



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SAMUEL JOÃO

PROPOSTA DE MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
CIRCULARES APLICADO À EMBALAGENS

CURITIBA

2022

SAMUEL JOÃO

PROPOSTA DE MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
CIRCULARES APLICADO À EMBALAGENS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, na Área de Tecnologia e Inovação, Linha de Inovação em Projeto, Produtos e Processos. Aplicados a Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Marcell Mariano Corrêa Maceno

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

João, Samuel

Proposta de modelo de desenvolvimento de produtos
circulares aplicado à embalagens / Samuel João. – Curitiba, 2022.
1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná,
Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Marcell Mariano Corrêa Maceno

1. Embalagens. 2. Produtos novos - Desenvolvimento. 3.
Desenvolvimento sustentável (Economia Circular). I. Maceno,
Marcell Mariano Corrêa. II. Universidade Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III.
Título.

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO - 40001016070P1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE PRODUÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **SAMUEL JOÃO** intitulada: **PROPOSTA DE MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS CIRCULARES APLICADO À EMBALAGENS**, sob orientação do Prof. Dr. MARCELL MARIANO CORRÊA MACENO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 24 de Junho de 2022.

MARCELL MARIANO CORRÊA MACENO

Presidente da Banca Examinadora

FLAVIO ISSAO KUBOTA

Avaliador Externo (DEPARTAMENTO DE ENG. MECÂNICA UFPR)

MARCELO GECELE CLETO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Marcell Mariano Corrêa Maceno, que depositou confiança em mim para o desenvolvimento dessa pesquisa. Agradeço a Deus por tê-lo colocado no meu caminho. Muito obrigado Professor!

Aos professores que participaram da minha banca de qualificação e defesa.

Aos professores e coordenação do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná, pela contribuição que viabilizaram meu desenvolvimento. Especialmente aos coordenadores Marina Kleina e Marcell Mariano Corrêa Maceno.

Aos meus amigos Matheus Tavares Lacerda e Thiago Shoji Obi Tamachiro.

A minha esposa Aliny Kelly Antonelo João pela parceria, amor e orientações.

A minhas filhas Cecília Antonelo João e Helena Antonelo João, juntamente com minha esposa, por serem inspiração e a razão de todo o esforço empregado.

A minha irmã Ana Carolina João pelo incentivo, apoio e as revisões ortográficas.

Aos meus pais Azenir João e Maurina Serafim João por tudo.

A empresa e funcionários, que me permitiram realizar as entrevistas e coletar informações essenciais para a pesquisa.

A todos, muito obrigado!

RESUMO

A adoção da Economia Circular pode levar a mudanças culturais e organizacionais capazes de gerar importantes benefícios, como o estímulo à redução de custos, fomento à inovação, oportunidade de novos mercados, melhoria da qualidade, saúde e segurança, aceitação pelo mercado e atendimento às exigências legais. Organizações em todo o mundo têm explorado maneiras de operacionalizar e replicar práticas e iniciativas circulares através de processos sistêmicos. Uma estratégia, amplamente utilizada, é viabilizar sua integração nas organizações através do Processo de Desenvolvimento de Produtos. O presente trabalho tem o objetivo de propor um modelo de desenvolvimento circular de produtos específico para embalagens. Para tal, visa identificar as diretrizes, estratégias, práticas e iniciativas da Economia Circular integráveis às etapas do processo de desenvolvimento tradicional de produtos. Para coleta dos dados, empregou-se uma revisão sistemática da literatura e uma pesquisa documental qualitativa de modelos de desenvolvimento circulares de produtos e documentos como o *Guide Circ It Nord* para Projeto e Desenvolvimento de Produtos, o Plano de Ação Europeu para Economia Circular e a norma ABNT ISO/TR14062. Com o objetivo de estabelecer conjuntos de dados e compreender em quais etapas do processo de desenvolvimento de produtos poderiam ser integrados, os dados coletados de diretrizes, estratégias, práticas e iniciativas circulares foram pré-agrupados de acordo com as etapas do modelo de desenvolvimento de produto, conforme apresentaram os modelos, documentos e normas abordados. Através da análise de conteúdo, esses dados foram integrados às etapas do modelo de desenvolvimento tradicional de produtos, dando origem ao modelo de desenvolvimento circular de produto proposto nesta pesquisa. Finalmente, através de um estudo de caso em uma indústria de embalagens, o modelo foi avaliado. Na sequência, os resultados e discussões são apresentados. Espera-se que o presente trabalho possa contribuir para o mercado de embalagens a partir da sua aplicação apoiando o desenvolvimento circular de produtos.

Palavras-chave: Economia Circular. Modelo de Desenvolvimento de Produtos. Embalagens.

ABSTRACT

The adoption of the Circular Economy can lead to cultural and organizational changes capable of generating important benefits such as stimulating cost reduction, fostering innovation, opportunities for new markets, improving quality, health and safety, market acceptance, and meeting legal requirements. Organizations around the world have been exploring ways to operationalize and replicate circular practices and initiatives through systemic processes. A widely used strategy is to enable its integration into organizations through the Product Development Process. The present work aims to propose a circular product development model specifically for packaging. To this end, it aims to identify Circular Economy guidelines, strategies, practices, and initiatives that can be integrated into the stages of the traditional product development process. For data collection, a literature systematic review and qualitative documentary research were used on circular product development models and documents such as the Guide Circ It Nord for Product Design and Development, the European Action Plan for Circular Economy, and the ABNT ISO/TR14062 standard. To establish datasets and understand which stages of the product development process could be integrated, the data collected from guidelines, strategies, practices, and circular initiatives were pre-grouped according to the macro-phases of the product development model, as presented by the models, documents, and standards discussed. Through the content analysis technique, these data were integrated into the stages of the traditional product development model, giving rise to the circular product development model proposed in this research. Finally, through a case study in the packaging industry, the model was evaluated. Subsequently, the results and discussions are presented. It is expected that the present work can contribute to the packaging market from its application by supporting the circular development of products.

Keywords: Circular economy. EC. Product development model. Package.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: CRONOGRAMA DO TRABALHO 2021-2022.....	22
FIGURA 2: LINHA DO TEMPO DA SUSTENTABILIDADE.....	25
FIGURA 3: OS 17 OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS).....	25
FIGURA 4: DIAGRAMA DO FLUXO CONTÍNUO DE MATERIAIS TÉCNICOS E BIOLÓGICOS.....	30
FIGURA 5: RESULTADOS DA BUSCA NA BASE DE PERIÓDICO SCOPUS.....	36
FIGURA 6: MDP CONFORME OLIVEIRA, FRANÇA E RANGEL (2019).	42
FIGURA 7: MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	44
FIGURA 8: MODELO TÍPICO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	53
FIGURA 9: PRIORIDADE NA ADOÇÃO DE ESTRATÉGIAS CIRCULARES	59
FIGURA 10: RESULTADOS DA BUSCA NA BASE DE PERIÓDICO SCOPUS.....	68
FIGURA 11: FLUXOGRAMA GERAL DO MÉTODO PROPOSTO	79
FIGURA 12: ESTRATÉGIAS CIRCULARES INTEGRADAS AO MDPC TEÓRICO..	84
FIGURA 13: O MDP CIRCULAR.....	89
FIGURA 14: PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO DAS PRÁTICAS CIRCULARES NAS ETAPAS DO MODELO DE REFERÊNCIA	91
FIGURA 15: ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO MDP DE ULRICH E EPPINGER (2008)	94
FIGURA 16: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA AS FASES PLANEJAMENTO DO PROJETO E PRODUTO	95
FIGURA 17: PRÁTICA CIRCULAR DE SIMBIÓSE INDUSTRIAL.....	96
FIGURA 18: PRÁTICA CIRCULAR DE ADOÇÃO DE SISTEMAS PSS E COMPARTILHAMENTO	97
FIGURA 19: PRÁTICA CIRCULAR DE EXAME DAS LEGISLAÇÕES E CERTIFICAÇÕES	99
FIGURA 20: PRÁTICA CIRCULAR DE EXAME DA FUNCIONALIDADE DOS PRODUTOS.....	100
FIGURA 21: PRÁTICA CIRCULAR DE EXAME DAS ESTRATÉGIAS E DIRETRIZES CIRCULARES	101
FIGURA 22: PRÁTICA CIRCULAR DE IDENTIFICAÇÃO DE TRADE-OFFS.....	102
FIGURA 23: PRÁTICA CIRCULAR DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PRODUTOS CIRCULARES.....	103

FIGURA 24: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE PROJETO INFORMACIONAL	105
FIGURA 25: PRÁTICA CIRCULAR DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PRODUTOS CIRCULARES.....	106
FIGURA 26: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE PROJETO CONCEITUAL (PC).....	108
FIGURA 27: PRÁTICA CIRCULAR DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)..	109
FIGURA 28: PRÁTICA CIRCULAR DE AVALIAÇÃO DE CIRCULARIDADE.....	110
FIGURA 29: PRÁTICA CIRCULAR DE CONSULTA A BANCO DE DADOS DE ESTRATÉGIAS E MATERIAIS CIRCULARES	111
FIGURA 30: PRÁTICA CIRCULAR DE RECICLAGEM	112
FIGURA 31: PRÁTICA DE DEFINIR PROCESSOS SUSTENTÁVEIS	113
FIGURA 32: PRÁTICA DE PROJETAR PARA REMANUFATURAR, REPARAR/MANTER, REUTILIZAR E RECONDICIONAR.	115
FIGURA 33: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE PROJETO DETALHADO (PD).....	117
FIGURA 34: PRÁTICA DE UTILIZAR RECURSOS CIRCULARES E FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL	119
FIGURA 35: PRÁTICA DE DESENVOLVER MANUAIS E DOCUMENTAÇÕES....	121
FIGURA 36: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE PREPARAÇÃO PARA PRODUÇÃO (PPP)	123
FIGURA 37: PRÁTICA DE USO DE RECURSOS E TECNOLOGIAS CIRCULARES PARA PRODUÇÃO DE LOTE PILOTO	124
FIGURA 38: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE LANÇAMENTO DO PRODUTO	126
FIGURA 39: PRÁTICA DE SERVIÇO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA PARA PRODUTOS CIRCULARES.....	127
FIGURA 40: OUTROS ASPECTOS CIRCULARES PARA A DISTRIBUIÇÃO E TRANSPORTE.....	128
FIGURA 41: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE ACOMPANHAR PRODUTO E PROCESSO (APP)	129
FIGURA 42: OUTROS ASPECTOS CIRCULARES PARA A DISTRIBUIÇÃO E TRANSPORTE.....	130

FIGURA 43: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE DESCONTINUAR PRODUTO NO MERCADO (DPM)	132
FIGURA 44: ASPECTOS CIRCULARES PARA A DISTRIBUIÇÃO E TRANSPORTE	132
FIGURA 45: FLUXO DE APLICAÇÃO DO MDP CIRCULAR EM UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS	134
FIGURA 46: PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO DO MDP CIRCULAR EM UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS	135
FIGURA 47: PDP DA EMPRESA X.....	140
FIGURA 48: MDP DE ROZENFELD ET AL. (2006)	169
FIGURA 49: APRESENTA AS SAÍDAS E PRINCIPAIS RESULTADOS DE CADA FASE DO MDP DE ROZENFELD ET AL. (2006).....	170
Figura 50: ETAPAS <i>OPPOSITE THINKING</i>	172
FIGURA 51: RELACIONAMENTO ENTRE AS ESTRATÉGIAS, DIRETRIZES E PRÁTICAS CIRCULARES.	173
FIGURA 52: AS ESTRATÉGIAS CIRCULARES.....	173

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - NÚMERO DE DIRETRIZES ABORDADAS NAS ESTATÉGIAS CIRCULARES.....	62
--	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - AÇÕES E RESULTADOS PARA ATINGIR OS OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	23
QUADRO 2 - METAS E DIRETRIZES PARA OS ODS.....	26
QUADRO 3 - PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	36
QUADRO 4 - PANORAMA DAS ABORDAGENS DOS ESTUDOS DE EC VOLTADOS AO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.	38
QUADRO 5 - LISTA DOS RESULTADOS DA PESQUISA NA BASE <i>GOOGLE SCHOLAR</i>	40
QUADRO 6 - METODOLOGIA DE INTEGRAÇÃO DOS ASPECTOS DE CIRCULARIDADE NO PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	46
QUADRO 7 - QUADRO-RESUMO DOS ESTÁGIOS, OBJETIVOS, PRÁTICAS AMBIENTAIS E FERRAMENTAS INTEGRÁVEIS AO PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.	52
QUADRO 8 - ESTRATÉGIAS CIRCULARES E SUAS DEFINIÇÕES, VANTAGENS E DESVANTAGENS.	57
QUADRO 9 - OBJETIVOS, INICIATIVAS E ESTRATÉGIAS PARA A EC CONFORME O PLANO DE AÇÃO CIRCULAR DA UE	64
QUADRO 10 - PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	68
QUADRO 11: IDENTIFICAÇÃO DOS ARTIGOS RESULTADOS DA RSL	69
QUADRO 12 - ESTUDOS VOLTADOS AO DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS CIRCULARES	70
QUADRO 13 - DIRETRIZES E PRÁTICAS CIRCULARES APLICÁVEIS AO DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS.....	76
QUADRO 14: CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	77
QUADRO 15: QUADRO-RESUMO DAS ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO E SUA RELAÇÃO COM AS ESTRATÉGIAS, DIRETRIZES, PRÁTICAS E INICIATIVAS CIRCULARES PARA PRODUTOS FÍSICOS.....	85
QUADRO 16: QUADRO-RESUMO DAS ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO E SUA RELAÇÃO COM AS ESTRATÉGIAS, DIRETRIZES, PRÁTICAS E INICIATIVAS CIRCULARES PARA EMBALAGENS.....	86

QUADRO 17: FASES E ETAPAS DO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO PRODUTO E PROJETO	93
QUADRO 18: FASES E ETAPAS DO PROJETO INFORMACIONAL (PI).....	104
QUADRO 19: FASES E ETAPAS DO PROJETO CONCEITUAL	107
QUADRO 20: FASES E ETAPAS PROJETO DETALHADO.....	116
QUADRO 21: FASE E ETAPA DA PREPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DO PRODUTO	122
QUADRO 22: FASE E ETAPAS DO LANÇAMENTO DO PRODUTO (LP).....	124
QUADRO 23: FASES E ETAPAS DO ACOMPANHAMENTO PRODUTO E PROCESSO (APP)	129
QUADRO 24: FASES E ETAPAS DE DESCONTINUIDADE DO PRODUTO NO MERCADO (DPM)	131
QUADRO 25: COMPARAÇÃO ENTRE PDP DA EMPRESA X E O MDPC TEÓRICO	142
QUADRO 26: COMPARAÇÃO DE PRÁTICAS CIRCULARES ENTRE O PDP DA EMPRESA X E O MDPC TEÓRICO	144
QUADRO 27: RELAÇÃO DAS DIRETRIZES	174

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - LISTA DE DIRETRIZES CIRCULARES E SEUS RESPECTIVOS CÓDIGOS DE IDENTIFICAÇÃO “ID”	60
TABELA 2 - RELAÇÃO ENTRE ESTRATÉGIAS E DIRETRIZES CIRCULARES.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	- Avaliação de Ciclo de Vida
APM	- Acompanhamento do Produto no Mercado
CQNUMC	- Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
DP	- Desenvolvimento de Produto
DPM	- Descontinuidade do Produto no Mercado
DS	- Desenvolvimento Sustentável
EC	- Economia Circular
EL	- Economia Linear
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
LP	- Lançamento do Produto
MA	- Manufatura Aditiva
MDP	- Modelo de Desenvolvimento de Produto
MDPC	- Modelo de Desenvolvimento de Produtos Circular
MDPR	- Modelo de Desenvolvimento de Produtos de Referência
MTO	- <i>Make To order</i>
ODM	- Objetivos do Milênio
ODS	- Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	- Organização das Nações Unidas
PCO	- Práticas Circular da Organização
PCL	- Práticas Circulares da Literatura
PC	- Projeto Conceitual
PD	- Projeto Detalhado
PDP	- Processo de Desenvolvimento de Produto
PEP	- Planejamento Estratégico do Produto
PP	- Planejamento do Projeto
PI	- Projeto Informacional
PPP	- Preparação Para Produção
PSS	- <i>Product-Service Systems</i>
RSL	- Revisão Sistemática da Literatura
UE	- União Europeia
UFPR	- Universidade Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

® – Registrado

™ – *Trade Mark*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO.....	19
1.2 JUSTIFICATIVA	19
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
1.4 CRONOGRAMA.....	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1 OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A ECONOMIA CIRCULAR.....	24
2.2 ECONOMIA CIRCULAR.....	29
2.3 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS CIRCULARES	33
2.3.1 Terminologia.....	33
2.3.2 Processo de desenvolvimento de produtos e a Economia Circular.....	34
2.3.3 MDP circulares para produtos físicos.....	35
2.3.4 MDP conforme Oliveira, França e Rangel (2019).....	40
2.3.5 MDP conforme CIRCit Nord (2019).....	43
2.3.6.1 Norma ABNT ISO/TR14062/2004.....	48
2.3.6.2 O Guia para projeto e desenvolvimento de produtos CIRCit Nord e outros aspectos da Economia Circular	55
2.3.6.3 Plano de Ação Europeu para a Economia Circular	62
2.3.6.4 Norma ISO/TC 323 e ISO WD 59004.....	67
2.3.7 Desenvolvimento de produtos circulares e embalagens	67
2.3.8 Guia circuit nord e o desenvolvimento de embalagens circulares.....	75
3 METODOLOGIA	77
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	77
3.2 MÉTODO DA PESQUISA	78
4 O MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS CIRCULARES (MDPC) TEÓRICO.....	83
4.1 ASPECTOS DA INTEGRAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA CONSTRUÇÃO DO MPDC TEÓRICO.....	83
4.2 AGRUPAMENTO DAS DIRETRIZES, ESTRATÉGIAS, PRÁTICAS E INICIATIVAS CIRCULARES	84
4.3 A ESTRUTURA DO MDPC TEÓRICO	87

4.3.1 Práticas circulares para as fases de planejamento estratégico do produto e projeto	93
4.3.2 Práticas circulares para o Projeto Informacional	104
4.3.3 Práticas circulares para o Projeto Conceitual (PC)	106
4.3.4 Práticas circulares para o Projeto Detalhado (PD)	115
4.3.5 Práticas circulares para o Preparação da Produção do Produto (PPP)	121
4.3.6 Práticas circulares para o Lançamento do Produto (LP)	124
4.3.7 Práticas circulares para o Acompanhar produto e processo (APP).....	128
4.3.8 Práticas circulares para Descontinuar Produto no Mercado (DPM)	131
4.4 PROPOSTA PARA APLICAÇÃO DO MDPC EM UMA INDÚSTRIA.....	133
5 ESTUDO DE CASO	136
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA X.....	136
5.2 REUNIÕES NA EMPRESA X.....	137
5.3 MAPEAMENTO DO PDP DA EMPRESA EM ESTUDO	139
5.4 DIAGNÓSTICO DO RELACIONAMENTO ENTRE PDP DA EMPRESA E O MDPC TEÓRICO	142
6 DISCUSSÕES.....	146
7 CONCLUSÃO	151
7.1 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	152
REFERÊNCIAS.....	154
APÊNDICE 1 – MODELO DE DESENVOLVIMENTO PRODUTOS PROPOSTO POR ROZENFELD ET AL., (2006)	167
APÊNDICE 2 – BRAINSMTORMING, DARK SIDE E OPPOSITE THINKING: FERRAMENTAS DO DESIGN THINKING.....	171
APÊNDICE 3 – LISTA DE ESTRATÉGIAS, DIRETRIZES E PRÁTICAS CIRCULARES CONFORME O GUIDE CIRC IT NORD PARA PROJETOS E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	172

1 INTRODUÇÃO

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada em 1987 pela Organização das Nações Unidas (ONU), definiu Desenvolvimento Sustentável (DS) como o desenvolvimento que “atende as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender as suas próprias necessidades” (ONU-BRASIL, 2021).

