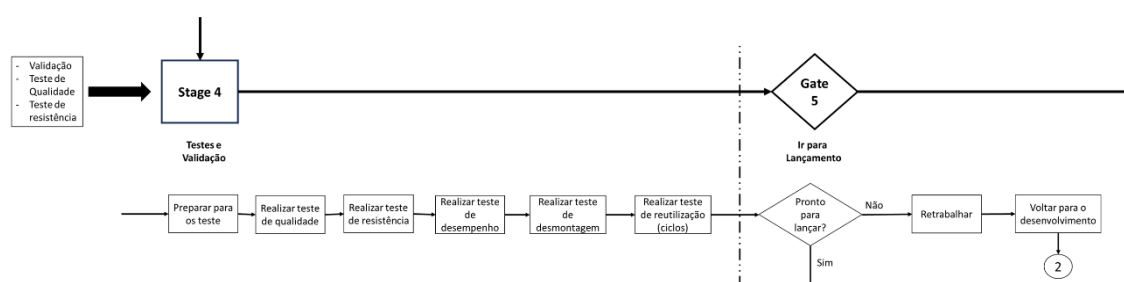


Figura 24: Atividades do estágio de teste e validação

Fonte: elaborado pelo autor

6.6 Lançamento

Na fase de lançamento, a embalagem já está pronta para ser enviada ao cliente. Então, é necessário pensar em algumas ações de sustentabilidade e EC. Alguns exemplos são: programas de logística reversa; pontos de coleta em parceria com o varejo; criar sistemas de reutilização como refil para vários ciclos; criar indicadores de circularidade. A finalidade é avaliar o impacto ambiental do projeto e garantir que práticas e estratégias da EC sejam realizadas.

A primeira atividade deste estágio é a verificação da embalagem pronta. Ela já foi produzida e testada, mas é necessário verificar o pedido do cliente para saber a quantidade a ser produzida.

O próximo passo é o envio ao cliente das embalagens, então o setor de logística ou setor responsável precisa garantir que a quantidade certa seja entregue no prazo acordado. Também é importante que as equipes de vendas e comercial encontrem um meio de coletar o *feedback* do cliente para confirmar se todas as especificações foram atendidas e se há alguma melhoria a ser feita nas próximas produções.

Um ponto importante a se pensar é sobre a logística reversa que, no Brasil, é prevista pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Então, a empresa precisa pensar em mecanismos para que as embalagens, após o consumo, retornem ao ciclo produtivo. Para isso pode-se utilizar de pontos de coleta para o envio para reciclagem ou para o processo produtivo, visando o sistema de reutilização. A logística reversa ajuda a reduzir o descarte inadequado e aumentar a reciclagem, reforçando os princípios e práticas da EC.

Os pontos de coleta podem ser da própria empresa ou com empresas parceiras, que podem ser os próprios clientes que compraram a embalagens ou cooperativas de catadores. Também é importante criar uma campanha para que os consumidores finais possam levar as embalagens até os pontos de coleta e isso pode ser feito pelo *marketing* e por informações nos rótulos, estampas e informações no corpo das embalagens.

Junto com os pontos de coleta, pode-se utilizar o programa de reutilização com embalagens de refil, que podem ser aproveitadas em vários ciclos. As embalagens retornáveis podem ser usadas várias vezes antes do descarte e essa iniciativa reduz, significativamente, a necessidade de produção de novas embalagens, de modo que se incentive a prática da EC que diz que os materiais e componentes precisam ficar em circulação um maior tempo possível.

Depois que essas estratégias foram estabelecidas, faz-se necessário medir o seu desempenho e isso pode ser feito pelos indicadores de circularidade. Alguns exemplos de indicadores que podem ser utilizados são: taxa de reciclagem, reciclabilidade dos materiais, taxa de reutilização e durabilidade e reparabilidade. A mensuração desses dados e criação desses indicadores servem para relatórios de sustentabilidade e EC, além de campanhas de conscientização dos consumidores.

Terminado o estágio de lançamento, a empresa precisa pensar no pós-venda. É importante acompanhar o destino das embalagens para garantir que as práticas e estratégias da EC estão funcionando corretamente.

A Figura 25 apresenta a sequência de atividades do estágio de lançamento.

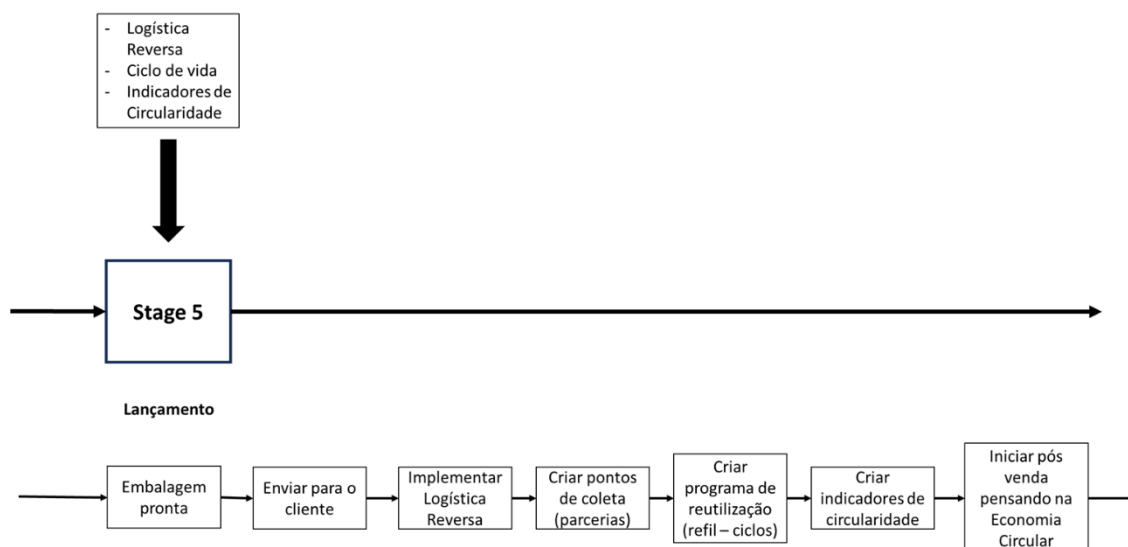


Figura 25: Atividades do estágio de lançamento

Fonte: elaborado pelo autor

6.7 Revisão Pós-Lançamento

Após o lançamento, inicia-se o estágio de revisão pós-lançamento, que avalia o destino e uso das embalagens. Entretanto, o foco aqui será com base na EC, pois é necessário realizar algumas atividades para que as práticas e estratégias da EC sejam avaliadas de forma efetiva.

Em relação a reciclagem, a empresa precisa decidir se ela mesma irá fazer o processo de reciclagem ou se irá fazer uma parceria com outras empresas que realizam esse serviço. Caso a empresa decida fazer por conta própria, ela precisa iniciar a coleta das embalagens (pode ser feito pelos pontos de coleta que já foram definidos no estágio anterior) para enviar para o setor adequado (ou parceiro) que irá realizar todo o processo de reciclagem. Então, o plástico poderá ser reciclado e usado no processo de produção de novas embalagens ou ir para outro tipo de processo que utilize plásticos, caso a empresa tenha alguma parceria nesse sentido.

O outro caso é buscar parcerias para reciclagem, que podem ser empresas recicladoras ou cooperativas de catadores. Essas empresas podem também realizar o serviço de coleta das embalagens junto aos consumidores ou podem receber as embalagens dos pontos de coletas definidos pela empresa. Depois que o plástico é reciclado, ele pode voltar ao processo produtivo da empresa que precisa criar uma logística para coletar o plástico reciclado. Tudo precisa ser bem definido para colocar em prática a estratégia de reciclagem, conforme os princípios da EC preveem.

Outro ponto que precisa ser analisado nesse estágio é o programa de reutilização. A empresa precisa coletar as embalagens que serão reutilizadas e, para isso, ela pode utilizar os pontos de coleta e também precisa das informações do consumidor para que o refil possa ser retrabalhado. É importante uma boa campanha de educação dos consumidores para que esse programa funcione corretamente e as embalagens possam ser utilizadas por vários ciclos.

A Figura 26 apresenta a sequência de atividades do estágio de revisão pós-lançamento.

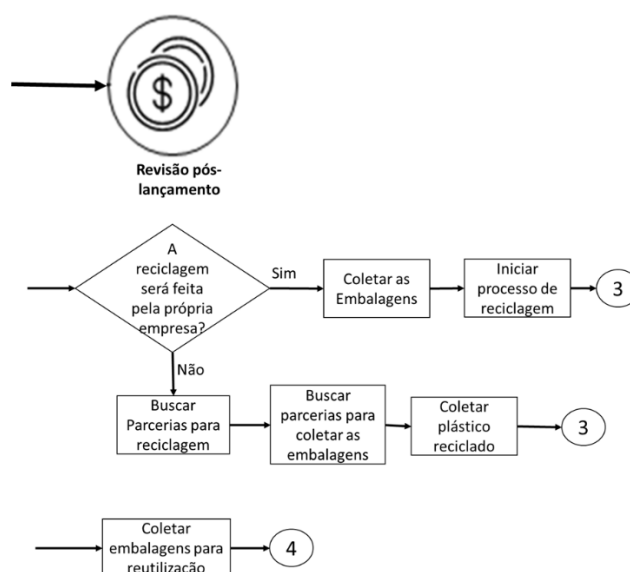


Figura 26: Atividades do estágio de revisão pós-lançamento

Fonte: elaborado pelo autor

6.8 Validação do modelo

Para validar o modelo, este foi enviado e apresentado para as pessoas das duas empresas que responderam às perguntas do estudo de caso. Esses respondentes, especialistas no tema, foram entrevistados novamente para verificar a aderência do modelo no processo das empresas A e B.

Para cada estágio (1 a 5) foram feitas três perguntas:

1. Para o estágio 1, você concorda com as atividades propostas para o escopo do processo de desenvolvimento de embalagens?
2. Existe alguma atividade do estágio 1 que você considera que esteja inadequada com o processo realizado pela empresa?
3. Existe alguma atividade do estágio 1 que você considera que falta ser incluída para estar aderente ao processo realizado pela empresa?

Também foram elaboradas perguntas para os *gates*:

1. As ações descritas para cada *gate* estão corretas e adequadas à realidade do processo de desenvolvimento de embalagens?
2. O número de *gates* estabelecido é adequado?
3. As atividades finais de cada *gate* voltam em atividades adequadas do fluxo dos estágios?

6.9 Análise das respostas para adequação do modelo

6.9.1 Repostas para o estágio 1

De modo geral, em relação ao primeiro questionamento, as Empresas A e B concordam que as atividades do estágio 1, que é uma fase inicial dedicada a uma análise ampla das possibilidades do projeto, sem aprofundamento técnico detalhado, mas com a necessidade de visualizar o todo antes de avançar para as próximas etapas.

Analizando as duas respostas, tanto a Empresa A quanto a Empresa B destacam a importância da sustentabilidade, seja ao propor alternativas mais responsáveis ao cliente ou ao avaliar materiais recicláveis, redução de plástico e práticas alinhadas à economia circular.

Apesar dessas convergências, as duas empresas diferem na forma como estruturam sua visão sobre o processo. A Empresa A apresenta uma perspectiva mais relacional, enfatizando o papel do cliente e a dinâmica da interação entre cliente e fornecedor. A resposta descreve como diferentes perfis de clientes influenciam o desenvolvimento, destacando que clientes mais abertos permitem maior liberdade para propor soluções sustentáveis, enquanto clientes mais fechados exigem aderência estrita ao que é solicitado.

A Empresa B, por sua vez, adota uma abordagem mais técnica e normativa. A empresa foca na verificação de viabilidade técnica e regulatória, principalmente relacionada a normas de contato com alimentos e legislações ambientais. Além disso, enfatiza a análise de tecnologias de materiais, como estruturas monomateriais, filmes com barreira e otimização de selagem, sempre buscando equilibrar desempenho, custo e responsabilidade ambiental.

Assim, enquanto a Empresa A prioriza a relação com o cliente e a adaptação a diferentes perfis de demanda, a Empresa B enfatiza critérios técnicos, regulatórios e tecnológicos. Ambas convergem na importância da sustentabilidade e na necessidade de uma avaliação inicial abrangente, mas se diferenciam claramente no foco e na abordagem adotada.

Ao analisar as respostas das duas empresas em relação ao **segundo questionamento**, verificou-se que as duas empresas concordam que as atividades propostas para esse estágio são pertinentes e bem alinhadas ao objetivo de estabelecer diretrizes gerais do projeto. As duas empresas também demonstram preocupação com a conformidade técnica e regulatória, indicando que a avaliação de normas e requisitos legais é essencial desde o início. Outro ponto comum é a atenção à sustentabilidade, seja por meio da análise de materiais reciclados, como no caso da Empresa A, ou pela busca de eficiência técnica e adequação ambiental, como refletido na prática mais direta da Empresa B.