Com a evolução da sustentabilidade, em 2015, a ONU estabeleceu a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A Agenda 2030 é uma declaração global de compromissos assumidos para implementar, até 2030, 17 objetivos e 169 metas que visa apoiar ações em áreas cruciais da vida humana (GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ et al., 2020).

Os ODS estão integrados às dimensões econômica, social e ambiental da sustentabilidade e contrapõem o modelo de Economia Linear que predomina atualmente (Agenda 2030, 2021).

A Economia Linear, apoiado na extração, fabricação, uso, descarte e dependente de grande quantidade de recursos finitos, surgiu a partir da Revolução Industrial. Desde então, entende-se que os recursos naturais podem se esgotar, comprometendo as futuras gerações e requerendo esforços para uma transição econômica mais sustentável. (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021; PINHEIRO et al., 2019).

Nesse sentido, surge a Economia Circular (EC), que é restauradora e regenerativa por conceito, visa dissociar o crescimento econômico do uso de recursos finitos, manter produtos, componentes e materiais em sua maior utilidade e valor, além de regenerar ecossistemas, apoiando-se em práticas de reutilização, remanufatura e reciclagem. (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).

Organizações em todo o mundo têm explorado maneiras de operacionalizar essas práticas e iniciativas através de processos sistêmicos que viabilizem tais objetivos sustentáveis e práticas circulares (SELVEFORS et al., 2019).

Iniciativas como essas podem levar a mudanças culturais e organizacionais, assim como a importantes benefícios, por exemplo, o estímulo à redução de custos, fomento à inovação, oportunidade de novos mercados, melhoria da qualidade, saúde e segurança, aceitação pelo mercado e atendimento às exigências legais. (ABNT, 2004).

Uma estratégia, amplamente utilizada para aproveitar os benefícios substanciais existentes na adoção das estratégias da EC, é viabilizar sua integração nas organizações através do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)(ALBÆK et al., 2020; FRANCO, 2019).

As indústrias têm direcionado as práticas de EC ao PDP para elevar o desempenho ambiental e aproveitar os benefícios da transição. São esforços para adoção de métodos que viabilizem a integração de estratégias, ferramentas e indicadores de circularidade para seus produtos. Dessa forma, os modelos atuais de PDP têm sido adaptados para integração das estratégias da EC (LUGNET; ERICSON; LARSSON, 2020; PAIANO et al., 2021; VAN DAM; SLEESWIJK VISSER; BAKKER, 2021).

O PDP é uma ferramenta sistemática aplicada para atender a necessidade de clientes, que considera restrições tecnológicas e de fundamental importância para avançar em direção a uma economia circular. Mas requer um grau de customização para adaptação das práticas circulares e especificidades das organizações e seus produtos (PINHEIRO et al., 2019; SHAHBAZI; JÖNBRINK, 2020).

Os produtos têm o objetivo de atender as necessidades do mercado, no entanto, são complexos e evoluem constantemente. Assim, as soluções ambientais mais relevantes para o projeto e desenvolvimento de produtos também apresentam especificidades e dinamismo por estarem em constante evolução (ABNT, 2004).

Por outro lado, todos os produtos, bens e serviços causam algum tipo de impacto no meio ambiente, que podem ser emissões e consumo de recursos que causam a poluição do ar, da água e solo, além das mudanças climáticas (ABNT, 2004). É o caso das embalagens geralmente compostas de papel, papelão, plásticos, vidros, madeira e metal. As embalagens podem representar até 70% do impacto ambiental de um produto (DEL BORCHI et al., 2018). Há muitos anos, a quantidade de embalagens descartadas após o uso tem aumentado significativamente e despertado a atenção (DE KOEIJER; WEVER; HENSELER, 2017; PAIANO et al., 2021). As embalagens exercem importante papel na economia, com funções de transporte, armazenagem, conservação de alimentos, proteção e comunicação, ajudam produtores a reconhecerem suas marcas e distinguir seus produtos (DE KOEIJER; WEVER; HENSELER, 2017).

Diante da relevância do tema e com o objetivo de ajudar a operacionalizar a integração da EC nas organizações, este trabalho propõe um modelo de desenvolvimento de produto circular aplicado à embalagens.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Propor um modelo de desenvolvimento circular de produtos aplicado à embalagens.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, são apresentados os seguintes objetivos específicos:

- a. Abordar os princípios da Economia Circular;
- b. Identificar modelos de desenvolvimento circulares para produtos físicos;
- c. Identificar etapas, estratégias, práticas e iniciativas circulares integráveis ao processo de desenvolvimento de produtos para embalagens;
- d. Propor a integração das estratégias, práticas e iniciativas circulares no modelo de referência;
- e. Elaborar o modelo de desenvolvimento circular de produtos aplicado à embalagens e apresentar estudo de caso.

1.2 JUSTIFICATIVA

Projeções da Organização das Nações Unidas (ONU) e *World Bank* apontam que, até 2050, a população mundial será de 9,6 bilhões de pessoas e serão necessários quase três Planetas Terra para subsidiar a extração de recursos, como biomassas, combustíveis fósseis, metais e minerais, entre outros recursos naturais necessários para sustentar o atual modelo de consumo estabelecido. (WORLD BANK, 2018).

A geração de resíduos mundial também deve aumentar em 70%, gerar mais de 90% da perda de biodiversidade, além de estresse hídrico decorrentes das explorações destes recursos (UE, 2021) (WORLD BANK, 2018).

O padrão de consumo estabelecido pela Economia Linear de extrair, fabricar, utilizar e descartar não propicia incentivos suficientes para tornar produtos mais sustentáveis (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021). Pelo contrário, os produtos quebram rapidamente, não podem ser facilmente reutilizados, reparados ou reciclados e muitos são feitos para uso único (UE, 2020b).

É o caso das embalagens, geralmente compostas por papel, papelão, plásticos, vidros, madeira e metal, resíduos que geram sérios problemas em todo o mundo (Golkaram, 2022; Sasdovski, 2022). A geração anual de resíduos de todas as atividades econômicas na União Europeia é de 2,5 bilhões de toneladas, ou cinco toneladas por habitante. E as embalagens descartadas já representam 35% de todos os resíduos gerados, sendo o maior número registrado da história nos países (UE, 2021).

A dissociação da geração de resíduos do crescimento econômico exigirá um esforço considerável em toda a cadeia de valor e em todas as organizações (UE, 2020b). Por esse motivo, a Economia Circular é uma parte essencial de uma transformação mais ampla da indústria em direção à neutralidade do clima e à competitividade de longo prazo (UE, 2020b).

As discussões atuais sobre o clima, focadas na transição para energia renovável e eficiência energética, tratariam de 55% das emissões totais de gases de efeito estufa, enquanto a economia circular poderia ajudar a resolver os outros 45%, que são gerados pela forma como produzimos e consumimos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).

Espera-se que os efeitos da EC gerem um número substancial na geração mundial de novos empregos, propiciando conhecimento e novas habilidades exigidas nesta transição (WORLD BANK, 2018). Só na União Europeia, entre 2012 e 2018, o número de novos empregos gerados em função da economia circular, cresceu 6% ao ano e, até 2030, espera-se a geração de 700.000 novos empregos, além de um crescimento adicional no PIB de 0,5% (UE, 2020b).

Uma organização que integra a EC em seus processos objetiva aproveitar os benefícios da nova transição econômica e alcançar a sustentabilidade, baseados em um ciclo fechado para seu sistema de produção, de modo a otimizar o uso dos

recursos e possibilitar ciclos contínuos de reaproveitamento (FERNANDEZ DE ARROYABE et al., 2021; OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2019).

Seja pela oportunidade ou necessidade, torna-se cada vez mais necessário modelos de produção voltados aos ideais de sustentabilidade. E para tal, faz-se necessário adequar o planejamento e criar novos modelos de produtos e processos de forma a integrar e permitir a adoção dos aspectos da EC (OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2019).

O modelo de desenvolvimento circular de produtos desenvolvido nesta pesquisa propõe mudanças que afetam diretamente o processo de desenvolvimento de novos produtos adotado pelas organizações, ou seja, para cada atividade e etapas do processo de desenvolvimento de produtos são propostas práticas de EC.

Espera-se que a escolha do processo de desenvolvimento de produtos para integrar estes aspectos da EC ajude as organizações a repensarem a maneira de desenvolver seus produtos e que as mudanças provocadas sejam capazes de viabilizar os benefícios inerentes desta transição. Desta forma, o modelo aplicado à embalagens, mas não restrito à ela, é proposto com o objetivo de ajudar as organizações neste processo.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma: No Capítulo 1, contextualiza-se o estudo e apresentam-se os objetivos, justificativas, estrutura do trabalho e cronograma para sua realização. No Capítulo 2, apresenta-se uma pesquisa qualitativa e exploratória dos princípios, estratégias, práticas e iniciativas da Economia Circular, a análise de normas e documentos, além de uma revisão sistemática da literatura de modelos de desenvolvimento de produtos circulares. Já o capítulo 3 discorre sobre a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. O capítulo 4 apresenta o modelo circular proposto. No Capítulo 5, o estudo do caso e, finalmente, os capítulos 6 e 7, as discussões, conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

1.4 CRONOGRAMA

A FIGURA 1 apresenta o cronograma para o desenvolvimento do trabalho.

FIGURA 1: CRONOGRAMA DO TRABALHO 2021-2022

Nº	Atividades	2021						2022							
		Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
1	Projeto/Pesquisa desenvolvimento de produtos circulares	X	X	X											
2	Submissão de artigo congresso SIMPEP		X	X											
3	Revisão do Projeto/Pesquisa			X	X										
4	Apresentação do Projeto/Qualificação			X											
5	Correções Pós-Qualificação				X										
6	Submissão de artigos no <i>International Workshop on Advances in Cleaner Production</i> (IWACP)			X	X	X									
7	Tratamento dos dados da pesquisa bibliográfica e RSL				X	X									
8	Desenvolvimento e apresentação do MDP circular						X	X	X						
9	Estágio de Docência						X	X	X						
10	Apresentação SEPEP								X						
11	Submissão de artigo para periódico JCLP									X					
12	Desenvolvimento do estudo de caso (etapa 5 da metodologia de pesquisa)							X	X	X	X				
13	Discussão dos resultados e produção da escrita e formatação									X	X	X			
14	Apresentação dos resultados e finalização da formatação											X	X		
15	Submissão de artigo com resultado final para periódico.												X	X	
16	Revisão final													X	X
17	Envio para a banca													X	
18	Defesa														X

FONTE: O Autor (2022)

QUADRO 1 - AÇÕES E RESULTADOS PARA ATINGIR OS OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

Objetivo Geral				
Propor um modelo de desenvolvimento para produtos circulares aplicados a embalagens				
Objetivos Específicos				
Abordar os princípios da Economia Circular. (Seção 2.2)	Identificar modelos de desenvolvimento circulares para produtos físicos. (Seção 2.3.3)	Identificar etapas, estratégias, práticas e iniciativas circulares integráveis ao processo de desenvolvimento (Seções 2.3.6 a 2.3.8)	Propor a integração das estratégias, práticas e iniciativas circulares no modelo de referência (Seções 4.1 e 4.2)	Apresentar o modelo de desenvolvimento circular e estudo de caso. (Seções 4.3, 4.4 e 5)
Ferramentas				
Revisão da Literatura	RSL	RSL, Análise	Análise	Estudo de caso
Resultados Esperados				
Abordar os principais conceitos e definições da Economia Circular. (Seção 2.2)	Listar modelos de desenvolvimento circulares para produtos físicos. (Seções 2.3.3 a 2.3.5)	Identificar e discutir características, etapas, práticas e estratégias circulares voltadas ao desenvolvimento de produtos físicos.	Selecionar o modelo de referência	Apresentar o modelo de desenvolvimento para produtos circulares aplicado para embalagens. (Seções 4.3, 4.4)
Analisar normas e acordos voltados à Economia Circular. (Seção 2.3.6)	Identificar as etapas dos modelos de desenvolvimento circulares para produtos físicos. (Seções 2.3.3 a 2.3.5)	Pré-relacionar as etapas de desenvolvimento com as práticas e iniciativas circulares. (Seção 4.2)	Endereçar as práticas e iniciativas circulares no modelo de referência. (Seção 4.3)	Avaliar modelo. (Seção 5)

FONTE: O Autor (2022)

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir do objetivo geral deste trabalho, que é “propor um modelo de desenvolvimento para produtos circulares aplicados a embalagens”, este capítulo apresenta uma revisão documental exploratória dos princípios, etapas, práticas e estratégias da Economia Circular (EC). Uma revisão sistemática da literatura dos modelos de desenvolvimento de produtos e a análise de normas e documentos relacionados ao tema da pesquisa foi desenvolvida para identificar diretrizes, estratégias, práticas e iniciativas circulares integráveis ao processo de desenvolvimento de produtos.

2.1 OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A ECONOMIA CIRCULAR

A Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) surgiram a partir da evolução do desenvolvimento sustentável apresentada, cronologicamente, na FIGURA 2.

A agenda 2030 é um plano de ação, que prevê meios para a implementação, até 2030, de 17 objetivos e 169 metas para o desenvolvimento sustentável através de parcerias globais (FIGURA 3).

Combina os Objetivos do Milênio (ODM) e os resultados da RIO+20, sendo um avanço na integração e engajamento entre países para o desenvolvimento sustentável (Agenda 2030, 2021). São metas e esforços destinados ao governo, setor privado e à sociedade, que traduzem os objetivos às suas dimensões econômicas, sociais e ambientais. Essas ações envolvem áreas fundamentais para humanidade, a saber: Pessoas, Planeta, Prosperidade, Paz e Parceiras.

Todos os 17 ODS são integrados, no entanto, alguns pontos mais relevantes do documento, relacionados ao tema da pesquisa, foram destacados do texto original, gerando a coluna “Metas Circulares” (QUADRO 2).

Como critério para o destaque, todas as 169 metas dos ODS foram analisadas à luz das definições, princípios e estratégias da EC, a saber: Contrapõe o modelo de EL de extração e descarte, elimina resíduos e poluição, reduz a dependência de recursos finitos e energia não renovável, mantém materiais e produtos em uso, além de regenerar ecossistemas, através de estratégias de manutenção, recuperação,

restauração, reutilização, reaproveitamento, remanufatura e reciclagem (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).

FIGURA 2: LINHA DO TEMPO DA SUSTENTABILIDADE

Ano	Documento	Breve descritivo do objetivo e conteúdo
1987	O Relatório Nosso Futuro Comum que definiu o desenvolvimento sustentável	O desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades.
1992	RIO 92 - A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento que adotou a agenda 21	Países concordaram com a promoção do desenvolvimento sustentável para o século XXI, com foco nos seres humanos e na proteção do meio ambiente como partes fundamentais desse processo.
2000	ODM - Objetivos do Milênio	A Declaração do Milênio e os ODM foram adotados pelos Estados-membros da ONU em 2000 e impulsionaram os países a enfrentarem os principais desafios sociais no início do século XXI. São oito objetivos que serviram de base por 15 anos.
2010	RIO+20 - O Futuro que queremos	Reconhecimento da necessidade de formulação de metas para o lançamento de uma ação global coerente e focada no desenvolvimento sustentável, dando origem mais tarde aos ODS da Agenda 2030.
2015	COP 21 - Acordo de Paris	Acordo global para limitar as emissões de gases de efeito estufa e para lidar com os impactos das mudanças climáticas.
2015	A Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável	Plano de ação com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, os ODS, e 169 metas, para erradicar a pobreza e promover vida digna para todos, dentro dos limites do planeta.

FONTE: O Autor (2022)

FIGURA 3: OS 17 OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)



FONTE: Adaptado de Plataforma Agenda 2030 (2021)

QUADRO 2 - METAS E DIRETRIZES PARA OS ODS (Continua)

ODS	Descrição do Objetivo	Metas Circulares	Diretrizes voltadas a EC
2. Fome Zero e Agricultura Sustentável	Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável.	Implementar práticas agrícolas robustas, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo, fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças do clima, condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres.	Implementar práticas agrícolas robustas que ajudem na recuperação e na melhoria da qualidade dos ecossistemas.
3. Saúde e Bem-Estar	Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.	Elevar a capacidade humana para o alerta precoce, redução de riscos e gerenciamento de riscos nacionais e globais à saúde. Reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos e por contaminação e poluição do ar, da água e do solo.	Criar instrumentos de prevenção e alerta de riscos à saúde.
6. Água Potável e Saneamento	Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos.	Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento. Ampliar a cooperação internacional e o apoio ao desenvolvimento de capacidades para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados a água e ao saneamento. Incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso. Proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos. Implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis. Aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir o número de pessoas que sofrem com a escassez. Melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo pela metade a proporção de águas residuais não tratadas, e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente. Alcançar o acesso universal e equitativo à água potável, segura e acessível para todos.	Estabelecer integração com comunidades locais para melhorar a gestão da água e saneamento. Minimizar e eliminar a liberação e produtos químicos e materiais perigosos. Elevar a reciclagem e reutilização segura.
7. Energia Acessível e Limpa	Assegurar o acesso confiável, moderno e a preço acessível para todos.	Expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis nos países em desenvolvimento. Reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa. Dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética. Aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global. Assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.	Expandir infraestrutura para geração de energias limpas, incluindo energia renovável. Promover pesquisas sobre geração de energias limpas, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpos.
8. Trabalho Decente e Crescimento Econômico	Promover o crescimento econômico sustentável, o inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho decente para todos.	Fortalecer a capacidade das instituições financeiras nacionais para incentivar a expansão do acesso aos serviços bancários, financeiros e seguros para todos. Melhorar progressivamente a eficiência dos recursos globais no consumo e na produção, e empenhar-se para dissociar o crescimento econômico da degradação ambiental, de acordo com o Plano Decenal de Programas Sobre Produção e Consumo Sustentáveis. Atingir níveis mais elevados de produtividade das economias, por meio da diversificação, modernização tecnológica e inovação.	Incentivar investimentos para o desenvolvimento sustentável.
9. Indústria, Inovação e Infraestrutura	Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.	Facilitar o desenvolvimento de infraestrutura sustentável e robusta em países em desenvolvimento, por meio de maior apoio financeiro, tecnológico e técnico. Modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados, com todos os países atuando de acordo com suas respectivas capacidades.	Facilitar e modernizar o desenvolvimento e infraestrutura das indústrias.

ODS	Descrição do Objetivo	Metas Circulares	Diretrizes voltadas a EC
10. Redução das Desigualdades	Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles.	Incentivar a assistência oficial ao desenvolvimento e fluxos financeiros, incluindo o investimento externo direto para os estados onde a necessidade é maior, em particular os países de menor desenvolvimento.	Elevar fluxo financeiro.
11. Cidades e Comunidades Sustentáveis	Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.	Reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros. Aumentar a urbanização inclusiva e sustentável.	Estabelecer controle de qualidade do ar e gestão de resíduos.
12. Consumo e Produção Responsável	Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.	Racionalizar subsídios ineficientes aos combustíveis fósseis, que encorajam o consumo exagerado, por meio da reestruturação fiscal e a eliminação gradual desses subsídios prejudiciais, caso existam, para refletir os seus impactos ambientais. Desenvolver e implementar ferramentas para monitorar os impactos do desenvolvimento sustentável. Apoiar padrões mais sustentáveis de produção e consumo. Elevar a conscientização sobre o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza. Promover práticas de compras públicas sustentáveis. Adotar práticas sustentáveis e integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios. Reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso. Alcançar o manejo ambientalmente adequado dos produtos químicos e de todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida. Reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente. Alcançar gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais.	Eliminar subsídios fiscais prejudiciais às práticas de desenvolvimento sustentável pela indústria. Desenvolver ferramentas para monitorar impactos no desenvolvimento sustentável. Apoiar padrões mais sustentáveis de consumo. Adotar a integração de informações de sustentabilidade nos ciclos de relatórios gerenciais. Reduzir geração de resíduos por meio da prevenção, reciclagem e reuso. Plano Decenal de Programas Sobre Produção e Consumo Sustentáveis.
13. Ação Contra a Mudança Global do Clima	Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.	Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e eficaz. Operacionalizar plenamente o Fundo Verde para o Clima. Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação global do clima, adaptação, redução de impacto, e alerta precoce à mudança climática. Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais.	Monitorar e implementar os compromissos já assumidos na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Integrar políticas e planejamentos nacionais para elevar a conscientização, estratégias e capacidade humana para mitigar, adaptar e reduzir as mudanças climáticas.
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.	Mobilizar e aumentar significativamente, a partir de todas as fontes, os recursos financeiros para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas. Integrar os valores dos ecossistemas e da biodiversidade ao planejamento nacional e local, nos processos de desenvolvimento, nas estratégias de redução da pobreza, e nos sistemas de contas. Assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce interiores e seus serviços, em especial, florestas, zonas úmidas, montanhas e terras áridas, em conformidade com as obrigações decorrentes dos acordos internacionais.	Mobilizar e aumentar significativamente, a partir de todas as fontes, os recursos financeiros para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas.
17. Parcerias e Meios de Implementação	Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.	Desenvolver medidas do progresso do desenvolvimento sustentável que complementem o produto interno bruto. Incentivar e promover parcerias públicas, público-privadas, privadas, e com a sociedade civil. Mobilizar e compartilhar conhecimento, experiência, tecnologia e recursos financeiros para apoiar a realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável em todos os países.	Promover parcerias públicas, público-privadas, e com a sociedade civil.

FONTE: O Autor (2022)

(Conclusão)

As metas propostas relacionadas com as definições de EC estão distribuídas em 12 objetivos e 43 metas.

Pontos comuns entre as 43 metas identificadas como circulares, podem ser destacados, a saber: A recuperação de ecossistemas, água, ar e solo, prevenção de riscos à saúde humana, capacitação e conscientização da sociedade sob aspectos ambientais, integração e comunicação com a comunidade para buscar soluções para gestão da água e de saneamento. Incentivos às práticas de reciclagem e reutilização, incentivo à geração de energia limpa e energia renovável, pesquisas de eficiência energética, redução do uso de recursos fósseis, incentivo à modernização e expansão de infraestrutura industrial, fomento do volume e acesso aos investimentos, desenvolvimento e adoção de controles de qualidade do ar e emissão de poluentes e resíduos, além da promoção de parcerias público-privadas e a sociedade.

Quanto às Diretrizes, foram citados documentos complementares, como o Plano Decenal de Programas Sobre Produção e Consumo Sustentáveis e os compromissos globais assumidos na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC).

Os ODS erradicação da pobreza, educação de qualidade, igualdade de gênero, vida na água e paz, justiça e instituições eficazes abordaram, exclusivamente, as dimensões econômica e social. Não citaram, diretamente no texto, termos, princípios ou estratégias relacionadas às definições EC, critério de análise, apresentado no início desta subseção.

São notáveis a relação entre o Desenvolvimento Sustentável, os ODS e EC e a importância da adoção da EC como estratégia para alcançar os ODS. Isto fica evidente quando consideramos ainda os esforços que diversas instituições ao redor do mundo, como a Organização das Nações Unidas (ONU), União Europeia (EU), Ellen MacArthur Foundation, Circ It Nord, entre outras, dedicam ao tema.

2.2 ECONOMIA CIRCULAR

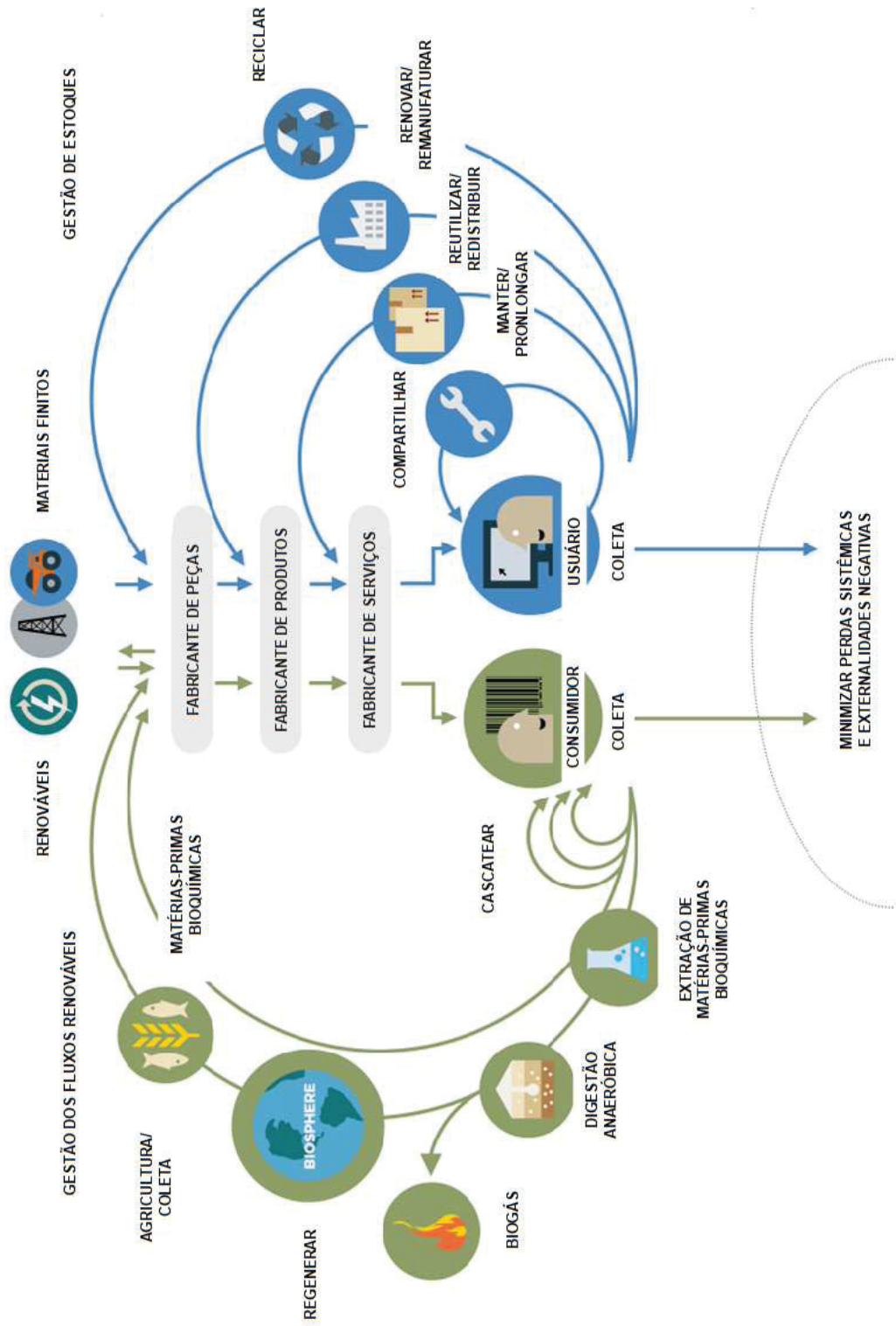
Economia Circular (EC) visa dissociar o crescimento econômico do consumo de recursos finitos e impacto ambiental. Está apoiada em iniciativas para eliminar resíduos e poluição, manter materiais e produtos em uso e regenerar ecossistemas. (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).

A EC é um modelo de economia baseado numa estratégia que integra as organizações e o meio ambiente com o objetivo de alcançar a sustentabilidade, baseados em um ciclo fechado para sistemas de produção e consumo (FERNANDEZ DE ARROYABE et al., 2021). O Diagrama Borboleta representa este ciclo que se trata de um fluxo contínuo de materiais técnicos e orgânicos dentro de um sistema de *loops* fechados, no qual os valores dos materiais técnicos são mantidos por mais tempo através das estratégias de partilhar, reutilizar, remanufaturar e reciclar (ELLEN MACARTHUR FUNDAÇÃO; SUN, 2015). Os materiais orgânicos e seus nutrientes, são projetados para retornar ao meio ambiente com segurança através da decomposição, servindo de matéria-prima para um novo ciclo (FIGURA 4) (ELLEN MACARTHUR FUNDAÇÃO; SUN, 2015).

É um dos principais modelos econômicos discutidos atualmente (DE KOEIJER; WEVER; HENSELER, 2017). Influenciada pelos ciclos *Cradle to Cradle*, está relacionada com a crescente necessidade de reduzir o consumo de recursos e pressões acerca dos impactos ambientais negativos. Atua numa linha oposta ao modelo atual predominante, da Economia Linear (EL) e o sistema *Cradle to Grave*, beneficiando diretamente a sociedade (SELVEFORS et al., 2019).

Na EL e no sistema *Cradle to Grave*, os produtos têm um ciclo de vida com começo, meio e fim, contribuindo para geração de lixo e resíduos. Na EC, os produtos e resíduos gerados pelos processos de transformação mantêm os valores em toda a sua vida útil, pois são condicionados a um ciclo fechado de uso e reaproveitamento (FERNANDEZ DE ARROYABE et al., 2021). Sob uma ótica de sustentabilidade, a EC visa integrar-se ao gerenciamento dos processos, desde o projeto do produto, passando pelo desenvolvimento, produção e uso (PINHEIRO et al., 2019).

FIGURA 4: DIAGRAMA DO FLUXO CONTÍNUO DE MATERIAIS TÉCNICOS E BIOLÓGICOS



FONTE: Adaptado de Ellen Macarthur Foundation; Sun (2015).

A EC está apoiada em três princípios (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021):

- ✓ **Projetar para eliminar lixo e resíduos:** A Fase de projeto determina até 80% de todo o impacto ambiental gerado. A mudança no pensamento, o desenvolvimento e adoção de novos materiais e tecnologias, durante a etapa de projeto, impedem a geração de resíduos e poluição. São exemplos, a adoção de materiais e compósitos naturais, biodegradáveis de total e rápida decomposição e que apresentam baixo valor para a economia. É uma solução que antecede a necessidade de reparo, reuso, reciclagem e outras estratégias circulares que serão abordadas no decorrer desta subseção(ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).
- ✓ **Manter os produtos e materiais em uso por mais tempo:** Produtos podem ser projetados para aumentar a sua vida útil, para serem modulares, de fácil desmontagem para facilitar reparos, melhorias e atualizações. Exemplos: a) A projeção de produtos e estruturas para reparos e manutenções que garantam o seu uso por mais tempo, justificando a compra e fidelizando consumidores. b) Estender o ciclo de vida dos produtos baseada em trocas, no qual o usuário pode adquirir um produto usado ao invés de comprar um novo, evitando que o item seja descartado como lixo e adotando estratégia de compartilhamento, maximizando a sua utilização. Dessa forma, a mudança ocorre no perfil de consumo (SELVEFORS et al., 2019).
- ✓ **Regenerar sistemas naturais:** Projetar resíduos para o uso como recursos, de maneira que o solo fosse não só preservado, como regenerado. Exemplos: a) Evitar o uso de recursos não renováveis, como os combustíveis fósseis. b) Aproveitar os resíduos de uma fazenda de gado como recursos para a produção de biogás e fertilizantes que ajudam o solo de plantações(ELLEN MACARTHUR FUNDAÇÃO; SUN, 2015).

A EC tem foco no design e baseia-se em estratégias de manutenção, recuperação, restauração, reutilização, reaproveitamento, remanufatura e reciclagem (FERNANDEZ DE ARROYABE et al., 2021).

A Reutilização: Refere-se a estender a vida útil dos produtos baseada em trocas, no qual o usuário pode adquirir um produto usado ao invés de comprar um novo, evitando que o item seja descartado como lixo e adotando estratégia de compartilhamento, maximizando a sua utilização(HE et al., 2021).

A Reciclagem (desmontagem, separação de componentes e informações sobre o conteúdo químico, por exemplo): A reciclagem de recursos impacta em todas as etapas do ciclo de vida de um produto, incluindo mineração, transporte, fabricação, montagem, uso e reciclagem (HE et al., 2021).

O Design para Remanufatura: A remanufatura é um exemplo de estratégia circular que pode ser abordada por diversos segmentos e visa estender a vida útil de um produto, contribuindo para a redução da emissão de CO₂. Está relacionada com processos de desmontagem, limpeza, remontagem e testes. É um processo padronizado, desenvolvido dentro de fábricas ou locais estruturalmente apropriados, especializados na restauração, que objetiva colocar produtos em condições de igual ou melhor operação em relação aos novos e originais (BOORSMA et al., 2021). No entanto, as estratégias de design voltadas à manufatura são ainda pouco exploradas (BOORSMA et al., 2021).

Essas estratégias implicam diretamente na redução do consumo de recursos naturais, energia e emissões de poluentes, além de estarem apoiadas na sustentabilidade, ajudando a promover o desenvolvimento econômico, social e ambiental (BOCKEN et al., 2019; FERNANDEZ DE ARROYABE et al., 2021; ONU-BRASIL, 2021).

Por apresentarem elevado potencial de desenvolvimento sustentável, é objeto de pesquisa e interesse para empresas, universidades e formuladores de políticas públicas. Os estudos e publicações relacionados à adoção da EC estão em constante crescimento, reflexo da importância dado ao tema (BOCKEN et al., 2019; PAIANO et al., 2021).

A importância da adoção da EC reflete em ações coordenadas e integradas ao redor do mundo. Um exemplo é a criação da Plataforma de Aceleração da Economia Circular (PACE), pelo Fórum Econômico Mundial, em parceria com o World Resources Institute, Philips, Ellen MacArthur Foundation, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e mais de 40 outros parceiros (ONU, 2021).

A EC tem papel fundamental para a realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), um plano de ação global que reúne 17 objetivos e 169 metas desenvolvimento propostos para erradicar a pobreza, melhorar a qualidade de vida utilizando recursos do nosso planeta sem comprometer as gerações futuras (GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ et al., 2020).

Quanto aos fatores impulsionadores para a adoção da EC, destacam-se as exigências legais impostas pelos órgãos regulamentadores, a adoção de políticas internas organizacionais focadas na sustentabilidade e a adoção do modelo circular como estratégia de marketing e posicionamento de mercado frente à concorrência (PINHEIRO et al., 2019).

As barreiras e desafios estão associados à quebra de importantes paradigmas, a saber: Os consumidores e usuários de produtos tem um papel fundamental para o sucesso da adoção de produtos circulares, pois o seu comportamento pode fomentar o uso de estratégias de reparo, manutenção e reciclagem (SELVEFORS et al., 2019). No entanto, quando comparados aos produtos novos e originais, uma parte da sociedade associa os produtos recuperados à baixa qualidade, dificultando a aceitação pelo mercado. Isso envolve a mudança de comportamento de consumo atual que, por sua vez, está apoiado ao modelo EL (SELVEFORS et al., 2019).

Fatores como a falta de tecnologias, aspectos financeiros, altos investimentos para adequação de estruturas industriais voltados a EC, (PINHEIRO et al., 2019) a ausência de canais de comunicação que facilitem o diálogo entre os atores envolvidos no processo, e know-how também são alguns dos desafios. (FERNANDEZ DE ARROYABE et al., 2021).

2.3 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS CIRCULARES

Esta seção apresenta a terminologia adotada para o tema desenvolvimento de produtos, conceitos do PDP circular, uma revisão sistemática da literatura para identificar os modelos de PDP circulares para produtos físicos e para o desenvolvimento de embalagens e, finalmente, a análise de normas e documentos relacionados ao tema Desenvolvimento de Produtos Circulares.

2.3.1 Terminologia

Produtos são quaisquer bens ou serviços como materiais manufaturados (lubrificantes), produtos físicos (hardware para computadores) e serviços (transporte e softwares computadores e aplicativos) (ABNT, 2004).

Processo é um conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas que transformam entradas em saídas, com o objetivo de agregar valor e atender as necessidades internas de uma organização, clientes e consumidores externos. As saídas de um processo são geralmente as entradas de outro (ABNT, 2004).

Projeto e desenvolvimento são um conjunto de processos que transformam requisitos em características, especificações de produtos, processos e sistemas. São utilizados como sinônimos, mas também indicam etapas diferentes dos processos de transformação de uma ideia em produto (ABNT, 2004).

O Desenvolvimento de produto refere-se ao processo de transformação de uma ideia em um produto. Envolve a aplicação de ferramentas e métodos em fase e etapas que vão desde o planejamento de um novo produto, passando pela produção e chegando ao uso, incluindo melhorias e modificações em produtos já existentes (ABNT, 2004).

2.3.2 Processo de desenvolvimento de produtos e a Economia Circular

Com metas e objetivos propostos para a transição da EC, faz-se necessário a operacionalização de processos que correspondam e viabilizem tais objetivos (BOCKEN et al., 2019).