Apesar desses pontos de convergência, as diferenças entre as respostas são bem marcantes. A Empresa A apresenta uma abordagem mais técnica e detalhada. Ela sugere ajustes específicos no texto da tese (que foi posteriormente ajustado conforme a resposta) e descreve de forma aprofundada os tipos de materiais reciclados disponíveis e os critérios necessários para sua utilização. Essa empresa destaca a importância de avaliar disponibilidade de matéria-prima, qualidade, legislação, compatibilidade e necessidade de testes preliminares, indicando um processo robusto e altamente técnico.

A Empresa B, por outro lado, adota uma visão mais simplificada e prática. Ela explica que, por atender principalmente clientes de pequeno e médio porte, seus projetos possuem menor complexidade técnica e prazos mais curtos. Por isso, várias análises são realizadas de forma direta, com base no conhecimento já consolidado pela equipe, sem demandar estruturas formais de pesquisa ou validação. Seu foco está na agilidade, no custo competitivo e na adaptação do processo à realidade de seus clientes e ao tamanho dos projetos.

Em síntese, a Empresa A trabalha com maior profundidade técnica e detalhamento de critérios, enquanto a Empresa B concentra-se em eficiência e simplificação. Mesmo seguindo caminhos diferentes, ambas reconhecem a importância do Estágio 1 e da sustentabilidade como elementos essenciais no desenvolvimento de embalagens.

Analisando as respostas fornecidas pelas duas empresas para o **terceiro questionamento**, pode-se constatar que a Empresa A afirma que as atividades já contempladas são adequadas, indicando apenas a necessidade de revisão dos itens anteriormente mencionados nas duas primeiras questões. Dessa forma, não sugere a inclusão de novas etapas no processo, demonstrando aderência entre o modelo atual e sua prática operacional.

Por outro lado, a Empresa B apresenta uma perspectiva distinta ao identificar a necessidade de ampliação do escopo do Estágio 1. A empresa argumenta que o processo deveria incorporar atividades relacionadas à análise comercial e à avaliação de viabilidade econômica, as quais antecedem a definição técnica da embalagem (que são atividades que essa empresa pratica). Destaca ainda a importância do levantamento do histórico do cliente, sobretudo em casos de recorrência, como forma de otimizar tempo, padronizar soluções e aproveitar estruturas pré-existentes. Além disso, enfatiza a relevância de uma validação inicial com o cliente acerca da aplicação final da embalagem, compreendendo características do produto, da forma de envase, do armazenamento e da exposição, fatores que influenciam diretamente na escolha da estrutura mais adequada.

Observa-se como ponto comum entre as respostas a preocupação com a precisão e a adequação das informações presentes nas etapas iniciais do processo, ainda que essa preocupação se manifeste de modos distintos em cada empresa. No entanto, evidencia-se uma divergência central: enquanto a Empresa A considera o processo atual suficiente, a Empresa B entende que o Estágio 1 deve ser enriquecido por análises adicionais de cunho comercial, operacional e técnico, refletindo um modelo de atuação mais integrado às necessidades e ao perfil dos clientes. Essa diferença indica variações significativas nos métodos de trabalho e no grau de complexidade das atividades realizadas por cada organização.

Dessa forma, a sugestão apresentada pela Empresa B referente à inclusão do levantamento do histórico do cliente será incorporada ao modelo proposto, uma vez que contribui para a otimização do processo e para o aumento da precisão nas definições iniciais do projeto. A consideração de informações provenientes de pedidos anteriores possibilita maior agilidade na elaboração das soluções, promove a padronização técnica e visual e favorece o reaproveitamento de estruturas já validadas, elementos que fortalecem a eficiência operacional e a coerência do desenvolvimento das embalagens.

Com essas três perguntas, terminou-se a avaliação da adequação do Estágio 1 do modelo que é a fase de descoberta e escopo. As próximas três questões estarão relacionadas com o estágio 2 que é o plano de negócios.

6.9.2 Repostas para o estágio 2

A análise das respostas fornecidas pelas empresas em relação ao **primeiro questionamento** evidencia um consenso geral quanto à adequação das atividades propostas para o estágio 2 do processo de desenvolvimento de embalagens, ainda que existam diferenças relevantes na forma como cada organização estrutura e executa essa etapa. A Empresa A foi mais sucinta e direta na resposta apontando somente que concorda com as atividades apresentadas e que estão de acordo com esse estágio do modelo. A Empresa B, por sua vez, também expressa concordância com o conjunto de atividades proposto, reconhecendo que ele representa de maneira apropriada o momento em que o projeto adquire maior concretude e passa a articular definições técnicas com a viabilidade produtiva e comercial. Além disso, destaca que aspectos como a seleção de materiais, a busca pela redução do volume de plástico e o incentivo ao design para desmontagem ou reutilização estão alinhados às práticas sustentáveis que orientam sua atuação.

Outro ponto que merece destaque é que a Empresa B esclarece que, em sua realidade operacional, o estágio 2 assume um caráter menos formal e mais pragmático. Essa empresa trabalha com projetos de ciclo curto e níveis moderados de personalização, o que leva à tomada de decisões baseadas, principalmente, na experiência técnica acumulada e no histórico de soluções aplicadas a clientes com características semelhantes.

Assim, embora as duas empresas concordem com as diretrizes gerais do estágio, a Empresa B apresentou como adapta sua execução para garantir maior agilidade e aderência ao perfil do mercado em que atua, evidenciando diferenças na operacionalização prática do modelo.

Com base nas respostas fornecidas pelas empresas para o **segundo questionamento**, pode-se perceber percepções distintas quanto à adequação das atividades propostas para o estágio 2.

A Empresa A apresentou considerações sobre o texto que explica cada atividade do modelo. Suas observações concentram-se sobretudo na necessidade de

maior uniformidade terminológica (como o uso de siglas, que foi corrigido) e generalização para todos os tipos de embalagens. Nesse sentido, as partes mencionadas como rótulos foram acrescentadas ao texto para explicar melhor o conteúdo. Além disso, a Empresa A recomenda o fortalecimento da discussão sobre tecnologias emergentes, como Internet das Coisas e Inteligência Artificial, enfatizando sua relevância para rastreabilidade, controle de qualidade e indicadores de circularidade (essa parte foi revisada também). Dessa forma, a Empresa A não questiona a pertinência das atividades, mas aponta ajustes necessários para garantir maior clareza, precisão técnica e aderência às práticas contemporâneas do setor.

Já a Empresa B reconhece que as atividades propostas são conceitualmente corretas, porém ressalta que algumas etapas apresentam um nível de complexidade maior do que o necessário para sua realidade operacional. Por atender clientes de médio e pequeno porte, a empresa afirma que análises aprofundadas de design para desmontagem ou estudos formais de plano de negócio não se aplicam integralmente ao seu fluxo de trabalho. Em sua prática cotidiana, prevalece uma abordagem simplificada e objetiva, focada na viabilidade técnica imediata, no custo dos materiais e na adequação do projeto aos recursos produtivos disponíveis. Assim, embora concorde com o conceito geral do Estágio 2, a Empresa B realiza uma execução mais enxuta e dinâmica, adaptada à agilidade exigida por seu mercado.

Como ponto comum entre as empresas, observa-se que ambas reconhecem a relevância das atividades propostas e não as consideram inadequadas em sua essência. Entretanto, divergem quanto ao nível de detalhamento, formalização e escopo necessário. A Empresa A sugere aprimoramentos técnico-conceituais para aperfeiçoar o conteúdo, enquanto a Empresa B identifica a necessidade de simplificar determinadas etapas para adequá-las a um contexto operacional mais ágil e menos complexo. Essas diferenças refletem as particularidades estruturais e estratégicas de cada organização.

A análise das respostas em relação ao **terceiro questionamento** evidencia diferenças marcantes na forma como as empresas abordaram a questão referente à possível inclusão de novas atividades no estágio 2 do modelo proposto.

A Empresa A apresentou uma resposta direta e objetiva, afirmando que não identifica lacunas e que o estágio está adequado ao seu processo, sem sugerir complementações.

Em contraposição, a Empresa B elaborou uma resposta mais extensa, descrevendo práticas internas adotadas em seu fluxo operacional, as quais refletem principalmente sua dinâmica cotidiana e não necessariamente eventuais insuficiências do modelo proposto. Entre os pontos levantados, a empresa menciona a validação técnica de produção, a consulta ao histórico de desempenho e a verificação econômica simplificada.

No entanto, essas atividades configuram práticas amplamente difundidas em processos que utilizam modelos estruturados como o *Stage-Gate*, estando, portanto, implicitamente contempladas na lógica desse tipo de metodologia.

Com essa terceira questão, termina a análise do estágio 2, plano de negócios e pode-se passar para as questões relacionadas com o estágio 3 que é desenvolvimento.

6.9.3 Repostas para o estágio 3

As respostas das empresas ao **primeiro questionamento** sobre a adequação das atividades propostas para o Estágio 3 do processo de desenvolvimento de embalagens revelam pontos de convergência e divergência, bem como diferenças na forma de argumentação e no grau de referência aos próprios processos internos.

De modo geral, ambas as empresas reconhecem que as atividades propostas são adequadas ao momento de desenvolvimento da embalagem, demonstrando consenso quanto ao escopo geral dessa etapa. A concordância aparece de forma explícita e direta nas duas respostas, embora com ênfases distintas.

A Empresa A apresenta uma resposta mais direta, breve e focada na adequação da redação. A empresa critica a recorrência de referências a rótulos, sugerindo maior generalidade terminológica para evitar a restrição do modelo a um único tipo de embalagem. Nesse sentido, a parte da escrita sobre rótulos foi reescrita para ficar mais claro o entendimento. Além disso, recomenda ajustes na formulação de determinadas passagens, apontando a necessidade de empregar expressões mais amplas. Nessa parte, o texto foi melhorado de forma a deixar claro quando se trata de um exemplo ou quando é um assunto geral. Sua análise concentra-se predominantemente na forma do texto, enfatizando a precisão e a abrangência conceitual.

A Empresa B, por sua vez, fornece uma resposta mais extensa e descritiva, referindo-se detalhadamente ao próprio processo de desenvolvimento adotado internamente. A empresa ressalta a importância prática do estágio, descrevendo atividades rotineiras como a realização de amostras piloto, testes de soldagem, verificação de resistência e avaliação da aparência final, além de aspectos de compatibilidade dos materiais. Embora não proponha alterações no texto do modelo apresentado, utiliza sua experiência prática para justificar sua concordância e para reforçar a coerência das atividades listadas com as exigências da produção de embalagens flexíveis.

Em síntese, enquanto ambas as empresas validam as atividades do estágio 3, a Empresa A centra sua contribuição na melhoria da redação e na ampliação da aplicabilidade conceitual, ao passo que a Empresa B reforça a aderência prática do modelo por meio da descrição de seu próprio fluxo produtivo.

As respostas das empresas ao **segundo questionamento**, sobre a existência de alguma atividade do estágio 3 considerada inadequada ao processo por elas realizado, revelam tanto convergências quanto divergências no quesito referente ao estilo e profundidade das contribuições.

A Empresa A apresenta uma resposta extremamente direta e concisa, limitando-se a afirmar que não identifica qualquer inadequação nas atividades propostas, configurando uma validação simples e objetiva do modelo apresentado.

A Empresa B, por sua vez, oferece uma resposta mais extensa e analítica, descrevendo de maneira detalhada a forma como seu processo interno se relaciona com as atividades do estágio. Embora considere o conjunto de atividades adequado, a empresa destaca que algumas delas são mais complexas do que o necessário para sua realidade produtiva. Explica que os testes são geralmente realizados no próprio ambiente industrial, o que permite resultados ágeis e alinhados a materiais já consolidados e amplamente utilizados. Além disso, enfatiza que seus clientes, em grande parte de pequeno e médio porte, já conhecem os materiais empregados, o que reduz a necessidade de protocolos laboratoriais formais ou de etapas de homologação mais elaboradas. Dessa forma, sua análise associa a adequação do modelo ao contexto operacional específico, valorizando agilidade, praticidade e confiabilidade baseadas em experiência acumulada.

O ponto comum entre as duas respostas reside na concordância quanto à pertinência geral das atividades do estágio 3. Ambas confirmam que não há inadequações substanciais no escopo proposto.

As respostas das empresas ao **terceiro questionamento** sobre a possível inclusão de novas atividades no Estágio 3 do modelo de desenvolvimento de embalagens apresentam diferentes níveis de detalhamento e distintas perspectivas quanto à aplicação prática do processo.

A Empresa A oferece uma resposta breve e objetiva, afirmando que não identifica nenhuma atividade adicional que deva ser incorporada ao estágio.

A Empresa B, por sua vez, apresenta sugestões fundamentadas em práticas efetivamente realizadas em seu processo produtivo. A empresa destaca a importância de etapas como a validação prática em linha de produção, a manutenção de um histórico interno de desempenho de materiais e a confirmação comercial e técnica junto ao cliente. Essas atividades refletem a forma como o desenvolvimento ocorre em seu contexto específico e demonstram um forte alinhamento com sua rotina operacional. Embora essas sugestões sejam relevantes para a realidade da empresa, elas podem ser consideradas inerentes à lógica adaptativa do modelo *Stage-Gate*, que permite que cada organização incorpore práticas adicionais de acordo com suas necessidades e seus fluxos internos. Dessa forma, o modelo proposto, por ser geral e aplicável a diferentes estruturas produtivas de embalagens, não requer necessariamente a incorporação dessas etapas específicas, cabendo às empresas realizar os ajustes pertinentes à sua própria dinâmica de desenvolvimento.

Com a análise dessas três questões, o estágio 3 de desenvolvimento pode ser considerado adequado conforme as respostas das duas empresas. Então, as próximas questões serão relacionadas ao estágio 4 que é de Teste e Validação.

6.9.4 Repostas para o estágio 4

As duas empresas consultadas apresentaram suas considerações acerca da adequação das atividades propostas para o estágio 4, teste e validação, do modelo de desenvolvimento de embalagens, referentes ao **primeiro questionamento**.

A resposta da Empresa A foi mais concisa e direcionada à forma de redação do material analisado, ressaltando a necessidade de um ajuste terminológico para assegurar maior precisão textual e destacando que a descrição do estágio se

apresenta clara e bem-organizada. Dessa forma, foi corrigido no texto de acordo com o que a Empresa A apresentou.

Em contraste, a Empresa B elaborou uma resposta mais detalhada, relacionando diretamente o conteúdo apresentado às práticas adotadas internamente e enfatizando que o estágio contempla atividades essenciais ao processo de validação final, tais como o desempenho em linha de produção, o controle de qualidade e a aprovação formal pelo cliente.

Assim, observa-se que ambas as empresas demonstraram alinhamento quanto à pertinência do estágio, embora cada uma tenha enfatizado aspectos distintos do material: a Empresa A concentrou-se na clareza e adequação do texto, enquanto a Empresa B enfatizou a correspondência entre o modelo proposto e sua realidade operacional.

As duas empresas consultadas apresentaram suas respostas quanto ao **segundo questionamento** relacionado com a adequação das atividades previstas no estágio 4, teste e validação, do modelo de desenvolvimento de embalagens. Dessa forma as atividades apresentadas foram consideradas adequadas.

A Empresa A limitou-se a uma resposta breve e direta, afirmando não identificar inadequações e não incluindo observações adicionais sobre o processo.

Já a Empresa B apresentou uma resposta extensa e contextualizada, descrevendo como as práticas internas variam conforme o porte e o perfil dos clientes. Essa empresa destacou que, embora o escopo do estágio seja adequado, o grau de formalidade aplicável às atividades depende das exigências específicas de cada projeto, o que implica ajustes operacionais que a empresa realiza de maneira rotineira.

Observa-se, portanto, que ambas as empresas reconhecem a adequação geral das atividades propostas, mas apenas a Empresa B relaciona explicitamente sua avaliação ao processo interno, apresentando nuances operacionais e variações de aplicação.

As duas empresas consultadas apresentaram suas respostas acerca da existência de atividades adicionais que poderiam ser incluídas no estágio 4, teste e validação, do modelo de desenvolvimento de embalagens relacionadas ao **terceiro questionamento**. A análise das manifestações evidencia que ambas consideram o estágio adequado.

A Empresa A ofereceu uma resposta breve e objetiva, afirmando não identificar a necessidade de novas atividades e sem estabelecer relação direta com práticas internas ou com a estrutura conceitual do modelo.

A Empresa B, por sua vez, apresentou uma resposta mais extensa e articulada, descrevendo elementos de seu próprio processo que poderiam ser incorporados ao estágio, tais como o registro interno de homologação, o alinhamento final entre áreas técnicas e comerciais e a revisão periódica de materiais homologados. Essas sugestões dialogam com procedimentos amplamente reconhecidos na literatura e são coerentes com princípios característicos do modelo *Stage-Gate*, especialmente no que se refere ao registro sistemático de decisões, ao fluxo estruturado de informações e ao monitoramento pós-homologação.

Assim, constata-se que ambas as empresas mantêm a percepção de que o estágio é essencialmente adequado, embora somente a Empresa B explicita oportunidades de aprimoramento que, em sua natureza, reforçam práticas inerentes ao próprio modelo *Stage-Gate* e que, por ser tratar de um modelo geral, cada empresa precisa fazer adaptações para a sua própria realidade.

Com a análise dessas três questões termina-se a validação da adequação das atividades do estágio 4, teste e validação, e as próximas questões serão relacionadas com a estágio 5, lançamento, e com a revisão pós-lançamento.

6.9.5 Repostas para o estágio 5

As duas empresas consultadas forneceram respostas ao **primeiro questionamento**, referente à adequação das atividades propostas para o estágio 5 do processo de desenvolvimento de embalagens. De forma geral, ambas reconhecem a importância das atividades previstas para o estágio de pós-implementação, destacando a relevância do acompanhamento do desempenho da embalagem após sua introdução no mercado.

A Empresa B apresenta uma resposta direta, concisa e integralmente alinhada ao escopo proposto, descrevendo práticas internas consolidadas e convergentes com o modelo apresentado. Em contraste, a Empresa A oferece uma resposta mais detalhada, porém menos objetiva, concentrando-se sobretudo em críticas e sugestões relativas à redação do texto explicativo do modelo, o que evidencia maior atenção ao

estilo e à precisão das descrições fornecidas. Essas sugestões da Empresa A foram implementadas para que o texto fique mais bem escrito e mais claro.

Quanto ao conteúdo, ambas mencionam aspectos relacionados ao relacionamento com o cliente, embora sob perspectivas divergentes. A Empresa B relata que utiliza de forma sistemática o *feedback* de clientes e equipes de vendas como instrumento para monitoramento e melhoria contínua, integrando esse retorno ao seu processo interno. A Empresa A, por sua vez, ressalta que, em sua prática, o cliente raramente fornece *feedback* proativo, limitando-se a contatos em situações de problema, o que a leva a atribuir ao fornecedor a responsabilidade pela proposição de melhorias. Dessa forma, observa-se convergência quanto à relevância do monitoramento pós-lançamento, mas divergência quanto à experiência prática e quanto à adequação da redação utilizada no material explicativo que foi apresentado para as empresas.

As duas empresas consultadas apresentaram respostas ao **segundo questionamento**, relativo à adequação das atividades previstas para o estágio 5 do modelo de desenvolvimento de embalagens. Ambas as empresas concordaram que as atividades apresentadas são adequadas para um modelo de desenvolvimento de embalagens.

A Empresa A oferece uma resposta extremamente direta e concisa, limitando-se a afirmar que não identifica qualquer atividade inadequada, sem desenvolver comentários adicionais nem estabelecer relação explícita com seu processo interno.

Em contraste, a Empresa B apresenta uma resposta mais extensa e analítica, descrevendo de forma minuciosa como seu processo real se estrutura e em que medida difere do modelo proposto. A Empresa B afirma ainda que algumas atividades propostas são mais formais do que sua operação comporta, destacando que seu acompanhamento pós-implementação é majoritariamente prático, ágil e baseado em interações informais com clientes, vendas e produção.

Enquanto a primeira responde de maneira estritamente afirmativa, a segunda contextualiza sua avaliação, evidenciando preocupação com a precisão e com a representatividade das práticas demonstrando como é o seu próprio processo de desenvolvimento de embalagens.

As duas empresas consultadas apresentaram respostas ao **terceiro questionamento**, referente à possibilidade de inclusão de atividades adicionais no

estágio 5 do modelo de desenvolvimento de embalagens. A análise das respostas evidencia diferenças quanto à objetividade e à profundidade das observações.

A Empresa A oferece uma resposta direta e concisa, afirmando que o estágio se encontra completo, sem desenvolver qualquer comentário adicional ou estabelecer relação explícita com seu processo interno.

Em contraste, a Empresa B apresenta uma resposta mais detalhada e contextualizada, descrevendo práticas específicas de sua rotina operacional e sugerindo atividades que considera relevantes para reforçar o acompanhamento pós-implementação. A Empresa B propõe ações como coleta estruturada de *feedback*, análise de reincidência de não conformidades e registro de lições aprendidas.

Contudo, observa-se que essas sugestões correspondem a práticas amplamente reconhecidas no âmbito de modelos de desenvolvimento de produtos, podendo ser compreendidas como elementos inerentes às abordagens tradicionais do *Stage-Gate*.

Considerando que o modelo apresentado possui caráter geral e que se espera que cada organização realize adaptações de acordo com suas próprias particularidades operacionais, optou-se por não incorporar tais sugestões de forma explícita.

Com análise dessas três questões, terminou-se a análise do estágio 5 e de todos os estágios do modelo. Nesse sentido, as próximas questões serão relacionadas aos *gates* apresentados no modelo que serão analisados todos de uma vez só.

6.9.6 Repostas para os *gates*

As duas empresas consultadas forneceram respostas à **primeira questão** proposta, permitindo uma análise comparativa quanto à percepção de aderência das atividades dos *gates* colocado no modelo de desenvolvimento de embalagens apresentado.

A resposta da Empresa A foi direta e concisa, concentrando-se especificamente na forma de redação utilizada no modelo apresentado. A empresa destacou que, para refletir de maneira fidedigna a prática organizacional, é necessário evitar a vinculação a um tipo específico de embalagem e empregar terminologias mais abrangentes, tais como texto legal, textos de marketing e informações nutricionais.

Além disso, enfatizou a importância de reduzir abreviações e siglas, bem como explicitar todos os termos técnicos. Assim, sua contribuição se orientou exclusivamente para a adequação terminológica e textual do estágio 5, sem referência ao funcionamento do processo interno. Várias sugestões de melhoria no texto foram incorporadas para que este se tornasse mais claro.

A Empresa B apresentou uma resposta mais longa, detalhada e contextualizada, centrada no próprio processo de desenvolvimento vigente na organização. Assinalou que as ações descritas no modelo estão conceitualmente alinhadas ao fluxo real adotado, embora na prática o nível de formalização varie conforme o porte do cliente atendido. Projetos para clientes de médio e pequeno porte tendem a ocorrer de forma integrada e simplificada, enquanto trabalhos destinados a grandes clientes demandam controles mais rigorosos, documentação extensa e processos formais de auditoria.

Em síntese, ambas as empresas concordam quanto à pertinência geral das atividades previstas no estágio analisado. Entretanto, diferem quanto à natureza das sugestões. A Empresa A limita-se à recomendação de ajustes terminológicos para melhor representar as categorias de informação presentes nas embalagens, ao passo que a Empresa B amplia a discussão e relaciona o modelo às especificidades processuais de sua realidade produtiva, indicando níveis distintos de formalidade conforme o perfil do cliente.

As duas empresas consultadas forneceram respostas à **segunda questão** relativa à adequação do número de *gates* estabelecido no modelo de desenvolvimento de embalagens e, de modo geral, ambas acharam pertinentes a quantidade de *gates* apresentadas no modelo.

A Empresa A apresentou uma resposta extremamente direta e concisa, limitando-se a afirmar que o número de *gates* é adequado.

A Empresa B, por sua vez, ofereceu uma resposta mais extensa, estruturada e descritiva, articulada em linguagem mais elaborada e com referência explícita ao funcionamento do processo adotado pela própria empresa. A organização confirmou que as cinco etapas são adequadas e coerentes com o fluxo natural de desenvolvimento de embalagens, destacando que o modelo favorece clareza, controle e redução de retrabalho. No entanto, relatou que, na prática, algumas fases tendem a se sobrepor ou a integrar-se de modo a garantir maior agilidade no atendimento a clientes de médio e pequeno porte. Ainda assim, reconheceu a utilidade do modelo

como referência, desde que aplicado com flexibilidade conforme a complexidade do projeto e o perfil do cliente.

Em síntese, ambas as empresas concordam quanto à adequação do número de *gates*. Contudo, divergem quanto ao grau de aprofundamento e ao enfoque da resposta. A Empresa A limita-se a confirmar a adequação sem comentários adicionais, ao passo que a Empresa B apresenta uma análise mais pormenorizada, relacionando o modelo às práticas organizacionais e explicitando a necessidade de ajustes contextuais na aplicação das etapas.

As duas empresas consultadas forneceram respostas à **terceira questão** referente à adequação do retorno das atividades finais de cada *gate* ao fluxo dos estágios do modelo de desenvolvimento de embalagens e ambas concordam com o fluxo apresentado no modelo proposto.

A Empresa A apresentou uma resposta relativamente direta, embora acompanhada de um exemplo prático que ilustra o funcionamento real do processo interno. A empresa confirmou que as atividades retornam a etapas adequadas, esclarecendo que, em geral, o fluxo retrocede apenas um estágio para ajustes e redesenho. Contudo, relatou que há situações excepcionais em que o processo precisa ser reiniciado desde o início, como ocorreu em um projeto recente em que testes adicionais revelaram problemas de desempenho da embalagem. Dessa forma, sua resposta enfatiza a variabilidade do retorno no fluxo, sustentada pela experiência concreta da organização.