Indústrias ao redor do mundo têm explorado maneiras de integrar práticas e iniciativas sustentáveis aos processos e organizações. Uma delas é por meio dos Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDP) (SELVEFORS et al., 2019). São esforços para adoção de métodos que viabilizem a integração de estratégias, ferramentas e indicadores, que podem elevar o desempenho ambiental e aproveitar os benefícios da transição para a uma EC. (SELVEFORS et al., 2019).

Dessa forma, os modelos tradicionais de desenvolvimento de produtos têm sido adaptados para integração das estratégias da EC (LUGNET; ERICSON; LARSSON, 2020; PAIANO et al., 2021; VAN DAM; SLEESWIJK VISSER; BAKKER, 2021).

O PDP é um processo capaz de conceituar produtos voltados a uma necessidade social. As tomadas durante o desenvolvimento do produto envolvem a aplicação de recursos, materiais e tecnologias capazes de determinar a qualidade, custo, estética e sustentabilidade do produto (SHAHBAZI et al., 2020).

O PDP é uma ferramenta sistemática aplicada para atender a necessidade de clientes, que considera restrições tecnológicas e de fundamental importância para avançar em direção a uma economia circular. Mas requer um grau de customização para adaptação aos produtos e práticas circulares (PINHEIRO et al., 2019; SHAHBAZI; JÖNBRINK, 2020).

Um produto é dito circular quando é projetado para retornar ao seu ciclo de vida continuamente de maneira que cause o menor ou nenhum impacto ambiental (VAN DAM; SLEESWIJK VISSER; BAKKER, 2021).

Os requisitos e características relacionados ao desenvolvimento de produtos são a durabilidade, a reparabilidade no que se refere ao desenho do produto, facilitando as atividades de manutenção, reparo, disponibilidade de peças sobressalentes, capacidade de atualização e modularidade. A reutilização e reciclagem (desmontagem, separação de componentes e informações sobre o conteúdo químico, por exemplo). Essa última, por sua vez, impacta em todas as etapas do ciclo de vida de um produto, incluindo mineração, transporte, fabricação, montagem, uso e reciclagem no final (FERNANDEZ DE ARROYABE et al., 2021; HE et al., 2021).

2.3.3 MDP circulares para produtos físicos

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com base na proposta de revisão de Conforto e Amaral (2011), foi empregada para obter uma panorama das abordagens e aspectos da EC considerados nos modelos de desenvolvimento de produtos.

Foram definidas as perguntas e estratégias de pesquisa, contemplando os termos relacionados ao tema presentes no título, resumo e palavras-chave, base de periódicos, idioma e período das publicações, critérios de inclusão e exclusão de artigos. O QUADRO 3 apresenta o protocolo de RSL.

Foi considerado o maior número possível de *strings* relacionado ao tema EC, modelos de desenvolvimento de produtos e suas possíveis combinações. A busca inicial resultou em 1128 artigos (FIGURA 5).

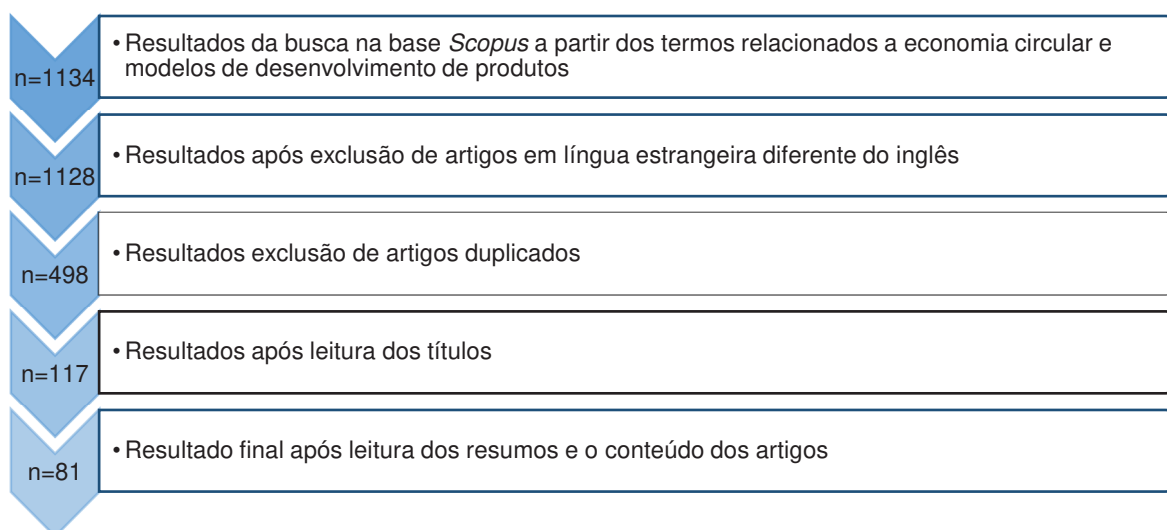
Na sequência, foi realizada a leitura e avaliação dos títulos, resumos e, quando necessário, a leitura dinâmica dos artigos. Ao fim desta etapa, 81 artigos foram selecionados para a leitura completa.

QUADRO 3 - PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Pergunta de pesquisa: Quais artigos abordam modelos de desenvolvimento circulares?		
Estratégias de busca:	"product development*" OR "product development model*" OR "new product development process" OR "product design" OR "industrial design" OR "PDP" OR "new product development" OR "design for X" OR "DfX" OR "design for X" "circular* economy" OR "circular product design" OR "circular design"	"circular economy" OR "circular* design" OR "circular* product" OR "circular economy" OR "sustainab* design" "circular design" OR "circular product" OR "ecodesign" OR "sustainab* design" OR "framework"
Período: Artigos em inglês publicados entre 2000 e 2021.		
Base de periódicos: <i>Scopus</i> .		
Crítérios de inclusão: Artigos que apresentaram fases, etapas, práticas, iniciativas, estratégias e ferramentas da economia circular (EC) no processo de desenvolvimento de produtos; Artigos disponíveis publicados em periódicos de acesso aberto ou por assinatura.		
Crítérios de exclusão: Artigos nos quais a EC e Desenvolvimento de Produtos (DP) não eram os temas centrais, ou seja, foi apenas um entre vários tópicos abordados; Artigos indisponíveis ou duplicados.		

FONTE: O Autor (2022)

FIGURA 5: RESULTADOS DA BUSCA NA BASE DE PERIÓDICO SCOPUS



FONTE: Autor (2022)

Após a leitura completa dos 81 artigos, concluiu-se que as pesquisas não apresentaram um modelo de PDP abrangendo todas as etapas.

Os estudos abordaram métodos, ferramentas, práticas e estratégias da EC e sua integração no desenvolvimento de novos modelos de negócios, a importância e o papel de políticas e legislação, implicações para adoção da EC em pequenas e médias

empresas (PME), pesquisas de comportamento de consumidor, oportunidades da adoção de ferramentas da revolução industrial 4.0, como Inteligência artificial e *Big Data* nas estratégias de EC, além de análises de viabilidade econômica (QUADRO 4).

Por outro lado, esses estudos abordaram profundamente cada tema, por exemplo, na análise de seleção de materiais, foram abordadas ferramentas e técnicas de seleção de materiais e sua influência nos aspectos de reciclabilidade, análise da relação da demanda de materiais e taxas de reciclagem, desenvolvimento de indicadores de desempenho dos materiais, oferta e escassez de matérias primas como materiais com risco de restrições de fornecimento, financeiramente caros e com preços voláteis (COTTAFAVA; RITZEN, 2021; DESING; BRAUN; HISCHIER, 2021; MARTINS; CASTRO, 2019; MESA; GONZÁLEZ-QUIROGA; MAURY, 2020; MULVANEY et al., 2021; SANTAGATA et al., 2020). Além do desenvolvimento de compósitos biodegradáveis e compostáveis e análise do potencial da manufatura aditiva (MA) para o design de produtos circulares (SAUERWEIN et al., 2019).

Predominantemente, os autores abordaram, isoladamente, algumas das fases e etapas iniciais do desenvolvimento de produto com foco no projeto. O foco dessas abordagens se justifica, pois, as etapas iniciais do PDP podem definir até 80% de todo o impacto ambiental e conforme o processo avança e as soluções técnicas são estabelecidas, fica mais difícil incluir soluções sustentáveis (SHAHBAZI et al., 2020). Outro fator é que por definição, a EC tem forte ligação como o *Design* (ABNT, 2004; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021; SHAHBAZI et al., 2020).

Diante do panorama apresentado, as abordagens revelaram uma oportunidade de desenvolvimento de um modelo mais abrangente no que compete às etapas do PDP, permitindo examinar a viabilidade de expandir a aplicação das práticas, estratégias e ferramentas de EC a todo o processo de desenvolvimento, não se limitando somente às etapas iniciais.

QUADRO 4 - PANORAMA DAS ABORDAGENS DOS ESTUDOS DE EC VOLTADOS AO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.

Abordagens dos Estudos		Autores	
Etapas	Etapas isoladas e iniciais do PDP como o planejamento do produto, a conceitualização e subetapas, como a seleção de materiais, análise do ciclo de vida e embalagens.	(BUYLE et al., 2019); (DOKTER et al., 2020); (DOMINGUEZ et al., 2018); (EBERHARDT; BIRGISDOTTIR; BIRKVED, 2019); (LAVAGNA et al., 2021); (MALABI EBERHARDT et al., 2020); (MARRUCCI; DADDI; IRALDO, 2019); (MINGUEZ et al., 2021); (NERAMBALLI et al., 2020); (DESING et al., 2019); (VANEGAS et al., 2018).	
	Método e estratégias isoladas da EC como a redução, reutilização, reparo, recuperação, remanufatura e reciclagem.	(BECCI et al., 2020); (DUGO et al., 2020); (FAVI et al., 2019); (GALLAGHER et al., 2019); (HAYES; GALLAGHER, 2019); (HERNANDEZ; MIRANDA; GOÑI, 2020); (MINUNNO et al., 2020); (SAN-FRANCISCO et al., 2020); (GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ et al., 2020).	
Ferramentas e métodos	Ferramenta para avaliação da circularidade durante o projeto e desenvolvimento.	(DE WOLF; HOXHA; FIVET, 2020).	
	Ferramentas de avaliações técnico-econômicas, de circularidade e suporte à tomada de decisão, gerenciamento de informações do ciclo de vida.	(ACERBI; TAISCHI, 2020); (ALBÆK et al., 2020); (LONGO et al., 2021); (POLVERINI; MIRETTI, 2019) (TALENS PEIRÓ et al., 2020); (RIO et al., 2020); (SCHULZ et al., 2021); (SHOAIB-UL-HASAN et al., 2021); (VIMAL; KANDASAMY; GITE, 2021); (WAGNER; BOLOGNA PAVLIK, 2020).	
Simulação, métodos e Ferramentas	Desenvolvimento de sistemas produto-serviço (<i>Product-Service System-PSS</i>).	(AGUIAR et al., 2020).	
	Simulação computacional de modelos de produtos PSS com base no ciclo de vida.	(PANAROTTO; WALL; LARSSON, 2017)	
	Desenvolvimento de modelos de simulação computacional para análise dos efeitos da adoção da circularidade no projeto de produto, modelo de negócios, seleção de fornecedores e avaliação da reciclabilidade de materiais.	(AMELI; MANSOUR; AHMADI-JAVID, 2019); (FAVI et al., 2019).	
Estratégias	Estratégias de comunicação, recondição e remanufatura para maior aceitabilidade entre consumidores.	(CHAMBERLIN; BOKS, 2018); (DOKMAL, 2018); (HUNKA; LINDER; HABIBI, 2021); (SIMINELLI, 2017); (SINCLAIR et al., 2018); (STEENIS et al., 2018); (VEHMAS et al., 2018).	
	Estratégias de obsolescência programada para produtos.	(PAMMINGER; GLASER; WIMMER, 2021).	

(Continua)

Modelos de negócios	Desenvolvimento e integração de estratégias para integração às práticas de EC, no desenvolvimento do modelo de negócio e ferramentas de consumo e produção sustentáveis.	(ACKERMANN, 2018); (BOCKEN et al., 2016); (KRYSTOFIK; GAUSTAD, 2018); (MARRUCCI; DADDI; IRALDO, 2019); (MORENO et al., 2016).
	Desenvolvimento de compósitos biodegradáveis à base de casca de frutas, borra de café, resíduos têxteis, vidros e de materiais de construção.	(ANDLER et al., 2021); (DA SILVA et al., 2021); (LEPELAAR; NACKENHORST; OSKAM, 2017); (ROMNÉE et al., 2019); (ZABANIOTOU; KAMATEROU, 2019).
	Novas estruturas e revisões de modelo de negócios, incluindo a cadeia de suprimentos.	(HEYES et al., 2018); (VAN LOON; DIENER; HARRIS, 2021).
	Barreiras, motivadores, práticas e estratégias de desenvolvimento da Economia Circular aplicada a modelos de negócios.	(ADISORN; THOLEN; GÖTZ, 2021); (BRESSANELLI et al., 2020); (DE OLIVEIRA et al., 2020); (DEN HOLLANDER; BAKKER; HULTINK, 2017); (GORECKI, 2019); (HOSSEINIAN; YLÄ-MELLA; PONGRÁCZ, 2021); (JULIANELLI et al., 2020); (KURILOVA-PALISAITIENE; LINDKVIST; SUNDIN, 2015); (LEAL et al., 2020); (SVENSSON-HOGLUND et al., 2021).
	O papel e importância do design circular no desenvolvimento de modelos de negócios.	(FOGARASSY; FINGER, 2020); (FRANCO, 2019); (LIEDER; ASIF; RASHID, 2020); (SUMTER; BAKKER; BALKENENDE, 2018).
	Análise de políticas e de legislação no papel de aceleradores da EC.	(HARTLEY; VAN SANTEN; KIRCHHERR, 2020); (POLVERINI, 2021); (SVENSSON-HOGLUND et al., 2021); (TALENS PEIRÓ et al., 2020); (TEN WOLDE, 2016); (UMEDA et al., 2020).
	Pesquisas do comportamento de consumidores para delineamento de estratégias de integração da EC ao modelo de negócios.	(BOVEA; PÉREZ-BELIS, 2018); (REXFELT; SELVEFORS, 2021); (WASTLING; CHARNLEY; MORENO, 2018).
	Implicações da adoção da EC para produtos e <i>stakeholders</i> .	(FERNANDEZ DE ARROYABE et al., 2021).
	Análise de viabilidade econômica para a aceitação de produtos circulares pelo mercado.	(BOYER et al., 2021).
	Oportunidades na adoção de ferramentas da indústria 4.0, como Inteligência Artificial e <i>Big Data</i> , nas estratégias de EC.	(ALCAYAGA; WIENER; HANSEN, 2019); (FAVI et al., 2020); (GHOREISHI; HAPPONEN, 2020); (LEKAN; CLINTON; JAMES, 2021).
Outros	Relação entre as diretrizes de EC e do <i>Ecodesign</i> .	(MATHIEUX; ARDENTE; BOBBA, 2020).
	Revisões da literatura sobre os benefícios econômicos e ambientais no setor de construção civil.	(GHISELLINI; ULGIATI, 2020).
FONTE: Autor (2022).		

Utilizando ainda o protocolo de RSL abordado no QUADRO 3, as pesquisas foram expandidas para a base *Google Scholar* com objetivo explorar possíveis modelos de desenvolvimento de produtos circulares, além de documentos e normas relacionados ao tema.

Os resultados da busca são apresentados e discutidos nas subseções seguintes (QUADRO 5).

QUADRO 5 - LISTA DOS RESULTADOS DA PESQUISA NA BASE *GOOGLE SCHOLAR*

Subseção	Documentos	Tipo	Objetivo/Resumo
2.3.4	Artigo de Oliveira, França e Rangel (2019).	Artigo	Propõe um modelo de desenvolvimento de produtos (MDP) circulares.
2.3.5	Guide CIRCit Nord Project and product development.	Documento/Guia	Propõe um modelo de desenvolvimento (MDP) circular com foco na integração das estratégias em MDP tradicional.
2.3.6.1	ABNT ISO-TR 14062 - Gestão Ambiental - Integração de Aspectos Ambientais no Projeto e Desenvolvimento do Produto.	Norma	Aborda a integração de aspectos ambientais em MDP tradicionais.
2.3.6.3	Plano de Ação Europeu para a EC.	Documento/Plano de ação	Aborda diretrizes, estratégias e iniciativas para adoção da EC.
2.3.6.4	Normas ISO/TC 323 e ISO WD 59004	Norma	Conjunto de princípios, terminologias, definições e uma estrutura padrão de sistema de gestão para a EC.

FONTE: Autor (2022)

2.3.4 MDP conforme Oliveira, França e Rangel (2019).

Oliveira, França e Rangel (2019) apresentaram um modelo de PDP abrangendo todas as fases e etapas do desenvolvimento.

O objetivo geral foi o de integrar aspectos da EC no processo de desenvolvimento de produtos em arranjos produtivos locais (APLs), permitindo a proposta de um modelo de desenvolvimento apoiado no pensamento do ciclo de vida

e aspectos da EC, ou seja, além da integração dos aspectos de EC, que visam maximizar o valor dos produtos e subprodutos ao longo da cadeia de valor, foi considerado ainda os aspectos ambientais.