A Empresa B forneceu uma resposta mais extensa, estruturada e formal, centrada na lógica operacional do modelo e em sua compatibilidade com o processo empregado internamente. A empresa confirmou a coerência entre as atividades finais de cada *gate* e o início das etapas seguintes, destacando que tais transições suportam a continuidade do desenvolvimento e a prevenção de falhas por meio de verificações técnicas e comerciais. Indicou ainda que, embora o modelo seja adequado, seu processo interno é mais dinâmico e menos formal, com etapas que podem ocorrer de forma simultânea, o que reflete a necessidade de flexibilidade para atender diferentes perfis de clientes. Ainda assim, reforçou que o encadeamento proposto é funcional e condizente com a prática organizacional.

Em síntese, ambas as empresas concordam que as atividades finais dos *gates* retornam de maneira apropriada ao fluxo dos estágios.

Com a análise das questões dos *gates*, pôde-se concluir todo o processo de validação da adequação do modelo proposto e foi acrescentada somente uma atividade no estágio de descoberta que se trata da verificação do histórico quando o processo de inicia com o pedido por alguém que já é cliente da empresa. O modelo final pode ser visto na Figura 27.

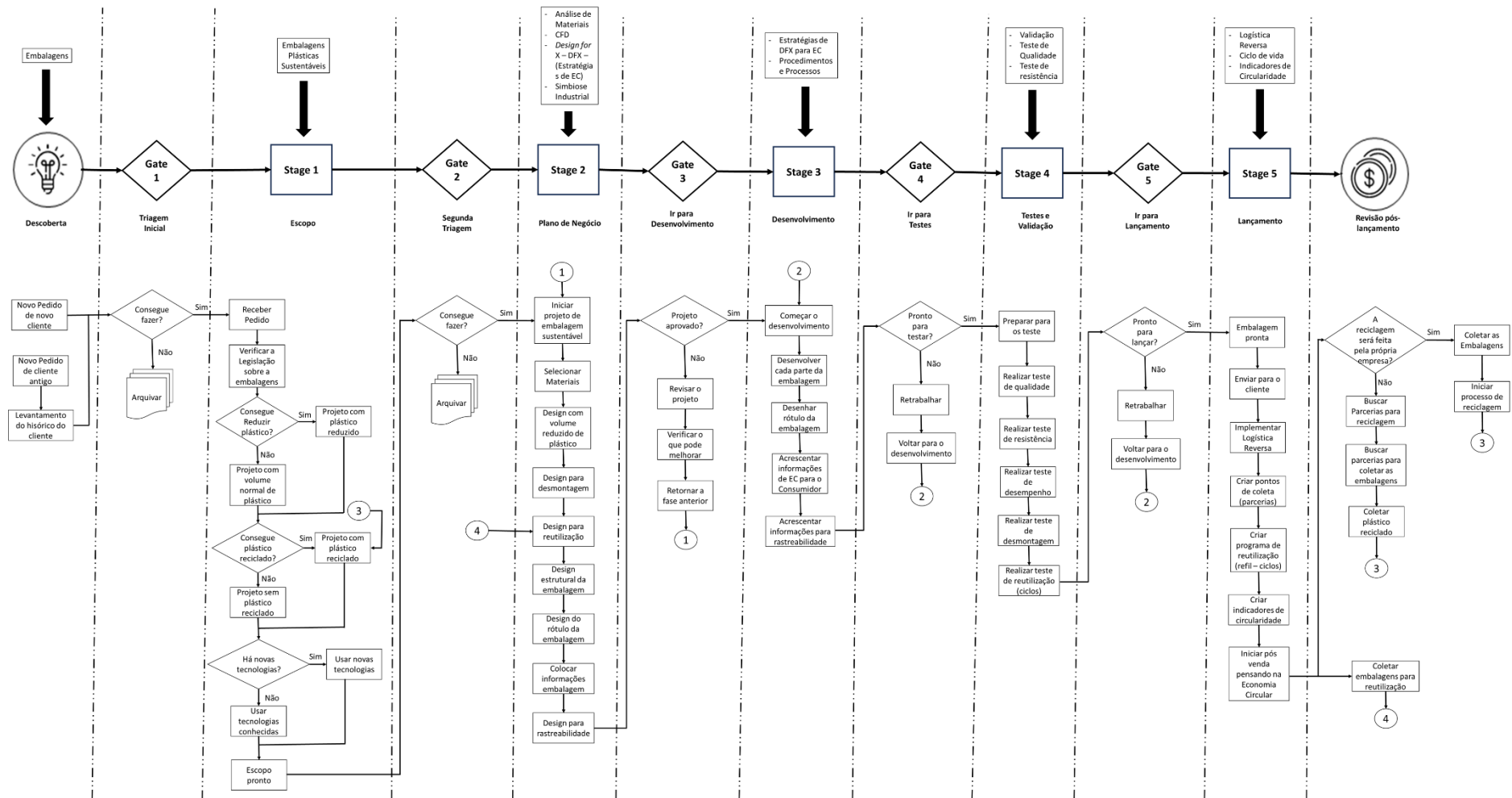


Figura 27: Modelo de PDP para embalagens plásticas considerando práticas da EC
Fonte: elaborado pelo autor

7. Considerações finais

7.1 Conclusões

A transformação dos sistemas produtivos tornou-se imprescindível diante do esgotamento progressivo de recursos naturais e da elevação dos impactos ambientais associados ao modelo econômico linear. A lógica linear, sustentada na extração intensiva de matéria-prima, no consumo acelerado e no descarte imediato, revela-se incompatível com a manutenção da capacidade regenerativa dos ecossistemas e com a sustentabilidade das cadeias produtivas. Nesse cenário, a economia circular surge como uma abordagem que busca romper essa lógica, ao propor ciclos contínuos de uso, reuso e regeneração de materiais, ampliando o valor de recursos ao longo do tempo e reduzindo significativamente a geração de resíduos. Essa perspectiva dialoga diretamente com compromissos globais de sustentabilidade, entre eles os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, que enfatizam a necessidade de padrões responsáveis de produção e consumo, a adoção de práticas ambientalmente adequadas e o fortalecimento de parcerias que possibilitem a transição para modelos econômicos regenerativos.

O desenvolvimento de produtos desempenha papel essencial nesse processo, pois é nesse momento que se definem as características fundamentais que determinarão o desempenho ambiental de um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida. Diferentes metodologias e modelos têm sido aplicados para orientar esse processo, destacando-se aqueles que estruturam a tomada de decisões em etapas sucessivas, que integram dimensões técnicas, estratégicas e operacionais. Independentemente das variações existentes, todos convergem para a necessidade de organizar o fluxo de desenvolvimento de modo a reduzir incertezas e aumentar a eficiência da concepção de novos produtos. Entretanto, tais modelos historicamente se orientaram por critérios de viabilidade econômica e desempenho técnico, dedicando pouca atenção à circularidade como princípio estruturante.

A incorporação da circularidade ao desenvolvimento de produtos torna-se, portanto, condição indispensável para que setores industriais possam atuar de forma responsável e competitiva. O desenvolvimento de produtos precisa deixar de ser orientado apenas pela eficiência técnica e econômica de curto prazo, passando a contemplar estratégias que ampliem o valor dos materiais ao longo de todo o ciclo de

vida, reduzam desperdícios e promovam maior durabilidade, reparabilidade e reciclabilidade. Tal orientação exige que os produtos nasçam circulares, de modo que os princípios da circularidade estejam integrados desde as etapas iniciais de concepção e planejamento.

O setor de embalagens ocupa posição central nesse debate, pois envolve grandes volumes de produção, ciclos de vida extremamente curtos e um impacto ambiental expressivo, especialmente quando se considera a perda imediata de valor econômico após o primeiro uso. A baixa taxa de reaproveitamento e a rápida obsolescência das embalagens evidenciam a necessidade de reestruturar seus modelos de desenvolvimento, incorporando escolhas mais conscientes de materiais, estratégias de design que facilitem a reciclagem, alternativas de reuso, integração com sistemas de logística reversa e mecanismos que permitam reinserir esses materiais em ciclos produtivos renovados.

No contexto internacional, o setor movimenta volumes expressivos e atende a diversas cadeias produtivas, sendo especialmente relevante para a indústria de alimentos, higiene e bens de consumo. No Brasil, o setor de embalagens ocupa posição estratégica na economia nacional, tanto pelo seu peso na indústria quanto pela abrangência de sua atuação. O país apresenta alto consumo de embalagens plásticas, impulsionado pela dimensão do mercado consumidor e pela expansão do varejo. Contudo, apesar dos avanços na infraestrutura de reciclagem e na conscientização ambiental, a taxa de reaproveitamento de plásticos ainda permanece aquém do potencial existente. Além disso, grande parte das embalagens descartadas não retorna ao ciclo produtivo, o que evidencia a necessidade de incorporar princípios circulares desde sua concepção. A relevância desse setor para a economia brasileira reforça a urgência de reavaliar práticas tradicionais e ampliar estratégias que promovam maior eficiência material e redução de impactos ambientais.

A adoção da economia circular no setor de embalagens demanda, portanto, não apenas mudanças tecnológicas, mas também uma reconfiguração cultural e organizacional. Pressupõe colaboração entre fornecedores, recicladores, certificadoras, clientes e órgãos reguladores, consolidando redes capazes de sustentar fluxos circulares de materiais em diferentes escalas. Assim, a circularidade deixa de ser uma iniciativa isolada e passa a constituir um princípio orientador, capaz de redefinir práticas produtivas e fortalecer a resiliência das cadeias de valor.

Nesse cenário, torna-se indispensável reposicionar o desenvolvimento de produtos como eixo central da circularidade. É nas etapas iniciais, quando são definidos características, materiais, funcionalidades e requisitos de desempenho, que se estabelece o potencial de circularidade de uma embalagem. A adoção de materiais mais compatíveis com reciclagem, a simplificação estrutural, o uso de monomateriais, o planejamento de ciclos prolongados de vida útil e a integração com sistemas de logística reversa dependem de decisões tomadas no início do processo. Para que uma embalagem seja circular, não basta manejar resíduos ao final de sua vida útil; é necessário que ela seja concebida com essa finalidade desde o princípio. No caso das embalagens plásticas, isso é ainda mais relevante, pois escolhas precoces determinam sua viabilidade de reuso, sua reciclabilidade e sua inserção em cadeias produtivas renovadas. Quando o desenvolvimento de produtos incorpora essa visão, possibilita-se a criação de embalagens alinhadas aos princípios da economia circular, contribuindo para sistemas produtivos mais sustentáveis e resilientes.

Portanto, o presente estudo teve como objetivo principal propor e verificar a validação de um modelo de referência para o desenvolvimento de embalagens plásticas, integrando princípios, práticas e ferramentas de Economia Circular ao Processo de Desenvolvimento de Produto. E, para auxiliar na realização desse objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar as práticas de EC e incorporá-las ao PDP;
- Analisar as ferramentas a serem utilizadas no PDP que integrem as práticas de EC;
- Verificar a adequação do modelo de referência proposto por meio do método de Estudo de Caso.

A análise das práticas da EC exige inicialmente a compreensão de seus fundamentos conceituais, que a definem como um modelo orientado à redução do desperdício e ao uso contínuo de materiais, promovendo a reutilização, reciclagem e regeneração de recursos naturais. Também cabe destacar que é necessário pensar nos princípios da EC, como os 3R (Redução, Reutilização e Reciclagem) que corroboram para esse tipo de modelo defendido pelas práticas da EC. Essa perspectiva reforça que os produtos precisam nascer circulares, o que implica considerar a circularidade desde as fases iniciais do desenvolvimento. A circularidade, contudo, não se limita à escolha de materiais; envolve também princípios como

extensão do ciclo de vida, otimização de recursos, simbiose industrial, logística reversa, uso de indicadores e alinhamento à legislação. Esse conjunto de elementos é essencial para reorientar o desenvolvimento de produtos diante do desafio de manter produtos, componentes e materiais utilizados no seu nível mais alto todo o tempo.

A observação de práticas reais permite compreender como esses princípios se manifestam no setor industrial, especialmente em embalagens plásticas. Um dos exemplos identificados é o desenvolvimento de embalagens que utilizam resina reciclada certificada, redução de espessura e soluções projetadas desde a origem para serem reinseridas no ciclo produtivo, como o Ecoprime, embalagem 100% reciclável e encolhível. Também surgem iniciativas que conectam diferentes agentes da cadeia para viabilizar o retorno de materiais, como projetos que realizam recolhimento de embalagens e transformação em resina PCR em parceria com cooperativas e clientes. Essas práticas revelam o papel central da logística reversa, ao permitir que resíduos retornem ao processo produtivo, além de evidenciar benefícios como redução do uso de matéria-prima virgem, fortalecimento da reciclagem e estímulo a novas formas de cooperação. Também revelam barreiras como custos elevados, necessidade de tecnologia adequada, limitações no pós-consumo e dependência do engajamento do consumidor, como pode ser visto nos casos analisados no Capítulo 5 deste trabalho.