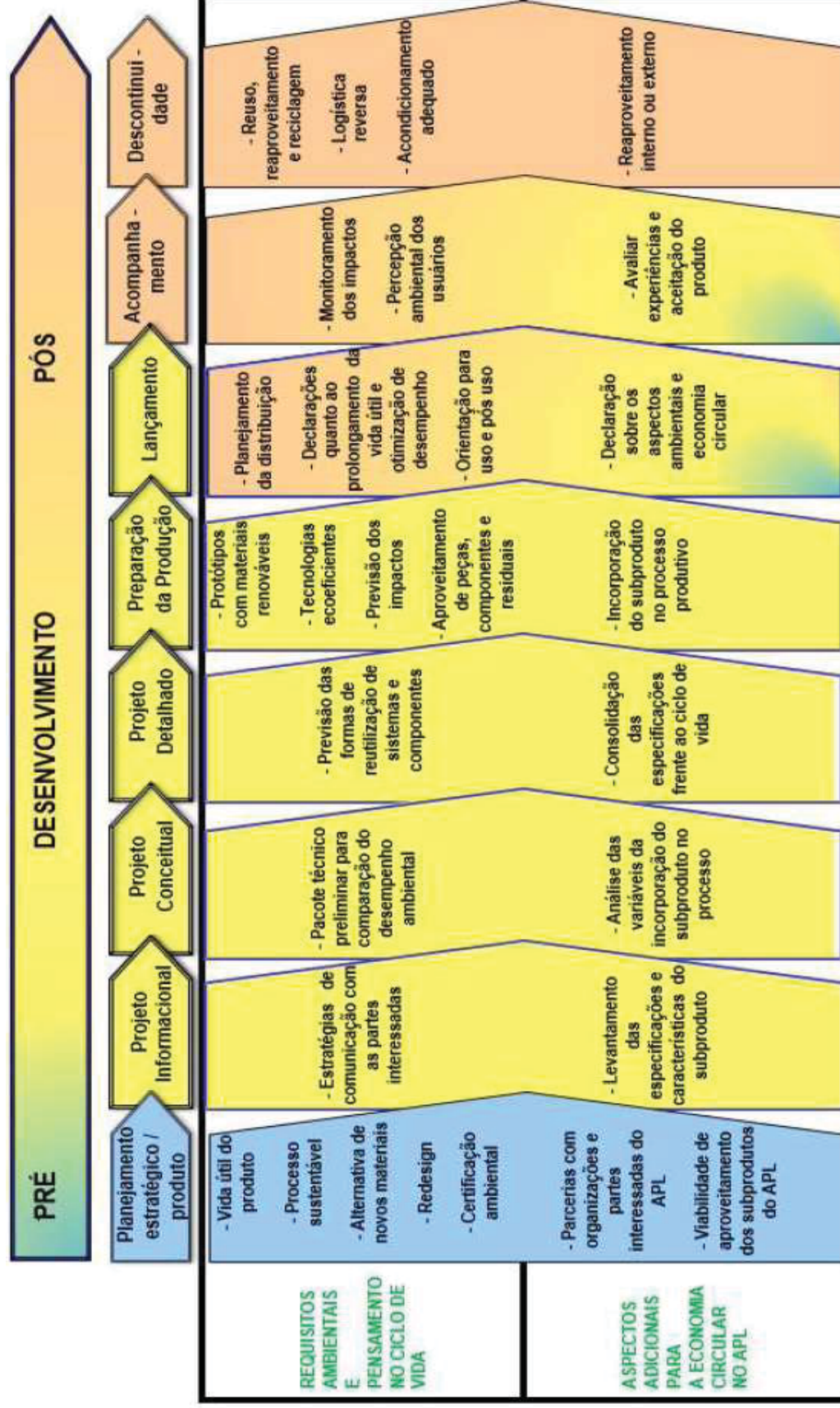
Oliveira, França e Rangel (2019) desenvolveram uma pesquisa de abordagem qualitativa e natureza exploratória, contemplando a análise da norma ABNT ISO/TR 14062, documentos de diversos países relacionados a EC, como o Plano de Ação da União Europeia para a EC, além da Convenção Marco sobre Mudanças Climáticas. Desenvolveram a RSL focada em artigos científicos, utilizando termos relacionados a EC, desenvolvimento de produtos e APL, além de explorar modelos de desenvolvimento de produtos disponíveis na literatura. O Objetivo desta etapa de revisão foi o de (i) identificar os atores e aspectos internos e externos relacionados às APLs e, na sequência, (ii) os requisitos ambientais e aspectos da EC que integraram o modelo de desenvolvimento proposto pelos autores.

A partir da adaptação do modelo tradicional de Rozenfeld et al. (2006), Oliveira, França e Rangel (2019) integraram princípios e aspectos da EC, requisitos ambientais, e o pensamento do ciclo de vida resultantes da pesquisa, nas macrofases do desenvolvimento de produto, a saber: Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-desenvolvimento.

As macrofases, etapas, os aspectos internos e externos identificados e integrados ao modelo de desenvolvimento de produtos são apresentados (OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2019) (FIGURA 6).

Pré-desenvolvimento: Contempla o planejamento estratégico, permeando os setores funcionais e diretrizes da organização. Incluem (i) aspectos internos como a inovação, capacidade de técnica e de produção, *know-how*, disponibilidade de recursos financeiros, pessoas, componentes e insumos. Nesta etapa faz-se necessário o planejamento sustentável, a adoção de estratégias circulares como *rethink e redesign* para estender a vida útil do produto. Incluem ainda, (ii) aspectos externos como requisitos ambientais, legislação vigente, requisitos e expectativas do cliente, ambiente social e aspectos da comunidade, no qual a organização está inserida e parcerias entre as organizações envolvidas nos APLs para aproveitamento dos resíduos como recursos, fechando ciclo e mantendo o valor do produto por mais tempo.

FIGURA 6: MDP CONFORME OLIVEIRA, FRANÇA E RANGEL (2019).



FONTE: Oliveira, França e Rangel (2019).

Desenvolvimento: Inclui o projeto informacional, conceitual, detalhamento, planejamento ou preparação para produção, montagem e lançamento do produto.

No projeto informacional objetiva-se compreender as necessidades do cliente e da organização, levantar os requisitos para as especificações do produto e subprodutos de maneira que possam agregar os aspectos de circularidade, permitindo que os resíduos ou subprodutos de uma organização tornem-se insumos para outra.

No projeto conceitual, trata-se das propostas de concepção do produto, análises preliminares dos impactos e desempenho ambiental. Utiliza-se banco de dados, ferramentas de ACV, além de confrontar as especificações estabelecidas para produto e subprodutos.

No detalhamento do produto, as informações técnicas e requisitos ambientais são detalhados e aprovados. Nesta etapa, objetiva-se avaliar a reutilização de sistemas e componentes e aprovar as especificações dos subprodutos a serem incorporados no processo.

Preparação para a produção: Refere-se ao desenvolvimento de protótipo utilizando materiais recicláveis e outros recursos renováveis, como materiais e energia, além de testes de qualidade e desempenho funcional, estéticos e ambientais. Ao final, o produto é aprovado e liberado para a produção em escala.

Lançamento do produto: Diz respeito a aspectos externos e está relacionado ao planejamento da distribuição e comunicação sobre o desempenho funcional e ambiental, vida útil, orientações sobre o correto transporte, conservação, pós-uso e descarte, também relacionados aos aspectos ambientais e de EC.

Pós-desenvolvimento: Refere-se ao monitoramento e avaliação do produto no mercado, bem como a previsão de descontinuidade. Gera oportunidades de melhoria para processos e produtos e inclui a avaliação do desempenho ambiental, a análise de aceitação do mercado com base na percepção dos consumidores e usuários sobre sua função e requisitos como custo, qualidade, reparabilidade e durabilidade.

2.3.5 MDP conforme CIRCit Nord (2019)

CIRCit Nord é um projeto que reúne os países europeus da Dinamarca, Noruega, Finlândia, Islândia e Suécia para o desenvolvimento de pesquisas científicas sobre métodos e ações que visam apoiar a indústria nórdica na implementação das estratégias de EC (NORD, 2021).

O projeto CIRCit Nord foi desenvolvido a partir das dificuldades que as indústrias enfrentam ao decidirem por adotar as estratégias de EC no desenvolvimento de produto. Especialmente diante de um cenário de incertezas e barreiras sobre aceitação dos produtos circulares pelo mercado, e dúvidas sobre as oportunidades e próximos passos (NORD, 2020).

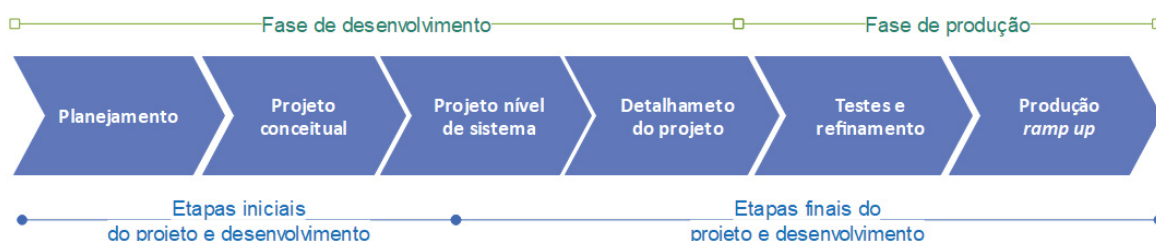
Nesse sentido, Shahbazi et al. (2020) apresenta o Guia para Projeto e Desenvolvimento de Produtos Circulares que visa apoiar indústrias de manufaturas, empresas públicas ou privadas, e suas áreas funcionais, como Pesquisa, Desenvolvimento de produtos, Marketing e outras, que desejam operacionalizar as estratégias da EC. Tem o objetivo de fornecer inputs e ajudar na integração de aspectos circulares no projeto e desenvolvimento de produtos (SHAHBAZI et al., 2020).

Os MDPs envolvem uma série de etapas que vão desde o planejamento até a fabricação e lançamento do produto. Os modelos podem variar para cada empresa e até produto, mas tem o objetivo comum de viabilizar o desenvolvimento de produtos capazes de cumprir requisitos, como qualidade, custo e tempo (SHAHBAZI et al., 2020).

Um MDP que compreende as etapas de Planejamento, Projeto conceitual, Projeto nível de sistema, Detalhamento do projeto, Testes, revisões e Ramp up de produção é apresentado (FIGURA 7) (NORD, 2020).

O Guia CIRCit Nord tem foco nas etapas iniciais do projeto e desenvolvimento, mas pode ser aplicado às etapas posteriores ao desenvolvimento, como testes e produção (SHAHBAZI et al., 2020).

FIGURA 7: MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS



FONTE: Adaptado de Ulrich and Eppinger (2008)

Planejamento: É uma declaração da missão do projeto ou produto, no qual é identificado o mercado-alvo, os objetivos do mercado e negócio, premissas e restrições essenciais, estratégias e avaliação tecnológica.

Projeto conceitual: É o desenvolvimento, avaliação e seleção de um, entre um conjunto de alternativas de conceitos de produtos, para futuro desenvolvimento e teste.

Projeto em nível de sistema: Trata-se da definição da arquitetura do produto, projeto de sistemas, subsistemas, conjuntos e componentes, montagem e produção.

Detalhamento do projeto: É o detalhamento das geometrias, especificações funcionais, materiais e tolerâncias de componentes, elaboração de planos de controle de processos para abastecimento, fabricação, montagem, garantia da qualidade e análise de custos.

Testes: São os testes para verificação do desempenho geral e confiabilidade, durabilidade de protótipos e implementação de revisões necessárias no projeto. É a maneira de checar se o produto atende aos requisitos planejados e oportunidade para ajustar processos de produção e montagem.

Ramp up: Refere-se à fabricação do produto até atingir a plena operação de produção, metas de tempos de ciclo, capacidade e qualidade. Nessa etapa, podem ser ministrados treinamentos de operações e resolvidos problemas relacionados a produção.

Para a integração dos aspectos de circularidade no projeto e desenvolvimento de produtos, utilizando técnicas de workshop, o modelo de integração, que consiste em cinco etapas, é apresentado (QUADRO 6).

QUADRO 6 - METODOLOGIA DE INTEGRAÇÃO DOS ASPECTOS DE CIRCULARIDADE NO PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Etapas	Subetapas	Objetivo	Entradas	Saídas	Atores
Preparação	Mapeamento do ciclo de vida do produto com base no pensamento do ciclo de vida.	Envolve um mapeamento ativo e sistemático de cada estágio do ciclo de vida do produto em relação aos cenários prováveis que podem influenciar o produto e seus componentes e materiais durante sua vida útil. Identifica potenciais ganhos, efeitos ambientais e aspectos de circularidade já implementados.	Pensamento no ciclo de vida.	Mapeamento do ciclo de vida.	Atores envolvidos e especialistas nas ferramentas de ACV.
	Definição da equipe.	Garantir que as competências e pessoas necessárias para tomada de decisão estejam envolvidas. Pode ser uma equipe multifuncional. À equipe, é apresentada as estratégias circulares que se relacionam com o produto e é quem define os objetivos da circularidade para a empresa ou produto.	Através da visão geral do ciclo de vida, potenciais efeitos ambientais e aspectos de circularidade em cada fase. Através da <i>Circular Strategies Scanner</i> .	Equipe formada	NA.
	Testar a ferramenta <i>Circular Strategies Scanner</i> .	Obter uma visão ampla de todas as estratégias circulares possíveis e relevantes para o produto.	Estratégias de <i>rethink</i> e <i>reconfigure</i> a respeito do atual modelo de negócios.	Metas circulares definidas.	Designers, marketing, áreas, suprimentos, e manutenção, vendas, gerentes, profissionais de ACV.
Definição de metas circulares	Definição de metas circulares.	Definir metas circulares.	Adotar e especificar drivers para aumentar a circularidade do produto. Ex.: Discutir as estratégias circulares, analisar a possibilidade de seleção de materiais sustentáveis, Controle sobre vida final do produto, identificar razões de descarte do produto pelos usuários.	Estratégias identificadas e relacionadas com as metas e objetivos determinados.	

(Continua)

Etapas	Subetapas	Objetivo	Entradas	Saídas	Atores
Implantação das diretrizes	Exame das diretrizes circulares.	Familiarizar-se com as diretrizes e com os objetivos de circularidade definidos. Criar uma compreensão e percepção compartilhada entre todos os participantes e examinar se todas as estratégias possíveis foram consideradas.	Uma lista de diretrizes relacionadas às estratégias para atingir os objetivos e lista de metas definidas. Leitura da relação de diretrizes, práticas e estratégias do Guia <i>CIRCit Nord</i> para projeto e desenvolvimento de produtos circulares	Lista de diretrizes relacionadas às estratégias selecionadas para atingir os objetivos de circularidade.	Demais citados anteriormente. Foco nos designers e profissionais de desenvolvimento de produtos.
	Listar as diretrizes relacionadas.	Examinar detalhadamente as diretrizes escolhidas pensando nas consequências, como o custo de mudanças, facilidade de implementação e impacto.	Concentrar-se nas diretrizes selecionadas e objetivos definidos.		
	Identificar as correlações, contradições e trade-offs.	Identificar os <i>trade-offs</i> . Exemplo: Aplicar materiais duráveis pode afetar a reciclagem. Adicionar circularidade pode inviabilizar a qualidade do produto.	Análise das diretrizes selecionadas que podem afetar outras <i>trade-offs</i> .	Correlações e trade-offs	
Incorporação no PDP	Integração no projeto e desenvolvimento de produtos.	Distribuir as metas de circularidade nas fases e etapas do modelo de PDP, através dos documentos oficiais (incluir e nas instruções de trabalho e procedimentos). Caso as mudanças não sejam possíveis, devem ser registradas e documentadas para consulta futura.	Lista de diretrizes de design relacionadas às estratégias de circularidade, selecionadas para atingir os objetivos de circularidade definidos.	Projeto de produto e processos para atualizados que incluam as diretrizes de circularidade.	Demais citados anteriormente. Foco nos designers e profissionais de desenvolvimento de produtos.
	Uso das diretrizes para criar e refinar os conceitos.	Uso de matriz morfológica para análise de parâmetros de solução e problemas.			
	Aplicação das ferramentas de avaliação de circularidade.	Avaliar a circularidade dos conceitos de produtos.	Alternativas de conceitos e seus dados relacionados às diretrizes, ferramenta de avaliação e circularidade.	Pontuação final de potencial de circularidade para tomada de decisão.	Demais citados anteriormente. Foco em gestores ambientais, produto, e especialista em ACV.

FONTE: Adaptado de Shahbazi e Jönbrink (2020)

2.3.6 Normas e documentos relacionados ao desenvolvimento de produtos circulares.

2.3.6.1 Norma ABNT ISO/TR14062/2004

A análise da norma ABNT ISO/TR14062/2004 foi desenvolvida para identificar como integrar e quais são os aspectos ambientais, estratégias e práticas integráveis às fases e etapas do projeto e desenvolvimento de produtos. Esta análise contribuirá na proposição do MDP circular proposto.

A norma ABNT ISO/TR14062/2004 trata de conceitos, práticas e estratégias voltadas para a integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos e serviços. É direcionada para todos os profissionais envolvidos com projetos e PDP, independentemente da organização em que o profissional esteja inserido (ABNT, 2004).

Os aspectos ambientais estão relacionados à geração de efluentes, resíduos, consumo de recursos que causam impactos ambientais, como a redução na disponibilidade dos recursos, redução da camada de ozônio, formação de fumaça ou névoa de poluição, eutrofização, mudança climática, alterações dos ecossistemas, acidificação, redução da diversidade biológica, poluição do ar, água e solo e outros (ABNT, 2004).

Em relação ao produto, a norma trata a integração dos aspectos ambientais através de estratégias de otimização de recursos (matéria prima e energia), reciclagem, recuperação energética, prevenção da poluição, resíduos e outros impactos (ABNT, 2004).

Como estratégia para a integração dos aspectos ambientais ao projeto e desenvolvimento de produtos, considera-se: (ABNT, 2004):

- ✓ Integrar, previamente, os aspectos ambientais no planejamento do produto e no processo de desenvolvimento: A integração prévia oferece flexibilidade para promover mudanças e melhorias. Do contrário, à medida em que o processo avança e as soluções técnicas são estabelecidas, fica mais difícil incluir soluções sustentáveis;
- ✓ Análise do ciclo de vida do produto, desde a aquisição de matéria-prima até o fim de sua vida útil: A integração precisa ocorrer durante toda a etapa. A abordagem é importante para que materiais sustentáveis não sejam arbitrariamente desconsiderados, que todas as características ambientais de

um produto sejam reconhecidas. Que os impactos mais relevantes no ciclo de vida de um produto sejam identificados, que a análise se estenda aos materiais auxiliares ou subprodutos necessários para a fabricação, mesmo que não estejam presentes no produto final ou no sistema em que está inserido. O consumo de água ou energia, durante o uso de um eletrodoméstico, pode apresentar o maior impacto ambiental em todo o ciclo de vida do produto. Logo, a melhora na eficiência destes recursos deve ser considerada requisito de um projeto e desenvolvimento de produto para redução dos impactos ambientais.

- ✓ Aspectos de funcionalidade: Refere-se à adequação do produto em relação ao que se propõe fazer, sob aspectos de usabilidade, vida útil, aparência e etc. Por exemplo, direcionando o projeto para uma estética duradoura ou prevendo diferentes funções de uso podem prolongar sua durabilidade reduzindo seu impacto ambiental. Alguns produtos são descartados antes de estarem fisicamente gastos porque o projeto é impróprio ou impede mudanças circunstanciais.
- ✓ Trocas compensatórias ou *Trade off*: Trata-se da escolha de determinado processo de transformação que pode reduzir o consumo de matéria-prima, mas, por outro lado, pode elevar o consumo de energia elétrica. Dessa maneira, a comparação ambiental para cada cenário de solução do projeto pode ajudar na tomada de decisão e evitar as trocas. Essas trocas podem estar relacionadas a aspectos sociais e econômicos.

Ressalta-se a necessidade de adotar estratégias de comunicação durante o processo de integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos. Essas estratégias podem ocorrer através da comunicação interna e externa (ABNT, 2004).

A comunicação interna consiste em levar informação aos colaboradores, por meio de capacitações, treinamentos, desenvolvimento de multiplicadores e ferramentas que facilitem a informação sobre impactos ambientais relacionados aos produtos, projetos e produtos implementados com sucesso (ABNT, 2004).