A incorporação dessas práticas ao desenvolvimento de produtos requer ajustes estruturados nas etapas do processo. Essa necessidade é reforçada ao verificar que os modelos de PDP são focados em determinadas áreas que poucos, ou praticamente nenhum, incorporam a EC no PDP para um melhor aproveitamento dos recursos, o que demonstra a importância de criar mecanismos que orientem a circularidade desde o planejamento inicial. Assim, foram propostas atividades específicas que integram práticas circulares ao fluxo de desenvolvimento, incluindo análises de materiais, avaliação da reciclabilidade, estratégias de design que favorecem desmontagem e reuso, adoção de ferramentas como avaliação de ciclo de vida, simbiose industrial e logística reversa. Essas atividades são apresentadas com o propósito de permitir que os produtos sejam considerados circulares e componentes e materiais possam ser utilizados e reaproveitados por um tempo maior.

Desse modo, analisar práticas da EC e incorporá-las ao PDP significa transformar princípios teóricos em critérios decisórios, integrar evidências práticas

provenientes da indústria e reorganizar o desenvolvimento de modo que a circularidade não seja uma etapa final, mas um requisito estruturante. Isso implica projetar materiais, funções e sistemas de descarte de forma integrada, garantindo compatibilidade com a reciclagem, viabilidade da logística reversa, atendimento às exigências legais e aderência a indicadores de desempenho circular. Ao fazer essas conexões, torna-se possível criar produtos que efetivamente mantenham valor ao longo do tempo, reforçando a transição para sistemas produtivos mais eficientes, regenerativos e alinhados aos princípios da economia circular.

A integração das ferramentas da EC ao PDP foi estruturada a partir da adaptação do modelo *Stage-Gate*, utilizado como base para organizar de forma progressiva e sistêmica todas as atividades necessárias à concepção, desenvolvimento, validação e lançamento de embalagens alinhadas aos princípios da circularidade. Essa abordagem permitiu distribuir, ao longo das etapas do PDP, instrumentos que garantem escolhas conscientes de materiais, redução de impactos, rastreabilidade, eficiência de recursos e fechamento de ciclos.

No estágio inicial, dedicado ao escopo, o modelo incorpora decisões fundamentais para orientar o desenvolvimento circular desde a concepção. As atividades destacadas incluem verificar a legislação aplicável às embalagens, avaliar a possibilidade de reduzir o volume de plástico, determinar a viabilidade de incorporar resina reciclada pós-consumo e considerar o uso de tecnologias mais limpas. Nesse momento, são estabelecidos os direcionadores gerais do projeto, indicando se o produto deverá priorizar redução de volume utilizado de plástico, incorporação de PCR, uso de tecnologias sustentáveis ou seguir alternativas já conhecidas, sempre com base em critérios ambientais. A definição do escopo circular nesse estágio inicial é crucial, pois orienta todas as etapas subsequentes. O Capítulo 6 desta tese apresenta o modelo proposto com base no modelo *Stage-Gate* de forma a incorporar as práticas e ferramentas da EC para o desenvolvimento de embalagens plásticas.

Com o avanço para o estágio de plano de negócio, o PDP passa a incorporar ferramentas estruturadas que aprofundam a análise técnica e funcional da embalagem sob a perspectiva da circularidade. Entre elas estão a análise de materiais, que verifica reciclabilidade, compatibilidade com o ciclo técnico e origem; o CFD, que relaciona funções da embalagem às estratégias de economia circular; o conjunto de técnicas de *Design for X* voltado ao design para reciclabilidade, desmontagem, reutilização, modularidade e durabilidade; e a simbiose industrial, que identifica oportunidades de

integração entre processos, permitindo que resíduos de uma etapa possam servir de insumo a outra. Nesse estágio também são definidas atividades práticas, como selecionar materiais compatíveis com rotas circulares, projetar embalagens com menor volume de plástico, desenvolver soluções que permitam desmontagem e reutilização e planejar informações de rastreabilidade e rotulagem orientadas para o ciclo de vida. Essas atividades estão presentes na seção 6.3 desta tese.

No estágio de desenvolvimento, as ferramentas anteriormente planejadas são aplicadas diretamente no produto. As atividades envolvem detalhar cada componente da embalagem com orientações de economia circular, ajustar o design do rótulo e dos elementos gráficos para facilitar reciclagem, incluir instruções claras ao consumidor sobre descarte e reutilização e implementar sistemas de rastreabilidade por meio de códigos, marcações ou tecnologias que permitam acompanhar o ciclo pós-consumo. Trata-se do momento em que o design circular é efetivamente materializado e transformado em especificações técnicas. Essas atividades estão presentes na seção 6.4 desta tese.

O estágio de testes e validação consolida a verificação da circularidade na prática. São realizados ensaios de qualidade, resistência e desempenho, além de testes específicos de desmontagem, fundamentais para avaliar a reciclabilidade do produto. Para soluções reutilizáveis, incluem-se testes de durabilidade e higienização que verificam a capacidade da embalagem de suportar múltiplos ciclos de uso. Esse conjunto de verificações assegura que o produto concebido segundo princípios circulares seja viável tecnicamente, seguro e adequado ao sistema de reciclagem ou reutilização previsto. Essas atividades podem ser vistas na seção 6.5 da tese.

Por fim, o estágio de lançamento incorpora ferramentas que garantem o funcionamento circular no pós-consumo. Incluem-se mecanismos de logística reversa com coleta estruturada e parcerias externas, programas de reutilização que incentivam retorno ou refil, criação de indicadores de circularidade para monitorar o desempenho ambiental e acompanhamento pós-venda orientado à circularidade. Caso a empresa não realize internamente o processo de reciclagem, o modelo prevê a busca de parcerias para assegurar que o fluxo circular se concretize. Essas atividades fecham o ciclo, permitindo que a embalagem retorne ao sistema produtivo e fornecendo dados que retroalimentam o PDP com informações reais de funcionamento circular. Essas atividades podem ser vistas na seção 6.6 da tese.

Dessa forma, ao distribuir ferramentas e atividades da EC ao longo de todos os estágios do *Stage-Gate*, o PDP passa a funcionar como um processo integrado e orientado à sustentabilidade, assegurando que as embalagens sejam concebidas, desenvolvidas, testadas e lançadas de modo a permanecerem em ciclos contínuos de uso, reciclagem ou reutilização. Isso consolida a circularidade como um elemento estruturante do desenvolvimento de produtos, e não apenas como um atributo complementar inserido ao final do processo.

A verificação da adequação do modelo de referência proposto foi realizada a partir da análise sistemática dos resultados do estudo de caso envolvendo as empresas A e B. O ponto de partida para essa verificação foi o reconhecimento de que o modelo precisou ser aprimorado com base nas evidências coletadas nas empresas que participaram do estudo de caso (como pode ser verificado no Capítulo 5 desta tese). Isso foi realizado para que o modelo possa descrever melhor o processo de desenvolvimento de embalagens. Esse ajuste decorre da necessidade de incorporar práticas observadas na realidade prática industrial, alinhando o modelo aos desafios concretos enfrentados pelas empresas analisadas.

A adequação do modelo também se fundamenta na constatação de que as atividades da EC integradas ao PDP devem refletir o comportamento real das empresas, visto que a análise mostrou diferenças de maturidade e de aplicação das práticas de circularidade entre elas. O modelo foi ajustado levando em consideração as rotinas, ferramentas e barreiras identificadas no estudo. Isso assegura que a proposta teórica não se limite a um arranjo conceitual, mas represente um fluxo compatível com a prática industrial, mas de forma genérica.

A validação propriamente dita é discutida nas seções 6.8 e 6.9, que tratam diretamente do processo de verificar a coerência e aplicabilidade do modelo. Pode-se notar que nessas seções a validação do modelo envolve avaliar se as etapas e atividades propostas são aplicáveis e suficientes para alcançar os objetivos de EC dentro do PDP. Essa validação considera não apenas a estrutura sequencial dos estágios, mas também a pertinência das ferramentas selecionadas, a viabilidade das atividades sugeridas e sua aderência às necessidades do setor de embalagens.

A validação de adequação contempla a verificação da capacidade do modelo de orientar decisões em cada estágio do desenvolvimento de embalagens de modo a avaliar se as atividades definidas em cada estágio são capazes de orientar o desenvolvimento de embalagens, conforme os princípios da EC. Dessa forma, a

validação não se restringe ao aspecto descritivo, mas examina a efetividade prática das atividades propostas, garantindo que cada etapa contribua para a circularidade do produto.

A Figura 27 apresenta o modelo final depois que todos os ajustes foram incorporados para estar em coerência com as necessidades observadas no estudo de caso, evidenciando sua adequação. A verificação de adequação confirma que as atividades incluídas são pertinentes, exequíveis e alinhadas tanto às práticas industriais quanto aos princípios da EC. Assim, o estudo de caso não apenas fundamenta a construção do modelo, mas também atesta sua capacidade de orientar o desenvolvimento circular de embalagens plásticas, consolidando-o como um instrumento aplicável e consistente para o PDP.

Dessa forma, tanto o objetivo geral como os objetivos específicos foram atendidos para a elaboração e verificação da adequação do modelo de PDP para embalagens plásticas que considere práticas da EC de modo a demonstrar que um produto circular precisa ser pensado de acordo com a circularidade desde o início da sua criação.

Como contribuição científica, esta tese propõe um modelo de referência que integra princípios da Economia Circular ao Processo de Desenvolvimento de Produto no setor de embalagens plásticas, estruturando fases, gates, práticas, ferramentas e critérios de decisão aplicáveis ao contexto industrial. O modelo amplia a literatura ao transformar conceitos de circularidade em atividades operacionais específicas do PDP, permitindo sua aplicação desde as etapas iniciais do desenvolvimento.

Sob a perspectiva prática, o modelo oferece às organizações um roteiro estruturado para incorporar circularidade desde a concepção das embalagens, apoiando decisões relacionadas à seleção de materiais, reciclabilidade, redução de massa, utilização de PCR, compatibilidade entre componentes, desmontagem, logística reversa e monitoramento pós-lançamento.

7.2 Limitações e trabalhos futuros

Apesar da presente tese cumprir com os objetivos propostos, foram verificadas algumas limitações que necessitariam de mais investigações. Estas foram tratadas neste trabalho como sugestões para trabalhos futuros por fugirem do alcance do presente estudo.

A primeira limitação refere-se ao modelo e aspectos da EC que não foram consideradas, como a questão da utilização da água (que é um recurso importante e que pode ser tornar escasso) e a questão de energia (que precisa ser de fonte limpa, ou seja, que precisa ser de fonte renovável como, por exemplo, a energia solar). O modelo focou apenas no desenvolvimento do produto que, no contexto do presente estudo, foi específico para embalagens. Nesse sentido, a primeira sugestão para trabalhos futuros seria considerar a questão da água e da energia no modelo proposto.

Uma segunda limitação é a utilização e comparação com mais conceitos *ecodesign* que não foram tão abordados nesta tese. Não foram considerados esses conceitos para que o foco pudesse ser nos conceitos e práticas da EC e no PDP. Dessa forma, outra sugestão para trabalhos futuros seria a comparação com conceitos de *ecodesign* e até mesmo adaptação do modelo para incorporar também esses conceitos.

Outra sugestão seria a ampliação do número de casos (com mais empresas) que pudessem validar o modelo de modo a criar métricas para quantificar o quanto o modelo é adequado, segundo as análises das empresas.

Além disso, a pesquisa foi desenvolvida a partir de dois estudos de caso realizados em empresas brasileiras do setor de embalagens plásticas, o que limita a generalização dos resultados para outros contextos industriais. A coleta de dados concentrou-se predominantemente em profissionais diretamente relacionados ao desenvolvimento de produtos, não contemplando de forma transversal outras áreas organizacionais relevantes para a implementação da EC, como produção, suprimentos, qualidade, logística e pós-consumo. Dessa forma, sugere-se que estudos futuros ampliem a diversidade de participantes e áreas analisadas dentro das organizações, permitindo uma visão mais abrangente da aplicação do modelo proposto.

Outra limitação refere-se à ausência de uma implementação longitudinal do modelo nas empresas analisadas. Assim, não foi possível realizar uma avaliação quantitativa comparativa dos resultados organizacionais antes e após a aplicação do modelo, especialmente em relação a indicadores ambientais, operacionais e econômicos associados à circularidade. Nesse sentido, recomenda-se que pesquisas futuras realizem aplicações práticas e acompanhamentos longitudinais do modelo, permitindo avaliar seus impactos ao longo do tempo.

Também deve ser destacado que a pesquisa concentrou-se especificamente no setor de embalagens plásticas, não abrangendo outros segmentos industriais ou outros tipos de embalagens. Dessa forma, sugere-se que trabalhos futuros investiguem a aplicação e adaptação do modelo em diferentes setores industriais, permitindo avaliar sua aderência em contextos produtivos distintos.

Outra oportunidade de pesquisa futura refere-se à aplicação do modelo em organizações com diferentes níveis de maturidade em EC. Os casos analisados nesta tese apresentavam características relativamente semelhantes quanto à adoção de práticas circulares, não sendo possível afirmar como o modelo se comportaria em empresas em estágios iniciais ou avançados de maturidade em EC. Além disso, o modelo proposto não contempla mecanismos específicos para mensuração ou classificação da maturidade organizacional em EC. Assim, recomenda-se que pesquisas futuras investiguem possíveis adaptações do modelo para diferentes níveis de maturidade organizacional e desenvolvam mecanismos de avaliação associados a esse contexto.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos voltados à aplicação do modelo em pequenas e médias empresas, considerando suas limitações estruturais, operacionais e financeiras. Pesquisas futuras podem avaliar quais práticas, ferramentas e etapas do modelo apresentam maior viabilidade e contribuição para organizações de menor porte, permitindo adaptações mais adequadas às suas características e recursos disponíveis

Referências

- ABRE, Associação Brasileira de Embalagens. **Estudo ABRE Macroeconômico da Embalagem e Cadeia de Consumo**. 2024. Disponível em: <https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2023-2/> Acesso em: 17 Jun. 2024.
- ALMEIDA, S. T.; BORSATO, M.; UGAYA, C. M. L. Application of exergy-based approach for implementing design for reuse: The case of microwave oven. **Journal of Cleaner Production**, v.168, n.1, p. 876-892, 2017.
- AMELI, M.; MANSOUR, S.; AHMADI-JAVID, A. A simulation-optimization model for sustainable product design and efficient end-of-life management based on individual producer responsibility. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 140, p. 246-258, 2019.
- AMEND, C.; REVELLIO, F.; TENNER, I.; Schaltegger, S. The potential of modular product design on repair behavior and user experience – Evidence from the smartphone industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 367, n. :20, 2022.
- ASIF, F. M. A.; ROCI, M.; LIEDER, M.; RASHID, A.; MIHELIC, A.; KOTNIK, S. A methodological approach to design products for multiple lifecycles in the context of circular manufacturing systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 296, n.10, 2021.
- ASSUNÇÃO, G. M. A Gestão ambiental rumo à economia circular: como o Brasil se apresenta nessa discussão. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, Niterói-RJ, v. 14, n. 2, p. 223-231, 2019.
- ATLASON, R. S.; GIACALONE, D.; PARAJULY, K. Product design in the circular economy: Users' perception of end-of-life scenarios for electrical and electronic appliances. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, n.1, p. 1059-1069, 2017.
- AWAIS, S.; TIPU, A. Open innovation process in developing-country manufacturing organisations: extending the Stage-Gate model. **International Journal of Business Innovation and Research**, v. 6, n. 3, p. 355-378, 2012.
- AWAN, U.; SROUFE, R.; SHAHBAZ, M. Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations for future research. **Business Strategy and the Environment**, v. 30, n. 4, p. 2038-2060, Mai., 2021.
- BAG, S.; YADAV, G.; DHAMIJA, P.; KATARIA, K. K. Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, n. 25, Jan., 2021.
- BATWARA, A.; SHARMA, V.; MAKKAR, M.; GIALLANZA, A. An Empirical Investigation of Green Product Design and Development Strategies for Eco Industries Using Kano Model and Fuzzy AHP. **Sustainability**, v. 14, n. 14, 2022.
- BAXTER, M. R. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2ª edição. São Paulo: Blucher, 2000.
- BLOMSMA, F.; BRENNAN, G. The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 603-614, Jun., 2017.
- BOCKEN, N. M. P.; SCHUIT, C.S.C.; KRAAIJENHAGEN, C. Experimenting with a circular business model: Lessons from eight cases. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 28, p. 79-95, Set., 2018.
- BOCKEN, N. M. P.; PAUW, I.; BAKKER, C.; GRINTEN, B. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 5, p. 308-320, 2016.

- BOCKEN, N.; FARRACHO, M.; BOSWORTH, R.; KEMP, R. The front-end of eco-innovation for eco-innovative small and medium sized companies. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 31, n. 1, p. 43-57, 2014.
- BOORSMA, N.; PECK, D.; BAKKER, T.; BAKKER, C.; BALKENENDE, R. The strategic value of design for remanufacturing: a case study of professional imaging equipment. **Journal of Remanufacturing**, v. 12, p. 187-212, 2022.
- BOVEA, M. D.; PÉREZ-BELIS, V. A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. **Journal of Cleaner Production**, v. 20, n. 1, p. 61-71, 2012.
- BOVEA, M. D.; PÉREZ-BELIS, V. Identifying design guidelines to meet the circular economy principles: A case study on electric and electronic equipment. **Journal of Environmental Management**, v. 228, n. 15, p. 483-494, 2018.
- BOYER, R. H. W.; HUNKA, A. D.; WHALEN, K. A. Consumer Demand for Circular Products: Identifying Customer Segments in the Circular Economy. **Sustainability**, v. 13, n. 22, 2021.
- BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010.
- _____. Projeto de lei. Nº 1874, de 2022. **Institui a Política Nacional de Economia Circular**. 2022. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9180856&ts=1681324906159>. Acesso em: 17 Jun. 2024.
- _____. Decreto Nº 12.082, de 27 de junho de 2024. **Institui a Estratégia Nacional de Economia Circular**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2024.
- BRESSANELLI, G.; SACCANI, N.; PERONA, M.; BACCANELLI, I. Towards Circular Economy in the Household Appliance Industry: An Overview of Cases. **Resources**, v. 9, n. 11, 2020.
- BSI – BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 8001**: Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations-guide. BSI, 2017.
- CANTAMESSA, M.; MONTAGNA, F. **Management of Innovation and Product Development: Integrating Business and Technological Perspectives**. Londres: Springer, 2016.
- CHOI, J.; KIM, B.; HAN, C. H.; HAHN, H.; PARK, H.; YOO, J.; JEONG, M. K. Methodology for assessing the contribution of knowledge services during the new product development process to business performance. **Expert Systems With Applications**, v. 167, 2021.
- CHOUINARD, U.; PIGOSSO, D. C. A.; MCALOONE, T. C.; BARON, L.; ACHICHE, S. Potential of circular economy implementation in the mechatronics industry: An exploratory research. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, n. 1, 2019.
- CONG, L.; ZHAO, F.; SUTHERLAND, J. W. A Design Method to Improve End-of-Use Product Value Recovery for Circular Economy. ASME. **Journal of Mechanical Design**, v. 141, n. :4, 2019.
- COOPER, R. G. Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products. **Business Horizon**, v. 33, n. 3, p. 44-54, 1990.
- _____. Perspective: The Stage-Gate Idea-to-Launch Process - Update, What's New, and NexGen Systems. **The Journal of Product Innovation Management**, v. 25, n. 3, p. 213-232, 2008.
- CORDELLA, M.; ALFIERI, F.; CLEMM, C.; BERWALD, A. Durability of smartphones: A technical analysis of reliability and repairability aspects. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, n. 1, 2021.
- DALENOGARE, L. S.; BENITEZ, G. B.; AYALA, N. F.; FRANK, A. G. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, v. 204, p. 383–394, 2018.
- DANTAS, T. E. T.; SOUZA, E. D.; DESTRO, I. R.; HAMMES, G.; RODRIGUEZ, C. M. T.; SOARES, S. R. How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the

Sustainable Development Goals. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 213-277, Abr., 2021.

DESING, H.; BRAUN, G.; HISCHIER, R. Resource pressure – A circular design method. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 164, 2021.

DIAS, V. M. R. **Práticas de economia circular aplicáveis no processo de desenvolvimento de produtos aeronáuticos: proposição teórica e avaliações em empresas**. 360 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual Paulista, UNESP. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2019.

DIAZ, A.; REYES, T.; BAUMGARTNER, R. J. Implementing circular economy strategies during product development. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 184, 2022.

DIAZ, A.; SCHÖGGL, J. P.; REYES, T.; BAUMGARTNER, R. J. Sustainable product development in a circular economy: Implications for products, actors, decision-making support and lifecycle information management. **Sustainable Production and Consumption**. 26, 2021.

DOKTER, G.; THUVANDER, L.; RAHE, U. How circular is current design practice? Investigating perspectives across industrial design and architecture in the transition towards a circular economy. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 692-708, 2021.

DUMÉE, L. F. Circular Materials and Circular Design—Review on Challenges Towards Sustainable Manufacturing and Recycling. **Circular Economy and Sustainability**, v. 2, p. 9–23, Mar., 2022.

EDDY, D.; KRISHNAMURTY, S.; GROSSE, I.; WITHERELL, P.; WILEDEN, J.; LEWIS, K. An Integrated Approach to Information Modeling for the Sustainable Design of Products. **ASME. Journal of Computing and Information Science in Engineering**, v. 14, n. 2, 2014.

ELIA, V.; GNONI, M. G.; TORNESE, F. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, n. 20, p. 2741-2751, Jan., 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Completando a Figura: como a Economia Circular Ajuda a Enfrentar as Mudanças Climáticas**. Material Economics: Ellen Macarthur Foundation, 2019.

_____. **Rumo à Economia Circular: o racional de negócio para acelerar a transição**. Cowes: Ellen Macarthur Foundation, 2015.

_____. **Towards the circular economy: Economic and business rationale for a circular economy**. v. 1: Cowes: Ellen Macarthur Foundation, 2013.

ERTZ, M.; LEBLANC-PROULX, S.; SARIGÖLLÜ, E.; MORIN, V. Made to break? A taxonomy of business models on product lifetime extension. **Journal of Cleaner Production**, v. 234, n. 10, p. 867-880, Out., 2019.

ESPOSITO, M.; TSE, T.; SOUFANI, K. Introducing a Circular Economy: New Thinking with New Managerial and Policy Implications. **California Management Review**, v. 60, n. 3, p. 5-19, 2018.

EVARD, D.; REJEB, H. B.; ZWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. Designing Immortal Products: A Lifecycle Scenario-Based Approach. **Sustainability**, v. 13, n. 6, 2021.

FEHRE, J. A.; WIELAND, H. A systemic logic for circular business models. **Journal of Business Research**, v. 125, p. 609-620, Mar., 2021.

FERNANDO, Y.; TSENG, M. L.; SROUFE, R.; ABIDEEN, A. Z.; SHAHARUDIN, M. S.; JOSE, R. Eco-innovation impacts on recycled product performance and competitiveness: Malaysian automotive industry. **Sustainable Production and Consumption**, v. 28, p. 1677-1686, 2021.

FIGGE, F.; THORPE, A. S.; GIVRY, P.; CANNING, L.; FRANKLIN-JOHNSON, E. Longevity and Circularity as Indicators of Eco-Efficient Resource Use in the Circular Economy. **Ecological Economics**, v. 150, p. 297-306, Ago., 2018.

FIROUZ, M. S.; MOHI-ALDEN, K.; OMID, M. A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. **Food Research International**, v. 141, Mar., 2021.

- FORD, P.; FISHER, J. Designing consumer electronic products for the circular economy using recycled Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS): A case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 236, n. 1, 2019.
- FRANCO, M. A. Circular economy at the micro level: A dynamic view of incumbents' struggles and challenges in the textile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, n. 1, p. 833-845, 2017.
- FRANKLIN-JOHNSON, E.; FIGGE, F.; CANNING, L. Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, n. 1, p. 589-598, Oct., 2016.
- FUNG, Y. N.; CHAN, H. L.; CHOI, T. M.; LIU, R. Sustainable product development processes in fashion: Supply chains structures and classifications. **International Journal of Production Economics**, v. 231, 2021.
- GAGNON, B.; TANGUAY, X.; AMOR, B.; IMBROGNO, A. F. Forest Products and Circular Economy Strategies: A Canadian Perspective. **Energies**, v. 15, n. 3, 2022.
- GALLEGO-SCHMID, A.; CHEN, H. M.; SHARMINA, M.; MENDOZA, J. M. F. Links between circular economy and climate change mitigation in the built environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, n. 1, Jul., 2020.
- GEISSDOERFER, M.; PIERONI, M. P. P.; PIGOSSO, D. C. A.; SOUFANI, K. Circular business models: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, n. 20, Dez., 2020.
- GENOVESE, A.; ACQUAYE, A. A.; FIGUEROA, A.; KOH, S. L. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. **Omega**, v. 66, p. 344-357, 2015.
- GEUEKE, B.; GROH, K.; MUNCKE, J. Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p. 491-505, 2018.
- 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**, v. 114, n. 15, p. 11-32, 2016.
- GUINÉ, R. P. F.; FLORENÇA, S. G.; BARROCA, M. J.; ANJOS, O. The Link between the Consumer and the Innovations in Food Product Development. **Foods**, v. 9, 2020.
- GULDMANN, e.; HUULGAARD, R. D. Barriers to circular business model innovation: A multiple-case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 243, n. 10, Jan., 2020.
- HAAS, W.; KRAUSMANN, F.; WIEDENHOFER, D.; HEINZ, M. How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, p. 765-777, Oct., 2015.
- HAGEJÄRD, S.; OLLÁR, A.; FEMENÍAS, P.; RAHE, U. Designing for Circularity - Addressing Product Design, Consumption Practices and Resource Flows in Domestic Kitchens. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 1006, 2020.
- HAN, F.; LIU, Y.; LIU, W. CUI, Z. Circular economy measures that boost the upgrade of an aluminum industrial park. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, n. 1, p. 1289-1296, Dez., 2017.
- HAPUWATTE, B. M.; JAWAHIR, I. S. Closed-loop sustainable product design for circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 25, p. 1430-1446, 2021.
- HAUPT, M.; VADENBO, C.; HELLWEG, S. Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 615-627, Jun., 2017.
- HE, X.; SU, D.; CAI, W.; PEHLKEN, A.; ZHANG, G.; WANG, A.; XIAO, J. Influence of Material Selection and Product Design on Automotive Vehicle Recyclability. **Sustainability**, v. 13, n. 6, 2021.