Já a externa trata do desempenho, aspectos ambientais relacionados ao uso adequado e manejo no fim da vida de produtos e são direcionadas a grupos do nicho de mercado, como clientes e cadeia de valor (ABNT, 2004).

Aos tradicionais critérios de projetos como desempenho, qualidade e custos, os seguintes fatores ambientais podem ser adicionados (ABNT, 2004):

- ✓ Redução de massa ou volume do produto: pode ser resultado da otimização do uso, seleção de material e processos, contribuindo com a manutenção de recursos naturais disponíveis e redução de emissões durante o transporte.
- ✓ Melhoria da eficiência energética: Está relacionado ao consumo de energia durante o uso do produto ou em modo de operação, como os eletrodomésticos;
- ✓ Prolongamento da durabilidade do produto: Mencionado anteriormente, prolongar a vida útil dos produtos pode reduzir a necessidade de recursos, no entanto, deve-se estar atento para que isso não prejudique a implementação de avanços tecnológicos que ajudam a reduzir os impactos ambientais.

Algumas questões relacionadas à natureza, produto e segmento de aplicação são importantes quando objetiva-se integrar os aspectos ambientais (ABNT, 2004).

- ✓ A natureza interativa: Cada estágio do projeto e do processo deve ser avaliado e fornecer informações para os *designers* de maneira interativa. De modo que o resultado do produto possa ser refinado. A interatividade está na avaliação dos resultados obtidos em cada etapa e na análise de outras alternativas de projetos que propiciem menor dano ambiental.
- ✓ Pesquisa: As atividades de pesquisa são importantes para o projeto e para o desenvolvimento de produtos. Ajudam a entender em profundidade os impactos gerados e a avaliar a viabilidade de implementação de soluções levantadas nos estágios iniciais do processo.
- ✓ Gerenciamento de dados e informações: Consiste na rastreabilidade, compilação de dados, organização, armazenamento e troca de informações. Esses dados podem ser um inventário de um material ou a avaliação completa do ciclo de vida de um produto e são fundamentais para a tomada de decisão.
- ✓ Avaliação: Refere-se ao exame periódico do produto e do processo de desenvolvimento em si. Ocorre antes da etapa de lançamento do produto, com o objetivo de checar sua conformidade em relação às diretrizes e requisitos estabelecidos.
- ✓ Comunicação: É estar aberto ao diálogo e considerar as opiniões baseadas na experiência de fornecedores, colaboradores, clientes, *designers* e outros.
- ✓ Cadeia de Suprimentos: Considerando que, eventualmente, produtos e sistemas inteiros possam ser terceirizados, os aspectos ambientais podem ser transformados em requisitos. Dessa forma, torna-se necessário estreitar laços com fornecedores durante o projeto e desenvolvimento de produtos;

Em geral, os produtos podem ser projetados para adequar-se a outras funções, reciclagem ou uso como fonte energética. São complexos, evoluem constantemente e estão voltados para atender as necessidades do mercado. Assim, as soluções ambientais mais relevantes para o projeto e desenvolvimento de produtos, são específicas de cada organização e apresentam necessidades diferentes (ABNT, 2004).

Um quadro-resumo incluindo os objetivos, práticas ambientais e ferramentas integráveis ao projeto e desenvolvimento de produto é apresentado (QUADRO 7). Na sequência, um modelo tradicional de desenvolvimento de produtos e o detalhamento de seus estágios são apresentados (FIGURA 8) (ABNT, 2004).

O Planejamento: É a formulação de requisitos base para os próximos estágios. As ideias qualificadas são transformadas em requisitos, levando em consideração o prazo e custo. Abrange a funcionalidade, condições ambientais relacionadas a função e os principais impactos na natureza. Consideram fatores internos e externos, sendo esses:

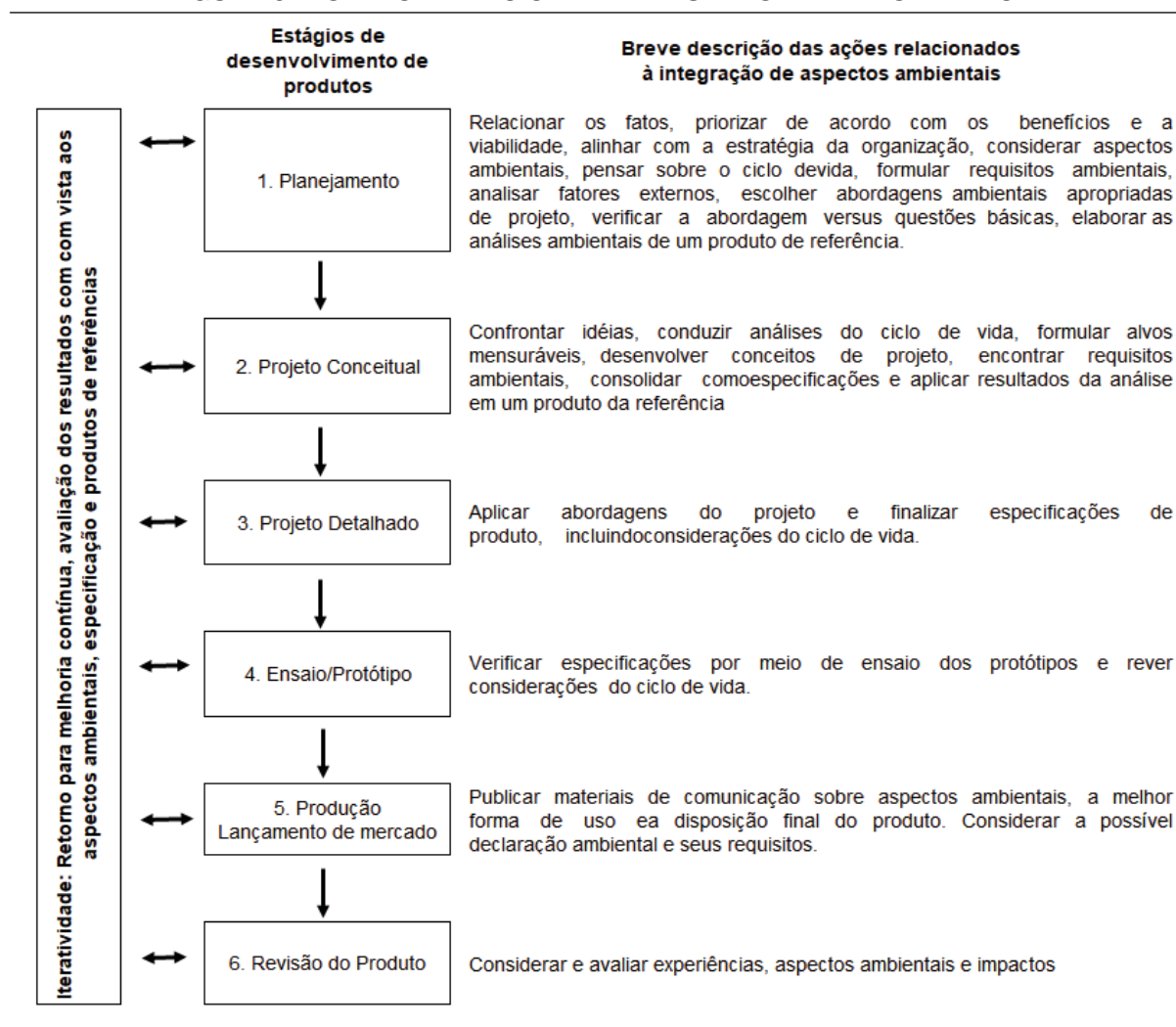
- ✓ Necessidades e expectativas do cliente sobre o uso e conveniência, preço, qualidade, consciência ambiental e outros;
- ✓ Situação de mercado como lucratividade, concorrência entre produtos e empresas, incluindo os fatores ambientais e expectativas da sociedade e público em geral;
- ✓ Requisitos ambientais, como eficiência e minimização do uso de recursos, proteção ambiental durante o ciclo de vida do produto e seu processo, proteção à saúde e segurança dos envolvidos;
- ✓ Exigências legais que regulamentam o mercado e o objeto. Determinam responsabilidade ao longo da vida útil, incluindo o descarte e tratamento de resíduos;

QUADRO 7 - QUADRO-RESUMO DOS ESTÁGIOS, OBJETIVOS, PRÁTICAS AMBIENTAIS E FERRAMENTAS INTEGRÁVEIS AO PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.

Estágios	Objetivo	Práticas Ambientais Examinadas	Ferramentas
Planejamento	Análise dos fatores externos que influenciariam no produto. Relaciona os fatos, prioriza de acordo com os benefícios e a viabilidade, alinha com a estratégia da organização, considera aspectos ambientais. Pensa sobre a vida útil do objeto, formula requisitos e abordagens ecossistêmicas apropriadas, analisa fatores externos, verifica a abordagem x questões básicas, elabora análises ambientais de um produto de referência.	Consciência ambiental dos clientes, perfil dos concorrentes nos critérios ambientais, requisitos ambientais como eficiência e minimização de recursos, proteção da saúde humana e do meio ambiente, tendo em vista substâncias perigosas, emissões e resíduos ambientais relevantes. Exigências legais como política e legislação ambiental sobre retorno do produto, responsabilidade e gerenciamento de resíduos.	Ferramentas de tomada de decisão qualitativa, como matrizes, lista de verificação, diagramas de Pareto, diagrama de rede e análise das forças e fraquezas, oportunidades e ameaças, benchmarking, desdobramento da função da qualidade ou Quality Function Deployment (QFD), o modo de falha e análise dos efeitos ou Failure Modeand Effects Analysis (FMEA).
Projeto Conceitual	Confrontar ideias, conduzir análises do ciclo de vida, formular metas mensuráveis, desenvolver conceitos de projetos, encontrar requisitos ambientais, consolidar especificações e aplicar resultados da análise em um produto da referência.	Definir objetivos do produto com foco nas condições ambientais, emprego de ferramentas analíticas como LCA, avaliações de riscos, benchmarking relacionado às melhores técnicas disponíveis, integração da gestão ambiental.	Brainstorming, métodos de inovação, análise de sistemas. Para auxiliar na integração dos aspectos ambientais, podem ser utilizadas listas de verificação relacionadas aos impactos ambientais de materiais, montagem e desmontagem e reciclagem, manuais e listas de compatibilidade, base de dados de materiais e outros dados internos e externos relevantes, ferramentas analíticas de análise de riscos e de avaliação do ciclo de vida, o Life Cycle Assessment (LCA).
Projeto Detalhado	Aplicar abordagens do projeto e finalizar especificações de produto, incluindo considerações da vida útil.	Usar base de dados para fornecer informações ambientais que influenciarão no detalhamento. Estabelecer parceria com fornecedores que extraem e produzem matéria prima, componentes, que fazem reciclagem e disposição de resíduos. Organizações que utilizam o objeto como componentes de outros produtos que fornecem.	Programa de computador e ferramentas de modelagem para simular condições e resultados de aplicação, base de dados de materiais, instrumentos de projeto para montagem e desmontagem, instrumentos de otimização da produção e processo, lista de substâncias.
Ensaio/Protótipo	Verificar especificações através de ensaios de protótipos e rever considerações do ciclo de vida.	Confrontar especificações com objetivos ambientais. O desempenho ambiental pode ser avaliado quanto ao uso, massa, produção, resíduos, material, eficiência energética e do material, propriedade de desmontagem, potencial de reciclagem. Conduzir a revisão da ACV para melhorar o detalhamento do produto, processo de produção, indicar necessidade de mudança de fornecedores.	ND
5Produção Lançamento mercado	Publicar materiais de comunicação sobre aspectos ambientais, a melhor forma de uso e a disposição final do produto. Considerar possível declaração ambiental e seus requisitos.	Elaborar a comunicação ajuda o usuário na minimização do impacto ambiental durante o uso e disposição do produto. Pode ser realizada através de pontos de venda ou instruções no produto. A norma ABNT NBR ISO 14020 ajuda a desenvolver informações ambientais.	ND
Revisão do Produto	Considerar e avaliar experiências, aspectos ambientais e impactos	Revisar aspectos ambientais a partir de experiências e práticas podem gerar melhorias no produto e processo de desenvolvimento.	
Revisão geral Projeto no Produto e no Processo de Desenvolvimento	Prática periódica que envolve participantes do projeto para avaliação e troca de informações do projeto, adoção de medidas para mitigar problemas e potencializar oportunidades em futuros projetos, exame de soluções alternativas. Oportuniza-se melhorias na funcionalidade do produto, prevenção de impactos ambientais, otimização de custos e benefícios, adequação das ferramentas, métodos necessários e fonte de dados.	Revisar o desempenho com relação aos requisitos ambientais. Revisar o processo periodicamente para gerar benefícios ambientais como prevenção/redução de impactos adversos e melhoria no desempenho ambiental de produtos, desenvolver projetos e medidas específicas para reduzir impactos ambientais.	Planejar, fazer, checar e agir (PDCA).

FONTE: Adaptado de ABNT (2004)

FIGURA 8: MODELO TRADICIONAL DE DESENVOLVIMENTO DE PRO



FONTE: Adaptado de ABNT (2004)

Ainda na fase de planejamento, os fatores internos são, o posicionamento do produto dentro da linha de montagem, know-how da equipe e grau de especialização, disponibilidade de especialistas externos e propriedade intelectual e recursos financeiros.

As técnicas empregadas auxiliam na elaboração de indicadores e métricas de desempenho ambiental, na integração desses com os negócios e além de auxiliar na tomada de decisão. A seleção da ferramenta deve considerar o propósito da análise e o conceito básico do produto. São ferramentas de tomada de decisão qualitativa, como matrizes, lista de verificação, diagramas de Pareto, diagrama de rede e análise das forças e fraquezas, oportunidades e ameaças, *benchmarking*, desdobramento da função da qualidade ou *Quality Function Deployment* (QFD), o modo de falha e análise

dos efeitos ou *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) (aqui podem ser formulados requisitos de produtos a partir de aspectos ambientais), custeio do ciclo de vida, avaliação de riscos e perigo, benefícios às partes interessadas e análise de viabilidade.

O Projeto conceitual: Identificar os requisitos a partir das reflexões do planejamento ajuda a reconhecer e desenvolver os objetivos ambientais para o produto. A principal saída é a seleção de um ou mais conceitos que melhorem e atendam aos requisitos do produto. É comum que um documento de projeto, contendo essas informações, seja preparado para o futuro detalhamento. As ferramentas para auxiliar este estágio são o brainstorming, métodos de inovação e análise de sistemas.

Para auxiliar na integração ambiental podem ser utilizados diretrizes e listas de verificação relacionadas aos impactos ambientais de montagem, desmontagem e reciclagem, manuais e listas de compatibilidade para descrever pontos forte e fracos das soluções propostas, base de dados de materiais e outros dados relevantes, ferramentas analíticas de riscos e de avaliação do ciclo de vida, como o *Life Cycle Assessment* (LCA).

O Detalhamento do produto: Nessa etapa, o conceito é desenvolvido para atender às especificações do projeto e para tipificar o objeto antes da produção. Pode ser necessário informações detalhadas sobre a sua durabilidade e possíveis condições ambientais. Os requisitos ambientais e as prioridades do projeto podem ser utilizados para aprimorar a solução da proposta e detalhes do produto. Outros parceiros, internos e externos também podem contribuir.

As ferramentas empregadas incluem programa de computador e utensílios de modelagem para simular condições e resultados de aplicação, base de dados de materiais, instrumentos de projeto para montagem e desmontagem, instrumentos de otimização da produção e processo e lista de substâncias.

Ensaio ou Protótipo: É a avaliação do protótipo, permite que os resultados de ensaios e testes, medições e aplicações possam ser confrontados com o projeto detalhado. Fornece feedbacks ao projeto permitindo otimizações, melhorias e análise das interações com o planejamento do processo de fabricação. Da mesma forma, isso ocorre para a verificação dos requisitos ambientais, para verificar o atendimento desses requisitos e permitir melhorias. O desempenho do objeto pode ser avaliado, assim como a massa, produção, resíduo, material, eficiência energética e do material, propriedades da desmontagem e potencial de reciclagem.

Ainda nesse estágio, o marketing pode ser utilizado para comunicar as condições ambientais do produto.

O Lançamento no mercado: Envolve a apresentação do objeto para o mercado e incentivo à adoção do produto. O marketing pode aproveitar-se dos benefícios ambientais, bem como orientar usuários sobre o correto manuseio, descarte etc.

A Revisão do produto: O *feedback* de clientes e usuários é importante para verificar se as expectativas foram alcançadas e se alimentam um processo de revisão e melhoria. A revisão dos aspectos ambientais pode ser conduzida.

A Revisão geral do produto e processo de desenvolvimento: É uma prática periódica de revisão, que avalia desempenho e gera oportunidades. Envolve participantes cuja as contribuições são registradas e tratadas. Envolve a avaliação e troca de informações, adoção de medidas para mitigar problemas e potencializar oportunidades e exames de soluções alternativas. Dessa forma, possibilita melhorias na funcionalidade do objeto, prevenção de danos ambientais, otimização de custos e benefícios, adequação das ferramentas, métodos necessários e fonte de dados. A abordagem, planejar, fazer, checar e agir (PDCA) é apresentada como ferramenta interativa para o andamento.

2.3.6.2 O Guia para projeto e desenvolvimento de produtos CIRCit Nord e outros aspectos da Economia Circular

As atividades industriais, como o PDP, são influenciadas pelos modelos de negócios (NORD, 2020). Estes modelos são movidos pela manutenção do fluxo de caixa, geração de lucro e retorno de investimento, por este motivo deve-se olhar para o modelo de negócios antes de decidir pela adoção de estratégias da EC. Logo, é importante que o modelo de negócio seja estabelecido até o início do desenvolvimento de produto. Os modelos de negócio são apresentados (NORD, 2020):

- ✓ Modelo clássico: Produtos duráveis com elevada vida útil, elevados preços;
- ✓ Modelo híbrido: Consumíveis economicamente acessíveis com curta duração de vida que funcionam em conjunto com produtos duráveis e de alta qualidade;
- ✓ Modelos de serviço de reparo: Explora lacunas entre os dois modelos anteriores fornecendo serviço de reparo e reposição.

- ✓ Modelo de acesso: Oferece acesso ao produto por um período de tempo ou número de ciclos sem transferir a propriedade do produto. Está focado na oferta da função e não do produto.
- ✓ Modelo de desempenho: Oferece serviço e desempenho. Os consumidores estão interessados na qualidade dos serviços e não no produto, ficando sob responsabilidade do fornecedor definir máquinas e produtos para cumprir a função.

A decisão sobre qual estratégia circular adotar também ocorre nas etapas iniciais do desenvolvimento. O motivo é que após o projeto conceitual estar estabelecido sobre os aspectos técnicos, as iniciativas para melhorar o desempenho da circularidade ficam mais dispendiosas (ABNT, 2004; NORD, 2020). Por tanto, a definição da estratégia deve ocorrer entre as fases do Projeto conceitual Detalhamento do projeto (NORD, 2020).