HEYES, G.; SHARMINA, M.; MENDOZA, J. M. F.; SCHMID, A. J.; AZAPAGIC, A. Developing and implementing circular economy business models in service –oriented technology companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, n. 10, p. 621-632, 2018.

HOBSON, K. Closing the loop or squaring the circle? Locating generative spaces for the circular economy. **Progress in Human Geography**, v. 40, n. 1, p.88-104, 2016.

HOFSTRA, N.; HUISINGH, D. Eco-innovations characterized: a taxonomic classification of relationships between humans and nature. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, n. 1, p. 459-468, Mar., 2014.

HOLLANDER, M. C.; BAKKER, C. A.; HULTINK, E. J. Product Design in a Circular Economy: Development of a Typology of Key Concepts and Terms. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 517-525, 2017.

HOLLER, M.; CEDÑO, J. A.; LOPEZ, A. A.; POINTNER, T.; YUSTA, A. M.; KÖNIG, J.; PIGNITTER, M. Polylactic acid as a promising sustainable plastic packaging for edible oils. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 36, Abr., 2023.

HOPKINSON, P.; ZILS, M.; HAWKINS, P.; ROPER, S. Managing a Complex Global Circular Economy Business Model: Opportunities and Challenges. **California Management Review**, v. 60, n. 3, p. 71-94, 2018.

HUERTAS, L. A.; ROSAMOND, E. L.; Conway, P. P.; West, A. A. Sustainable production in the UK: a tool to support printed circuit assembly (PCA) manufacturing. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 26, n. 4, p. 346-364, 2013.

IUNG, B.; LEVRAT, E., Advanced maintenance services for promoting sustainability. **Procedia CIRP**, v. 22, p. 15 – 22, 2014.

JABBOUR, A. B. L. S.; ROJAS LUIZ, J. V.; ROJAS LUIZ, O.; JABBOUR, C. J. C.; NDUBISI, N. O.; OLIVEIRA, J. H. C.; HORNEAUX JUNIOR, F. Circular economy business models and operations management. **Journal of Cleaner Production**, v. 235, n. 20, p. 1525-1539, Out., 2019.

JAWAHIR, I. S.; BRADLEY, R. Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 40, p. 103-108, 2016.

JENSEN, J. P.; PRENDEVILLE, S. M.; BOCKEN, M. M. P.; PECK, D. Creating sustainable value through remanufacturing: Three industry cases. **Journal of Cleaner Production**, v. 218, n. 1, p. 304-314, 2019.

JIANG, P.; DIECKMANN, E.; HAN, J.; CHILDS, P. R. N. A Bibliometric Review of Sustainable Product Design. **Energies**, v. 14, n. 21, 2021.

JOÃO, S. **Proposta de Modelo de Desenvolvimento de Produtos Circulares Aplicado à Embalagens**. 176 f. Dissertação (Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2022.

João, S.; Maceno, M. M. C.; Antonelo, A. K. Proposal for a Circular Product Development Model Applied to Packaging. **Sustainability**, v. 17, n. 1, 2025.

JOUSTRA, J.; BAKKER, C.; BESSAI, R.; BALKENENDE, R. Circular Composites by Design: Testing a Design Method in Industry. **Sustainability**, v. 14, n. 3, 2022.

JOUSTRA, J.; FLIPSEN, B.; BALKENENDE, R. Circular Design of Composite Products: A Framework Based on Insights from Literature and Industry. **Sustainability**, v. 13, n. 3, 2021.

JUGEND, D.; FIORINI, P. C.; PINHEIRO, M. A. P.; SILVA, H. M. R.; SELES, B. M. R. P. Building Circular Products in an Emerging Economy: An Initial Exploration Regarding Practices, Drivers and Barriers. **Johnson Matthey Technology Review**, v. 64, n. 1, p. 59-68, 2020.

KAGERMANN, H.; HELBIG, J.; HELLINGER, A.; WAHLSTER, W. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0**: Securing the Future of German Manufacturing

Industry; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group; Forschungsunion: Frankfurt/Main, Germany, 2013.

KAUTISH, P.; PAÇO, A.; THAICHON, P. Sustainable consumption and plastic packaging: Relationships among product involvement, perceived marketplace influence and choice behavior. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 67, Jul., 2022.

KHAN, S. A. R.; RAZZAQ, A.; YU, Z.; MILLER, S. Industry 4.0 and circular economy practices: A new era business strategies for environmental sustainability. **Business Strategy and the Environment**, v. 30, n. 8, p. 4001-4014, Dez., 2021.

KHAN, S. A. R.; YU, Z. Assessing the eco-environmental performance: an PLS-SEM approach with practice-based view. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 24, n. 3, p. 303-321, 2021.

KHAN, S. A. R.; YU, Z.; SARWAT, S.; GODIL, D. I.; AMIN, S.; SHUJAAT, S. The role of block chain technology in circular economy practices to improve organizational performance. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 25, n. 4-5, p. 605-622, 2022.

KHAN, S.; HALEEM, A. Investigation of circular economy practices in the context of emerging economies: a CoCoSo approach. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 14, n. 3, p. 357-367, 2021.

KIRCHHERR, J.; PISCICELLI, L.; BOUR, E.; KOSTENSE-SMIT, E. MULLER, J.; HUIBRECHTSE-TRUIJENS, A.; HECKERT, M. Barriers to the Circular Economy: Evidence from the European Union (EU). **Ecological Economics**, v. 150, p. 264-272, Ago., 2018.

KITSIOS, F. C.; KAMARIOUTOU, M. **Agile Stage-Gate Hybrid Framework for New Product Development**. In: KHOSROW-POUR, D. B. A. M. Encyclopedia of Organizational Knowledge, Administration, and Technology, 2021. DOI: 10.4018/978-1-7998-3473-1.

KJAER, L. L.; PIGOSSO, D. C. A.; NIERO, M.; BECH, N. M.; MCALOONE, T. C. Product/Service-Systems for a Circular Economy: The Route to Decoupling Economic Growth from Resource Consumption?, **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 22-35, Fev., 2019.

KO Y-T. Modeling an Innovative Green Design Method for Sustainable Products. **Sustainability**, v. 12, n. 8, 2020.

KORHONEN, J.; NUUR, C.; FELDMANN, A.; BIRKIE, S. E. Circular economy as an essentially contested concept. **Journal of Cleaner Production**, v. 175, n. 20, p. 544-552, Fev., 2018.

LAMA, V.; RIGHI, S.; QUANDT, B. M.; HISCHIER, R.; DESING, H. Resource Pressure of Carpets: Guiding Their Circular Design. **Sustainability**, v. 14, n. 5, 2022.

LAURENTI, R.; SINHA, R.; SINGH, J.; FROSTELL, B. Some pervasive challenges to sustainability by design of electronic products – a conceptual discussion. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, n. 1, p. 281-288, 2015.

LEAL, J. M.; POMPIDOU, S.; CHARBUILLET, C.; PERRY, N. Design for and from Recycling: A Circular Ecodesign Approach to Improve the Circular Economy. **Sustainability**, v. 12, n. 23, 2020.

LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E. F. R.; RAMOS, L. F. P. Past, present and future of Industry 4.0 – A systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

LIN, K-Y. User experience-based product design for smart production to empower industry 4.0 in the glass recycling circular economy. **Computers & Industrial Engineering**, v. 25, p. 729-738, 2018.

LINDER, M.; SARASINI, S.; VAN LOON, P. A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. **Journal Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 545-558, Jun., 2017.

LOBATO, K. C. D.; ALMEIDA, A. P. S. S.; ALMEIDA, R. M. A.; COSTA, J. M. H.; MELLO, C. H. P. Good practices systematization for medical equipment development and certification process: A Brazilian case study. **Health Policy and Technology**, v. 8, p. 268-277, 2019.

LOISEAU, E.; SAIKKU, L.; ANTIKAINEN, E.; DROSTE, N.; HANSJÜRGENS, B.; PITKÄNEN, K.; LESKINEN, P.; KUIKMAN, O.; THOMSEN, M. Green economy and related concepts: An overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, n. 15, p. 361-371, Dez., 2016.

LOON, P. V.; DIENER, D.; HARRIS, S. Circular products and business models and environmental impact reductions: Current knowledge and knowledge gaps. **Journal of Cleaner Production**, v. 288, n. 15, 2021.

LÜDEKE-FREUND, F.; GOLD, S.; BOCKEN, N. M. P. A Review and Typology of Circular Economy Business Model Patterns. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 36-61, Fev., 2019

MA, S.; HU, S.; CHEN, D.; ZHU, B. A case study of a phosphorus chemical firm's application of resource efficiency and eco-efficiency in industrial metabolism under circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, n. 15, p. 839-849, Jan., 2015.

MA, S.; WEN, Z.; CHEN, J.; WEN, Z. Mode of circular economy in China's iron and steel industry: a case study in Wu'an city. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, n. 1, p. 505-512, Fev., 2014.

MARCO, I. G. **Sustentabilidade no Design de Embalagens de Delivery**: o papel do ensino. 85 f. Dissertação (Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia, 2021.

MARTINS, R. A.; MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B. **Guia para elaboração de monografia e TCC em engenharia de produção**. São Paulo: Atlas, 2014.

MESA, J.; ESPARRAGOZA, I.; MAURY, H. Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, n. 20, p. 1429-1442, 2018.

MESTRE, A.; COOPER, T. Circular Product Design. A Multiple Loops Life Cycle Design Approach for the Circular Economy. **The Design Journal**, v. 20, p. 1620-1635, 2017.

MOHAGHEGHIAN, E.; HOSSEINI-NASAB, H.; ZARE-MEHRJERDI, Y.; FAKHRZAD, M. B. A hybrid approach to investigate the relationship between design factors and Sustainability. **RAIRO Operations Research**, v. 55, n. 5, p. 2711-2737, 2021.

MOREAU, V.; SAHAKIAN, M.; VAN GRIETHUYSEN, P.; VUILLE, F. Coming Full Circle: Why Social and Institutional Dimensions Matter for the Circular Economy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 497-506, Jun., 2017.

MORENO, M.; DE LOS RIOS, C.; ROWE, Z.; CHARNLEY, F. A Conceptual Framework for Circular Design. **Sustainability**, v. 8, n. 9, 2016.

MORINI, A. A. **Pré-avaliação da energia incorporada e da pegada de carbono como requisitos para seleção de materiais nas fases iniciais do desenvolvimento de produto**. 189 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2019.

MULGAN, G. **The Locust and the Bee**: Predators and Creators in Capitalism's Future. New Jersey: Princeton University Press, 2015.

MURANKO, Z.; ANDREWS, D.; CHAER, I.; NEWTON, E. J. Circular economy and behaviour change: Using persuasive communication to encourage pro-circular behaviours towards the purchase of remanufactured refrigeration equipment. **Journal of Cleaner Production**, v. 222, n. 10, p. 499-510, Jun., 2019.

NAG, U.; SHARMA, S. K.; KUMAR, V. Multiple Life-Cycle Products: A Review of Antecedents, Outcomes, Challenges, and Benefits in a Circular Economy. **Journal of Engineering Design**, v. 33, n. 3, p. 173-206, 2022.

NASCIMENTO, T. D. S. **Reúso de Embalagens**: diagnóstico dos atributos das embalagens de bem de consumo não duráveis que contribuem para o reuso. 121 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Design) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2022.