Logo, uma visão holística do sistema em torno produto e das estratégias deve ser considerada. Quanto ao sistema, inclui análise da função e objetivo do produto, proposição de valor para o mercado, repensar como o cliente utiliza e interage com o produto. Por exemplo, a adoção de funções através de sistemas produto-serviço e estratégias de cooperação e compartilhamento.

Sem perder o foco da função, qualidade e objetivo do produto, é importante empregar, simultaneamente, várias estratégias circulares na concepção do projeto. Por exemplo, um produto pode ser concebido para apresentar facilidade na montagem e desmontagem de seus componentes para reparo (estratégia para remanufatura), assim como seus componentes defeituosos podem ser de alta reciclabilidade (estratégia de reciclagem) (NORD, 2020).

As estratégias Atualizar, Cascadear, Reaproveitar, Reciclar, Recondicionar/Renovar, Recuperar, Remanufaturar, Reparar/Manter, Reutilizar, suas definições, vantagens e desvantagens são apresentadas (QUADRO 8) (NORD, 2020).

QUADRO 8 - ESTRATÉGIAS CIRCULARES E SUAS DEFINIÇÕES, VANTAGENS E DESVANTAGENS.

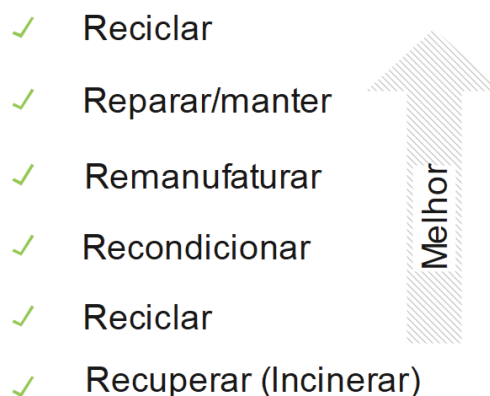
Estratégia Circular	Definição	Vantagens	Desvantagens
Atualizar	O produto ainda é funcional. Mas novas mudanças, evolução e novos recursos são adicionados para estender o ciclo de vida dos produtos. Necessário prever o desempenho do produto e as funções que serão necessárias no momento da atualização.	Reduz a obsolescência e aumenta a vida útil. Aumenta a função e desempenho além dos seus originais.	NA
Cascatear	Os materiais são reutilizados para estender o uso dos recursos.	Estende prazo dos recursos.	A próxima aplicação é geralmente de qualidade inferior. A qualidade do material naturalmente também pode diminuir ao longo do tempo. Parâmetros para avaliar a qualidade do material são altamente recomendados.
Logística embalagem	Refere-se a diretrizes e práticas para o transporte e embalagens.	Novas mudanças, evolução e novos recursos são adicionados. Melhora a função para além das suas originais. Estender o ciclo de vida dos produtos e valor.	NA
Reaproveitar	Estender o ciclo de vida de um produto para novos ciclos de uso utilizando um produto descartado e fora de uso ou suas peças para diferentes funções.	Uso de produtos descartados fora de uso para diferentes funções.	NA
Reciclar	É qualquer meio ou operação de recuperação e transformação de resíduos de materiais em novos produtos, materiais ou substâncias para tornar-se produtos originais ou outro fim.	Aproveitamento de resíduos.	Adicionais de energia e recursos são necessários para o processo. Esta abordagem torna a reciclagem a última opção de estratégia circular para a economia circular. Baixo volume e concentração de materiais são inviáveis economicamente. Transporte do produto, que custa e requer energia. Alta variedade de materiais nos produtos e produtos complexos que necessitam de alta tecnologia de reciclagem. Baixo volume e concentração de materiais são inviáveis economicamente. Esta abordagem torna a reciclagem a última opção de estratégia circular para a economia circular.
Recuperar	Recuperação de energia por meio da incineração de materiais com características que não atendem mais a nenhuma função e aplicação.	Recupera a energia quando não é possível aplicar nenhuma outra estratégia.	Ocorre uma única vez depois dos materiais terem sido reciclados mais de uma vez. Fumaça tóxica emitida por alguns materiais e aditivos.
Remanufaturar	Recolher e devolver produtos usados, desmontar, classificar, limpar, inspecionar, reparar e recondicionar, montar, testar. Finalmente combiná-los e atualizá-los com peças novas para fazer um produto que se pareça e se apresente como novo e vendê-los como novos.	Peças de reposição podem oferecer <i>leadtimes</i> menores, e apresentar desempenho equivalente ou superior aos originais além de garantia sobre o remanufaturado.	Exige baixa variedade de modelos, baixas distâncias percorridas durante o transporte para coleta, desconfiança por parte do consumidor sobre a qualidade do produto, desconfiança da empresa sobre possível perda na venda do original, logística e infraestrutura para coleta, dificuldades de rastreamento, aspectos legais e regulatórios.

Reparar/manter	Corrigir, substituir ou consertar componentes defeituosos de um produto defeituoso para devolvê-lo à sua funcionalidade original para o mesmo usuário para estender a vida útil de um produto. A desmontagem parcial está prevista. Quando o produto não estava funcionando, uma garantia para os componentes substituídos ou consertados pode ser emitida.	Reduzir a necessidade de novos recursos, evitando desperdício e produzindo menos emissões. O reparo fácil e rápido de um produto significa economia de tempo e dinheiro. Reparo é melhor do que a remanufatura.	Há uma motivação monetária poderosa para um modelo de negócios que projeta um produto para não ser reparável, mas sim para vender peças de reposição, serviços e atualizações. Para alguns produtos, o reparo não é uma opção.
	Envolve um produto que ainda está em boas condições e cumpre sua função original em manter o produto funcional e atraente para quantos usuários diferentes mais for possível, tão longo como possível, para estender e intensificar o uso de um produto, evitando que se torne obsoleto e, em seguida, seja desperdiçado. Nenhuma garantia é fornecida e nenhuma desmontagem é prevista. Intensifica a vida útil, economia do serviço e consumo colaborativo. O produto reutilizado ainda deve ser funcional, eficiente e atraente. Redistribui produto usado e estende vida útil do produto.	Economiza tempo, recursos e energia usados no reparo, remanufatura ou reciclagem dos antigos. Economiza todos os recursos e valores colocados na extração e produção de um novo produto, incluindo energia, trabalho, tempo e material. Implementada com relativa facilidade e pode envolver uma quantidade mínima de limpeza e reembalagem. Nenhuma desmontagem é prevista. Reduz o fluxo de resíduos. Reduz o número de produtos novos produzidos e estende vida útil do produto.	Uma máquina de lavar em operação por 20 anos pode não ser tão eficiente em termos de consumo de energia e água em relação as novas no mercado.
Recondicionar/ Renovação	Os produtos são devolvidos a alguma instalação central. Inspeção visual, testes funcionais e os reparos necessários (incluindo montagem e desmontagem) são realizados para fins de revenda ou redistribuição. O dispositivo pode ser esteticamente aprimorado e uma camada protetora pode ser aplicada. Na desmontagem, os componentes dos produtos são mantidos juntos e, após a limpeza, inspeção as peças severamente desgastadas ou quebradas são substituídas por peças novas. Os produtos são remontados com a maior parte de suas peças originais para atingir sua condição origin al. Consertar um produto devolvido após um certo período de uso para voltar as especificações mecânicas satisfatórias e condição operacional dentro dos limites do que é considerado aceitável pela reconstrução ou reparo de componentes principais que estão perto da falha, mesmo quando não há falhas aparentes ou relatadas nesses componentes.	Recondiciona peças com ou sem defeitos após certo período de uso.	NA

Fonte: Adaptado de Shahbazi e Jönbrink (2020)

A partir de uma análise comparativa das estratégias, uma relação de prioridades é apresentada (FIGURA 9).

FIGURA 9: PRIORIDADE NA ADOÇÃO DE ESTRATÉGIAS CIRCULARES



FONTE: Baseado no Guia Circ It Nord para Projeto e Desenvolvimento de Produtos (NORD, 2020)

A estratégia de reparar/manter conserva partes do produto utilizando energia e outros recursos para o reparo. Neste caso, a estratégia de reutilizar é melhor do que reparar/manter. No entanto, esta última é melhor do que remanufaturar (NORD, 2020).

Já em comparação ao recondicionamento, na remanufatura a reforma geralmente é menos rigorosa, menos cara, envolve menos desmontagem, remontagem e um baixo volume de produção (NORD, 2020).

Em comparação com a reciclagem, a reutilização, reparação/manutenção e remanufatura são geralmente melhores alternativas, porque mantêm materiais incorporados, energia e valor aos produtos existentes. E devem vir antes da reciclagem (NORD, 2020).

Por outro lado, a estratégia de reciclar deve ser considerada em qualquer situação, uma vez que, independentemente de qualquer uma das estratégias adotadas, seja reparar/manter, remanufaturar, reutilizar, redução do uso de recursos, entre outras, ao final da vida útil, o produto poderá ser reciclado servindo de recurso novamente, mantendo seu valor. (NORD, 2020; SHAHBAZI et al., 2020).

Após a aplicação do maior número de estratégias possíveis e somente ao final da vida do produto, considera-se a estratégia de recuperar a energia por meio da

incineração de materiais com características que não atendem mais a nenhuma função e aplicação (NORD, 2020; SHAHBAZI et al., 2020).

A facilidade na coleta e transporte do produto em sua vida final deve ser considerada para a maioria das estratégias circulares (SHAHBAZI et al., 2020).

As estratégias compreendem ainda 24 diretrizes, que norteiam 403 práticas circulares. Uma lista das 24 diretrizes circulares e seus respectivos códigos de identificação, convenientemente denominados de “ID” e criados para facilitar as análises de correlações seguintes, são apresentados (TABELA 1) (NORD, 2020; SHAHBAZI et al., 2020).

A lista completa das 403 práticas circulares pode ser consultadas no apêndice 3 deste trabalho. (NORD, 2020; SHAHBAZI et al., 2020).

TABELA 1 - LISTA DE DIRETRIZES CIRCULARES E SEUS RESPECTIVOS CÓDIGOS DE IDENTIFICAÇÃO “ID”

ID - Identificação	Diretrizes Circulares
1	Troca de componentes defeituosos facilmente acessíveis.
2	Fácil de desmontar de forma não destrutiva.
3	Foco principal na funcionalidade, qualidade e desempenho.
4	Fornecer manuais e documentações.
5	Projeto em construção modular.
6	Utilize soluções de digitalização, TICs e da Internet das coisas.
7	Use componentes e materiais duráveis e robustos.
8	Considere a toxicidade e outros aspectos ambientais dos materiais.
9	Facilite a identificação de materiais e outras informações relevantes.
10	Minimizar o número de diferentes materiais incompatíveis ou diferentes.
11	Projetar usando materiais recicláveis e reciclados.
12	Projetar com materiais renováveis.
13	Projeto para redução do consumo de energia e uso de energia renovável.
14	Faça peças sobressalentes e troca de componentes facilmente acessíveis.
15	Fácil de limpar o produto e componentes.
16	Investigar as leis e regulamentações atuais e futuras.
17	Projetar componentes padronizados em diferentes produtos e modelos.
18	Projetar ferramentas padronizadas exigidas em diferentes produtos e modelos.
19	Use juntas e conectores que podem ser facilmente abertos e fechados.
20	Componentes e peças sobressalentes disponíveis e fáceis de encontrar no mercado.
21	Fácil de inspecionar o produto e componentes.
22	Faça peças e componentes intercambiáveis e facilmente disponíveis.
23	Ferramentas padronizadas de design exigidas comuns a diferentes produtos e modelos.
24	Pense sobre atividades de suportes durante operação.

FONTE: Autor (2022).

No geral, as diretrizes de projeto podem se sobrepor umas às outras e serem aplicadas a mais de uma estratégia. Por exemplo, as diretrizes “ID 5 - projetos para modularização” e “ID 2 – “Fácil de desmontar de forma não destrutiva”” são comuns às estratégias de cascadear, reciclar, recondicionar/renovar, remanufaturar e reparar/manter (TABELA 2).

TABELA 2 - RELAÇÃO ENTRE ESTRATÉGIAS E DIRETRIZES CIRCULARES

Estratégia Circular	ID - Diretriz
Atualizar	1 a 7
Cascadeamento	2,4,5, 8 a 11
Logística e embalagem	7,8,11 a 13
Reaproveitar	2,4 e 7
Reciclar	2,4,5, 8 a 11
Recondicionar/Renovar	1,2,4, 5 a 7,14 a 19
Recuperar	8,12
Remanufaturar	1,2,4 a 7, 15 a 21
Reparar/manter	1,2, 4 a 7,17, 21 a 23
Reutilizar	7,15 e 24

FONTE: Autor (2022)

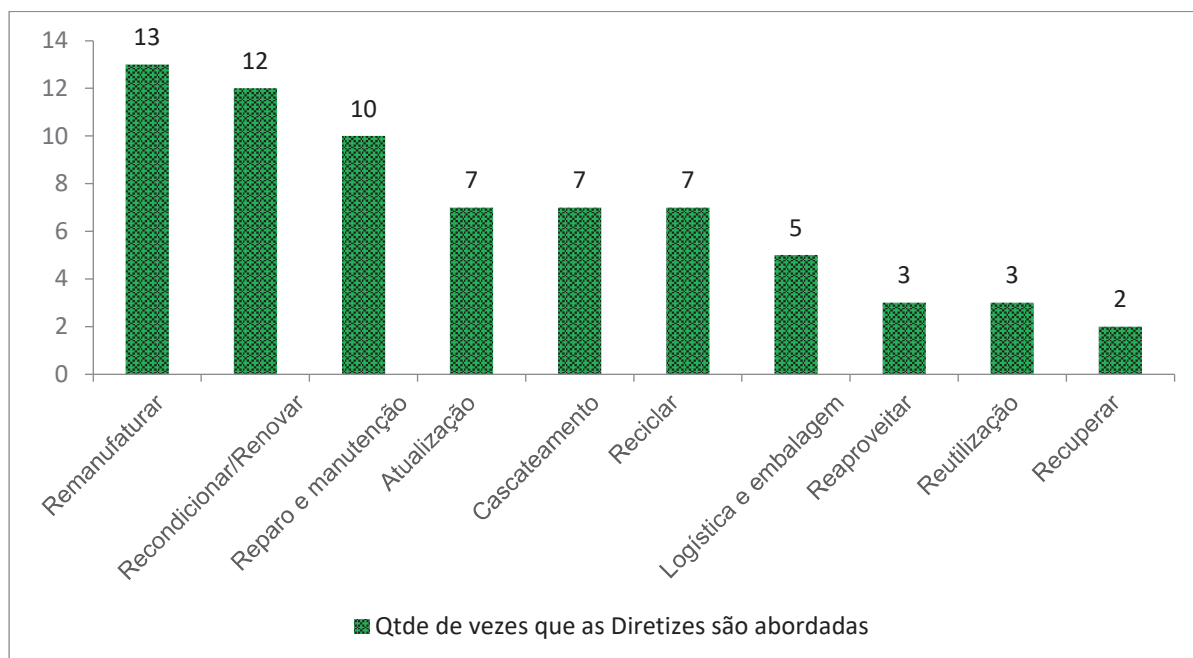
No entanto, esta sobreposição e semelhanças entre as diretrizes ocorrem até certo ponto, pois apresentam focos diferentes. Por exemplo, as estratégias de reparar/manter e reutilizar compartilham as diretrizes “ID 7 - Use componentes e materiais duráveis e robustos”, no entanto, a estratégia de reparar/manutenção tem foco na facilidade de troca, reposição e manutenção de um componente, enquanto a reutilização foca a durabilidade.

As estratégias podem compreender duas ou mais diretrizes. Por exemplo, a estratégia de remanufatura compreende 13 diretrizes, enquanto a estratégia de recuperação, 2 diretrizes (GRÁFICO 1).

O número de diretrizes compreendidas em cada estratégia, pode contribuir para aumentar o portfólio de práticas circulares integráveis ao processo de desenvolvimento de produto. No entanto, não é possível afirmar que a melhor estratégia é a que possui maior número de diretrizes. Por exemplo, as estratégias reparar/manter, remanufaturar e recondicionar/renovar estão entre as estratégias prioritárias e apresentam o maior número de diretrizes, no caso, 17. No entanto, a

estratégia de reutilização, que está no topo das prioridades, apresenta apenas 3 diretrizes.

GRÁFICO 1 - NÚMERO DE DIRETRIZES ABORDADAS NAS ESTRATÉGIAS CIRCULARES



FONTE: Autor (2022).

Ressalta-se que as estratégias e diretrizes apresentadas podem ser aplicadas para todo o processo de desenvolvimento de produtos, porém, as fases iniciais do desenvolvimento de produtos são as mais indicadas (NORD, 2020; SHAHBAZI et al., 2020).

Apesar de estudos relatarem a falta de adesão pelo consumidor de produtos que utilizaram estratégias combinadas de circularidade (STEENIS et al., 2018) a combinação das estratégias é considerada boas práticas (NORD, 2020; SHAHBAZI et al., 2020).

2.3.6.3 Plano de Ação Europeu para a Economia Circular

Em 2015, a União Europeia (UE) apresentou o Plano de Ação para Economia Circular. O plano é composto por 54 ações, já iniciadas em 2018, que definem o quadro institucional para a implementação da EC na Europa (UE, 2020a).

O Plano defende os princípios de *design*, abordando, entre outros aspectos, a obsolescência planejada, possibilitando a circularidade por meio da vida estendida dos produtos, reutilização, remanufatura e atualização (UE, 2020a).

Alinhada com os ODS, trata-se de uma agenda voltada para alcançar o desenvolvimento sustentável com a participação de instituições integradas a economia, consumidores e cidadãos em geral (UE, 2020a).

O Plano atende, ainda, os objetivos da UE de “até 2050 obter o crescimento, a prosperidade e qualidade de vida derivada de uma economia circular inovadora onde nada é desperdiçado e recursos naturais são administrados de maneira sustentável” (UE, 2020a).

Apresenta um conjunto de iniciativas e políticas interacionadas que viabiliza produtos, serviços e modelos de negócios mais sustentáveis, capazes de mudar o padrão de consumo de forma que nenhum resíduo seja produzido (UE, 2020a).

O plano enfatiza as cadeias de valores, medidas para redução de resíduos, reciclagem de alta qualidade através da responsabilidade pelo resíduo. As iniciativas são agrupadas em áreas denominadas de políticas para produtos, cadeia de valores, medidas para redução de resíduos, oportunidades e o papel dos líderes (UE, 2020a).

Aborda as estratégias circulares, a saber: Durabilidade, reutilização, reparabilidade, reciclagem, uso consciente de recursos, uso de resíduos como recursos (simbiose industrial), digitalização ou virtualização, reparo, atualização, manutenção e reciclagem (UE, 2020a).

Um quadro-resumo da relação entre áreas, iniciativas e as estratégias circulares é apresentado (QUADRO 9) (UE, 2020a).