- NAUSTDALSLID, J. Circular economy in China – the environmental dimension of the harmonious society. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 21, n. 4, p. 303-313, 2014.
- NGUYEN, H.; STUCHTEY, M.; ZILS, M. Remaking the industrial economy. **McKinsey Quarterly**, v. 1, p. 46-63, 2014.
- NIERO, M.; HAUSCHILD, M. Z.; HOFFMEYER, S. B.; OLSEN, S. I. Combining Eco-Efficiency and Eco-Effectiveness for Continuous Loop Beverage Packaging Systems: Lessons from the Carlsberg Circular Community. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 742-753, Jun., 2017.
- NIERO, M.; KALBAR, P. P. Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 140, p. 305-312, Jan., 2019.
- OFTERDINGER, J.; DLUGOBORSKYTE, V.; HERSTATT, C. Activities within Circular-Oriented Innovation Process: Cases of Biomaterial Development. **International Journal of Innovation Management**, v. 25, n. 10, 2021.
- OJIMA, I. B. **Resíduos Sólidos e a economia circular no Brasil: A logística reversa de embalagens e os desafios de sua aplicação**. 231 f. Dissertação (Direito) – Pontifícia Universidade Católica, PUC, São Paulo, 2023.
- OKUMURA, S. Reuse-efficiency model for evaluating circularity of end-of-life products. **Computers & Industrial Engineering**, v. 171, 2022.
- OLIVEIRA, D. R.; MENEZES, K. M.; MENDES, G. T. O.; ROSA, G. P.; MELO, G. A.; PEIXOTO, M. G. M. Processo de desenvolvimento de produto no setor de embalagens: proposta de inovação incremental com enfoque na maior praticidade no uso do papel alumínio. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, v. 14, n. 3, p. 325-349, jul-set, 2018.
- OLIVEIRA, P. S. G.; SILVA, D.; SILVA, L. F.; LOPES, M. S.; HELLENO, A. L. Factors that influence product life cycle management to develop greener products in the mechanical industry. **International Journal of Production Research**, v. 54, n.5, p. 4547-4567, 2016.
- ONU, Nações Unidas Brasil. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 17 Jun. 2024.
- ORTNER, P.; TAY, J. Z.; WORTMANN, T. Computational optimization for circular economy product design. **Journal of Cleaner Production**, v. 362, n. 15, 2022.
- PAMMINGER, R.; GLASER, S.; WIMMER, W. Modelling of different circular end-of-use scenarios for smartphones. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 26, p. 470-482, 2021.
- PASTOR, L. R.; CHULVI, V.; MULET, E.; ROYO, M. A metric for evaluating novelty and circularity as a whole in conceptual design proposals. **Journal of Cleaner Production**, v. 337, n. 20, 2022.
- PAULIUK, S. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 81-92, Feb., 2018.
- PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural Resources and the Environment**. Harvester Wheatsheaf, London, 1990.
- PÉREZ-ORTEGA, S.; GONZALEZ-YEBRA, O.; OLIVA-MOLINA, R.; ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, A. Theoretical study for redesign of an agricultural package applying ecodesign strategies and cad/cae tools. **DYNA**, v. 96, n.4, p. 435-440, 2021.
- PIGOSSO, D. C. A.; ROZENFELD, H.; MCALOONE, T. C. Ecodesign maturity model: a management framework to support ecodesign implementation into manufacturing companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 59, n.15, p. 160-173, 2013.

- PRETNER, G.; DARNALL, N.; TESTA, F.; IRALDO, F. Are consumers willing to pay for circular products? The role of recycled and second-hand attributes, messaging, and third-party certification. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 175, Dez., 2021.
- RAI, P.; MEHROTRA, S.; PRIVA, S.; GNANSOUNOU, E.; SHARMA, S. K. Recent advances in the sustainable design and applications of biodegradable polymers. *Bioresource Technology*, v. 325, Abr., 2021.
- RAJPUT, S.; SINGH, S. P. Connecting circular economy and industry 4.0. **International Journal of Information Management**, v. 49, p. 98-113, Dez., 2019.
- RIOS, I. C.; CHARNLEY, F. J. S. Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. **Journal of Cleaner Production**, v. 160, n. 1, p. 109-122, 2017.
- RODRIGUES, R. S. **Modelo conceitual para o processo de desenvolvimento de produto têxtil**. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Curitiba, 2016.
- ROMERO FILHO, E.; FERREIRA, C. V.; MIGUEL, P. A. M.; GOUVINHAS, R. P.; NAVEIRO, R. M. **Projeto de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- ROSENBOOM, J. G.; LANGER, R.; TRAVERSO, G. Bioplastics for a circular economy. **Nature Reviews Materials**, v. 7, p. 117–137, Fev., 2022.
- ROZENFELD, H.; FORCELINNI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C. de; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SALGADO, E. G.; SALOMON, V. A. P.; MELLO, C. H. P.; SILVA, C. E. S. New product development in small and medium-sized technology based companies: a multiple case study. **ACTA SCIENTIARUM-TECHNOLOGY**, v. 40, p. 1-11, 2018.
- SALVADOR, R.; BARROS, M. V.; LUZ, L. M.; PIEKARSKI, C. M.; FRANCISCO, A. C. Circular business models: Current aspects that influence implementation and unaddressed subjects. **Journal of Cleaner Production**, v. 250, n. 20, Mar., 2020.
- SANDOVAL, V. P.; JACA, C.; ORMAZABAL, M. Towards a consensus on the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, n. 1, p. 605-615, Abr., 2018.
- SASTRE, R. M.; de PAULA, I. C.; ZENI, C. F.; ECHEVESTE, M.E.S. Packaging Radar: A Preliminary Reference for Packaging Design in a Systemic and Complex Context. **Proceedings of the Design Society: Design Conference**. v. 1, P.2139-2148, 2020.
- SASTRE, R. M. **Método Sistêmico para o Desenvolvimento e Avaliação de Embalagens Ambientalmente Sustentáveis**. 86 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2022.
- SASTRE, R. M.; de PAULA, I. C.; ECHEVESTE, M. E. S. A Systematic Literature Review on Packaging Sustainability: Contents, Opportunities, and Guidelines. **Sustainability**. v. 14, n. 11, 2022.
- SAUERWEIN, M.; DOUBROVSKI, E.; BALKENENDE, R.; BAKKER, C. Exploring the potential of additive manufacturing for product design in a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 226, n. 20, 2019.
- SAUVÉ, S.; BERNARD, S.; SLOAN, P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development**, v. 17, p. 48-56, 2016.
- SEHNEM, S.; PEREIRA, S. C. F. Rumo à economia circular: Sinergia existente entre as definições conceituais correlatas e apropriação para a literatura brasileira. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa – RECADM**, Curitiba-PR, v.18 n. 1, p. 35-62, Jan-Mar, 2019.
- SHAHBAZI, S.; JOHANSEN, K.; SUNDIN, E. Product Design for Automated Remanufacturing—A Case Study of Electric and Electronic Equipment in Sweden. **Sustainability**, v. 13, n. 16, 2021.

- SHAHBAZI, S.; JÖNBRINK, A. K. Design Guidelines to Develop Circular Products: Action Research on Nordic Industry. **Sustainability**, v. 12, n. 9, 2020.
- SIHVONEN, S.; PARTANEN, J. Implementing environmental considerations within product development practices: a survey on employees' perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 125, n. 1, p. 189-203, 2016.
- SINGH, J.; ORDOÑEZ, I. Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, n. 15, p. 342-353, Oct., 2016.
- SIWIEC, D.; PACANA, A.; GAZDA, A. A New QFD-CE Method for Considering the Concept of Sustainable Development and Circular Economy. **Energies**, v. 16, 2023.
- SONEGO, M. **Modularização no desenvolvimento de produtos sustentáveis**. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2018.
- SOUZA, C. D. P. **Design de Embalagens de Consumo Reutilizáveis em Modelos Business-to-consumer (B2C): panorama e perspectivas de projeto no contexto da economia circular**. 138 f. Dissertação (Design) – Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2021.
- SOUZA, L. M. R.; AMARAL, G. R.; MELO FILHO, L. D. R. Um estudo sobre o processo de desenvolvimento de produtos-serviços em uma empresa de afiação e recuperação de ferramentas de corte industrial. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 15, n. 2, p. 175 - 203, 2020.
- SOUZA-ZOMER, T. T.; Magalhães, L.; Zancul, E.; Campos, L. M. S.; Cauchick-Miguel, P. A. Cleaner production as an antecedent for circular economy paradigm shift at the micro-level: Evidence from a home appliance manufacturer. **Journal of Cleaner Production**, v. 185, n. 1, p. 740-748, 2018.
- SPREAFICO, C. An analysis of design strategies for circular economy through life cycle assessment. **Environ Monit Assess**, v. 194, n. 180, 2022.
- STAHEL, W. R. The circular economy. **Nature**, v. 531, p. 435-438, Mar., 2016.
- SUBRAMANIAN, N.; GUNASEKARAN, A.; WU, L.; SHEN, T. Role of traditional Chinese philosophies and new product development under circular economy in private manufacturing enterprise performance. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 23, p.1-16, 2019.
- SUMTER, D.; de KONING, J.; BAKKER, C.; BALKENENDE, R. Circular Economy Competencies for Design. **Sustainability**, v. 12, n. 4, 2020.
- _____. Key Competencies for Design in a Circular Economy: Exploring Gaps in Design Knowledge and Skills for a Circular Economy. **Sustainability**, v. 13, n. 2, 2021.
- TAO, J.; CHEN, Z.; YU, S.; LIU, Z. Integration of Life Cycle Assessment with computer-aided product development by a feature-based approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, n. 1, 2017.
- TESTA, F.; DI IORIO, V. CERRI, J.; PRETNER, G. Five shades of plastic in food: Which potentially circular packaging solutions are Italian consumers more sensitive to. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 173, Oct., 2021.
- ÜNAL, E.; SHAO, J. A taxonomy of circular economy implementation strategies for manufacturing firms: Analysis of 391 cradle-to-cradle products. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, n. 1, p. 754-765, Mar., 2019.
- URBAN W, ŁUKASZEWICZ K, KRAWCZYK-DEMBICKA E. Application of Industry 4.0 to the Product Development Process in Project-Type Production. **Energies**, v. 13, n. 21, p. 5553, 2020.
- URBINATI, A.; CHIARONI, D.; TOLETTI, G. Managing the Introduction of Circular Products: Evidence from the Beverage Industry. **Sustainability**, v. 11, n. 13, 2019.

- VANEGAS, P.; PEETERS, J. R.; CATTRYSSSE, D.; TECCHIO, P.; ARDENTE, F.; MATHIEUX, F.; DEWULF, W.; DUFLOU, J. R. Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 35, p. 323-334, 2018.
- VIERIRA, D. R.; BOURAS, A.; DEBAECKER, D. **Gestão de projeto do produto**: baseada na metodologia Product Lifecycle Management (PLM). Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- VIHMA, M.; MOORA, H. Potential of Circular Design in Estonian SMEs and their Capacity to Push it. **Environmental and Climate Technologies**, v. 24, n. 3, p. 94–103, 2020.
- VIMAL, K. E. K.; TSENG, M. L.; RAJU, S.; CHERUKURI, M.; ASHWITHI, A.; KANDASAMY, J. Circular function deployment: a novel mathematical model to identify design factors for circular economy. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, p. 9068–9101, 2022.
- VINODH, S.; MANJUNATHESHWARA, K. J.; Sundaram, S. k.; Kirthivasan, V. Application of fuzzy quality function deployment for sustainable design of consumer electronics products: a case study. **Clean Techn Environ Policy**, v. 19, p. 1021–1030, 2017.
- VINODH, S.; RATHOD, G. Integration of ECQFD and LCA for sustainable product design. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 8, p. 833-842, 2010.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case Research: Case research in operations management. **International Journal of Operations e Production Management**. v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.
- WANG, J. X.; BURKE, H.; ZHANG, A. Overcoming barriers to circular product design. **International Journal of Production Economics**, v. 243, 2022.
- WEBSTER, K. **The Circular economy**: a wealth of flows. United Kingdom: Ellen MacArthur Foundation Publishing, 2015.
- WU, H.; SHI, Y.; XIA, Q; ZHU, W. Effectiveness of the policy of circular economy in China: a DEA- based analysis for the period of 11th five-year-plan. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 83, p. 163-175, Feb., 2014.
- LV, X.; HAITAO, L.; WANG, Z.; NIU, R.; LIU, Y.; WEI, Y.; ZHENG, L. Synthesis of Biodegradable Polyester–Polyether with Enhanced Hydrophilicity, Thermal Stability, Toughness, and Degradation Rate. **Polymers**, v. 14, 2022.
- YU, Z.; KHAN, S. A. R.; UMAR, M. Circular economy practices and industry 4.0 technologies: A strategic move of automobile industry. **Business Strategy and the Environment**, v. 31, n. 3, p. 796-809, Mar., 2022.
- ZIKOPOULOS, C. On the effect of upgradable products design on circular economy. **International Journal of Production Economics**, v. 254, 2022.
- ZHU, Z.; LIU, W.; YE, S.; BATISTA, L. Packaging design for the circular economy: A systematic review. **Sustainable Production and Consumption**, v. 32, p. 817-832, 2022.