QUADRO 9 - OBJETIVOS, INICIATIVAS E ESTRATÉGIAS PARA A EC CONFORME O PLANO DE AÇÃO CIRCULAR DA UE

Áreas	Subáreas	Objetivos	Ações e iniciativas	Estratégias circulares	Foco
Produtos sustentáveis	Projetando produtos sustentáveis	Estabelecer princípios de sustentabilidade e outras formas adequadas de regulação de iniciativas e estratégias circulares.	Incentivar a durabilidade, reutilização, reparabilidade; abordar a presença de produtos químicos perigosos, aumentar sua eficiência energética e de recursos; permitir a remanufatura e reciclagem de alta qualidade; reduzir as pegadas de carbono e ambientais; restringir uso único e contrair obsolescência prematura; potencializar a digitalização de informações de produtos, incluindo soluções, tais como passaportes digitais, marcação e marcas d'água; recompensar os produtos com base em seus diferentes desempenhos de sustentabilidade, inclusive vinculando altos níveis de desempenho a incentivos.	Durabilidade, reutilização, reparabilidade, reciclagem, reduzir obsolescência, digitalização/virtualização.	Produto físico
	Capacitando consumidores e compradores do setor público	Capacitar e conscientizar consumidores, incentivar as compras públicas.	Oferecer oportunidades de redução de custos; propor uma revisão do direito do consumidor; garantir que os consumidores recebam informações corretas e relevantes sobre os produtos no ponto de venda; disponibilizar serviços de reparação; peças sobressalentes e manuais de reparo; prevenir a obsolescência prematura; estabelecer requisitos mínimos de rótulos e ferramentas para informação.	Facilitar reparo e prevenir obsolescência.	Consumidor
	Circularidade nos processos de produção	Economizar material em todas as cadeias de valor e processos de produção, gerar valor extra e desbloquear oportunidades econômicas.	Facilitar a simbiose industrial através do desenvolvimento de um sistema de relatórios e certificação, liderado pela indústria, permitindo a implementação da simbiose industrial; apoiar o setor de base biológica sustentável e circular por meio da implementação do Plano de Ação de Bioeconomia, promoção do uso de tecnologias digitais para rastreamento e mapeamento de recursos; promover a adoção de tecnologias verdes e fomentar a colaboração industrial circular entre as PMEs.	Promover simbiose industrial, rastreamento e digitalização.	Simbiose industrial. Sistemas fechados
	Eletrônica e TIC	Prolongar vida útil dos produtos.	Apoiar-se nas diretrizes de <i>Ecodesign</i> , para que os dispositivos sejam projetados para eficiência energética e durabilidade, reparabilidade, capacidade de atualização, manutenção, reutilização e reciclagem de eletrônicos e TIC; incluir direitos de reparação e atualização de software, melhorando a durabilidade dos cabos de carregamento e incentivos para desvincular a compra de carregadores da compra de novos dispositivos; melhorar a coleta e o tratamento de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos; revisar as restrições de substância perigosas (<i>REACH</i>).	Ecodesign, projetos para durabilidade, reparabilidade/reparação, atualização, manutenção, reutilização e reciclagem e tratamento de resíduos.	<i>Ecodesign</i>
	Baterias e veículos	Elevar a sustentabilidade para o futuro da mobilidade.	Criar regras sobre conteúdo reciclado e medidas para melhorar as taxas de coleta e reciclagem de todas as baterias; garantir a recuperação de materiais valiosos e fornecer orientação aos consumidores; abordar as baterias não recarregáveis com vista à eliminação progressiva da sua utilização, sempre que existir alternativas; criar requisitos de sustentabilidade e transparência para baterias; facilitar a reutilização, reaproveitamento e reciclagem; promover modelos de negócios mais circulares e ligar o design aos veículos em fim de vida; garantir a coleta e o tratamento ecológico dos óleos usados; promover soluções de produto como serviço para reduzir o consumo de material virgem; usar combustíveis de transportes alternativos sustentáveis e otimizar a infraestrutura e o uso de veículos, assim, aumentar as taxas de ocupação e fatores de ocupação; eliminar o desperdício e a poluição.	Reciclagem, recuperação, reutilização, reaproveitamento e reciclagem, soluções de modelo de negócios voltados para produto-serviço.	Mobilidade e conservação de energia.
Cadeias de valores-chave do produto	Embalagem	Garantir que todas as embalagens no mercado da UE sejam reutilizáveis ou recicláveis de uma forma economicamente viável até 2030.	Reduzir sobreembalagens e resíduos de embalagens; estabelecer metas e outras medidas de prevenção de resíduos; projetar para reutilização e reciclabilidade de embalagens, incluir a consideração de restrições ao uso de alguns materiais para certas aplicações, em particular onde produtos ou sistemas reutilizáveis alternativos são possíveis ou bens de consumo podem ser manuseados com segurança sem a embalagem; considerar a redução da complexidade dos materiais de embalagem, incluindo o número de materiais e polímeros usados; harmonizar os sistemas de recolha seletiva referidos, estabelecer regras para a reciclagem segura de materiais que entram em contato com os alimentos e materiais plásticos diferentes do PET; oferecer água potável acessível em locais públicos para reduzir a dependência da água engarrafada e evitar o desperdício de embalagens.	Redução de recursos e resíduos, reutilização, reciclagem.	Repensar as embalagens.
ticos	Plás	Aumentar a aceitação de plásticos reciclados e contribuir para uma utilização mais sustentável.	Restringir os microplásticos adicionados, desenvolver rotulagem, padronização, certificação e medidas regulatórias sobre a liberação não intencional de microplásticos, incluindo medidas para aumentar a captura de microplásticos em todos os estágios relevantes do ciclo de vida dos produtos; desenvolver e harmonizar métodos para medir microplásticos liberados involuntariamente, especialmente de pneus e têxteis, e fornecer dados harmonizados sobre as concentrações de microplásticos na água do mar; contribuir para pesquisas científicas sobre o risco e ocorrência de microplásticos no meio ambiente, água potável e alimentos; abordar abastecimento, rotulagem e uso de plásticos de base biológica, base biodegradável ou compostável.	Redução de recursos e resíduos, recuperação de ecossistemas, uso de materiais biodegradáveis e compostáveis	Repensar o uso de plásticos.

(Continua)

Têxteis	Reforçar a competitividade industrial e a inovação no setor, dinamizando o mercado da UE de têxteis sustentáveis e circulares, incluindo a reutilização de têxteis, abordando a moda rápida e impulsionando novos modelos de negócios.	Garantir a absorção de matérias-primas secundárias, combatendo a presença de produtos químicos perigosos e capacitando empresas e consumidores privados a escolherem têxteis sustentáveis; facilitar acesso a serviços de reutilização e reparo; fornecer incentivos e apoio a modelos de produto como serviço, materiais circulares e processos de produção; aumentar a transparência através da cooperação internacional; garantir, até 2025, níveis elevados de coleta seletiva de resíduos têxteis; impulsionar a triagem, reutilização e reciclagem de têxteis, inclusive por meio da inovação, incentivando aplicações industriais e medidas regulatórias, como a responsabilidade ampliada do produtor.	Materiais reciclados como recurso, reutilização, reparo, modelos de negócios como o <i>product-service system</i> (PSS), no processo de reciclagem, coleta de resíduos.	Apoiar a retomada da indústria têxtil no processo de adoção da EC.
	Construção e edifícios	Explorar o potencial de aumento da eficiência dos materiais e redução dos impactos climáticos.	Introdução de requisitos de conteúdos reciclados para determinados produtos de construção, tendo em conta a sua segurança e funcionalidade; promoção de medidas para melhorar a durabilidade e adaptabilidade dos bens construídos, em consonância com os princípios da economia circular para projetos de edifícios; desenvolver diários de bordo digitais para edifícios; integrar a avaliação do ciclo de vida nos contratos públicos; revisar a legislação da UE para resíduos de construção e demolição; reduzir a impermeabilização do solo.	Materiais reciclados como recurso, durabilidade, adaptabilidade, virtualização/digitalização, regenerar ecossistemas.
	Alimentos, água e nutrientes	Garantir a sustentabilidade dos materiais de base biológica renováveis em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.	Aumentar a sustentabilidade da distribuição e do consumo de alimentos; promover a reutilização para substituir as embalagens, talheres e pratos de uso único por produtos reutilizáveis nos serviços alimentares; reutilizar a água na agricultura; facilitar a reutilização e eficiência da água, incluindo os processos industriais; considerar a revisão das diretivas sobre o tratamento de águas residuais e lamas de depuração e avaliar os meios naturais de remoção de nutrientes, como as algas.	Reutilização. Consumo sustentável e recuperação da água e nutrientes, repensar embalagens para alimentos.
Redução do desperdício e aumento de valor	Política de resíduos	Reduzir a geração total de resíduos e reduzir pela metade a quantidade de resíduos urbanos (não reciclados) até 2030.	Adotar regimes de responsabilidade do produtor; fornecer incentivos e encorajar a partilha de informações e boas práticas na reciclagem de resíduos; abordar as combinações mais eficazes de modelos de coleta seletiva; elevar o número e a acessibilidade dos pontos de coleta, incluir espaços públicos, regiões urbanas até às periferias; buscar a padronização e a utilização de sistemas de gestão da qualidade para garantir a qualidade dos resíduos coletados destinados ao uso em produtos e, em particular, de material em contato com alimentos.	Responsabilidade de, Informação e infraestrutura.
	Aumentando a circularidade em ambiente livre de tóxicos.	Substituir progressiva de substâncias perigosas para melhor proteger os cidadãos e o ambiente.	Apoiar o desenvolvimento de soluções de triagem de alta qualidade e remoção de contaminantes de resíduos, incluindo aqueles resultantes de contaminação accidental; desenvolver metodologias para minimizar a presença de substâncias que causam problemas à saúde ou ao meio ambiente em materiais reciclados e artigos feitos a partir deles; cooperar com a indústria para desenvolver progressivamente sistemas harmonizados para rastrear e gerenciar informações sobre substâncias identificadas como sendo de grande preocupação e outras substâncias relevantes, em particular aquelas com efeitos nocivos; manter em constante melhoria as políticas e legislação sobre resíduos.	Substâncias perigosas Reciclagem.
	Criação de um mercado da UE que funcione bem para matérias-primas secundárias	Estabelecer um mercado interno que funcione bem para as matérias-primas secundárias.	Avallar a possibilidade de desenvolver novos critérios de fim de resíduo; apoiar iniciativas que vão além das fronteiras de cooperação e harmonizar os critérios nacionais de fim de resíduo e subproduto; reforçar o papel da normalização com base na avaliação contínua do trabalho existente a nível nacional, europeu e internacional; utilizar restrições à utilização de substâncias que suscitem elevada preocupação, nos casos de substâncias perigosas e sujeitas a um requisito de autorização; avaliar a possibilidade de estabelecer um observatório de mercado para os principais materiais secundários.	Eliminar resíduos, uso de materiais reciclados como recurso. Mercado
Abordando as exportações de resíduos da EU	Assegurar que os resíduos da UE não sejam exportados para outros países.	Assegurar que a UE não exporte resíduos para países terceiros; agir sobre <i>design</i> de produtos, qualidade e segurança de materiais secundários e aprimoramento de seus; facilitar a preparação para a reutilização e reciclagem de resíduos na UE ser reforçada por uma revisão aprofundada das regras sobre transferências de resíduos; combater o crime ambiental, nomeadamente nas áreas das exportações ilegais e do tráfico ilícito, reforçar o controle das transferências de resíduos, e melhorar a gestão sustentável de resíduos nesses países.	Tratamento dos resíduos, recuperação, reciclagem de produtos e resíduos.	Responsabilidade

(Conclusão)

Pessoas, regiões e cidades	NA	Assegurar os benefícios da circularidade para a sociedade em geral.	Promover mais investimentos em sistemas de educação e formação, aprendizagem ao longo da vida e inovação social ao abrigo do Fundo Social Europeu <i>Plus</i> ; aproveitar o potencial dos instrumentos e fundos de financiamento da UE para apoiar os investimentos necessários, a nível regional, e garantir que todas as regiões se beneficiem da transição. Estas ações baseiam-se na condução e aprimoramento do Plano Europeu de Investimento do Acordo Verde e o <i>InvestEU</i> .	NA	Sustentabilidade, dimensão social
Ações de crosscutting	Circularidade como pré-requisito para a neutralidade climática	Intensificar as sinergias entre a circularidade e a redução das emissões de gases com efeito de estufa	Analisar como medir, de forma sistemática, o impacto da circularidade na mitigação e adaptação às mudanças climáticas; melhorar as ferramentas de modelagem para capturar os benefícios da economia circular na redução das emissões de gases com efeito de estufa a nível Europeu e nacional; promover o fortalecimento do papel da circularidade em futuras revisões dos planos nacionais de energia e clima e, quando apropriado, em outras políticas climáticas. Desenvolver quadro de regulamentos para ações de remoção de carbono como manejo florestal sustentável e sequestro de cultivo de carbono, ou com base no aumento da circularidade, por exemplo, através de armazenamento de longo prazo em construção de madeira, reutilização e armazenamento de carbono em produtos como a mineralização em material de construção.	Recuperação de ecossistemas	Clima
	Fazendo a economia certa	Acelerar a transição verde	Melhorar a divulgação de dados ambientais pelas empresas na próxima revisão da diretiva de relatórios não financeiros; apoiar uma iniciativa empresarial para desenvolver princípios de contabilidade ambiental que complementem os dados financeiros com os dados de desempenho da economia circular; incentivar a integração de critérios de sustentabilidade em estratégias de negócios; melhorar; a estrutura de governança corporativa; refletir os objetivos relacionados com a economia circular no âmbito da reorientação do Semestre Europeu e no contexto da próxima revisão das orientações, relativas aos auxílios estatais no domínio do ambiente e da energia; continuar a incentivar a aplicação mais ampla de instrumentos económicos bem concebidos, como a tributação ambiental, incluindo impostos sobre aterros e incineração, e permitir que os Estados-Membros utilizem as taxas do imposto sobre o valor agregado (IVA) para promover atividades de economia circular destinadas aos consumidores finais, como serviços de reparação.	Reparo	Comunicação, regulação e fomento
	Conduzindo a transição por meio de pesquisa, inovação e digitalização.	Apoiar o desenvolvimento de competências, formação e mobilidade de investigadores nesta área.	As tecnologias digitais podem rastrear a jornada de produtos, componentes e materiais e tornar os dados resultantes acessíveis com segurança; conduzir aplicativos e serviços, como passaportes de produtos, mapeamento de recursos e informações ao consumidor; adequar a propriedade intelectual à transição verde e era digital.	Digitalização/Virtualização	Pesquisa, inovação e digitalização
Esforços líderes globais		Apoiar uma mudança global para uma economia circular.	Evoluir nas ações sobre o documento Estratégia Europeia de Plásticos; liderar esforços a nível internacional para chegar a um acordo global em plásticos e promover a absorção de abordagem de economia circular da UE; propor uma aliança global de Economia Circular para identificar lacunas de conhecimento e governança no avanço de uma economia circular global e levar adiante iniciativas de parceria, incluindo as principais economias; explorar a viabilidade de definir um 'espaço operacional seguro' para o uso de recursos naturais e considerar o início de discussões sobre um acordo internacional sobre a gestão de recursos naturais; assegurar que mais forte com a África para maximizar os benefícios da transição verde e da economia circular; assegurar que os acordos de comércio livre reflitam os objetivos reforçados da economia circular; continuar a promover a economia circular no processo de adesão de produtos Ocidentais e no contexto dos diálogos políticos bilaterais, regionais e multilaterais, fóruns e acordos ambientais; intensificar as atividades de sensibilização, incluindo através da diplomacia do Acordo Verde Europeu e das missões da Economia Circular.	Materiais biodegradáveis e compostáveis.	Liderança e responsabilidade

FONTE: Baseado em (UE, 2020a)

2.3.6.4 Norma ISO/TC 323 e ISO WD 59004

As normas ISO/TC 323 e ISO WD 59004 pertencem a um conjunto de normas que, elaboradas por meio de comitês formados por especialistas de 65 países, organizados pela *International Organization for Standardization* (ISO), visa padronizar aspectos da EC e apoiar os 17 ODS estabelecidos pela ONU (ISO, 2021; UE, 2021).

Seu escopo objetiva estabelecer um conjunto de princípios, terminologias, definições e uma estrutura padrão de sistema de gestão. Seu foco será na implantação de alternativas de modelos de negócios, bem como em métodos e ferramentas para avaliação de circularidade (ISO, 2021; UE, 2021). Envolverá setores específicos e a sociedade em geral, incluindo áreas funcionais de compras públicas, produção e distribuição (ISO, 2021; UE, 2021).

Até a data desta pesquisa, ocorrida em abril de 2022, as normas encontravam-se em desenvolvimento. No entanto, devido a relevância dos objetivos e escopo para o desenvolvimento desta pesquisa, seus status serão monitorados durante o desenvolvimento deste trabalho.

2.3.7 Desenvolvimento de produtos circulares e embalagens

Só nos países da Europa, a geração anual de resíduos de todas as atividades econômicas é de 2,5 bilhões de toneladas, ou 5 toneladas por habitante. Entre os motivos, estão que alguns produtos são desenvolvidos de forma que quebram rapidamente, não podem ser facilmente reutilizados, reparados ou reciclados e muitos são feitos para uso único (UE, 2020b). É o caso das embalagens compostas por papel, papelão, plásticos, vidros, madeira e metal, onde o descarte já representa 35% de todos os resíduos gerados (UE, 2021; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021a).

Considerando que este trabalho tem foco nas embalagens, a RSL empregada na seção 2.3.3, para identificar as fases, etapas, estratégias, práticas e iniciativas em Modelos de Desenvolvimento de Produtos (MDP) circulares, foi estendida.

O termo relacionado a embalagem foi adicionado a estratégia anterior com o objetivo de identificar as fases, etapas, estratégias, práticas e iniciativas empregadas para integração dos aspectos da EC no desenvolvimento de embalagens circulares.

Desta forma, um novo protocolo de RSL incluindo a pergunta e estratégia de pesquisa, contemplando os termos relacionados ao tema presentes no título, resumo e palavras-chave, além da base de periódicos, idioma, período das publicações, critérios de inclusão e exclusão de artigos, é apresentado (QUADRO 10).

QUADRO 10 - PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Pergunta de pesquisa:	Quais artigos abordam fases, etapas, práticas, iniciativas, estratégias e ferramentas para integração da economia circular (EC) no processo de desenvolvimento de produtos (PDP) para embalagens?		
Estratégias de busca:	"product development*" OR "product development model*" OR "new product development process" OR "product design" OR "industrial design" OR "PDP" OR "new product development" OR "design for X" OR "DfX" OR "design for X"	AND	"circular economy" OR "circular* design" OR "circular* product" OR "circular economy" OR "sustainab*" AND Pack design" OR
	circular* economy OR "Circular Product Design" OR "circular design"	AND	"circular design" OR "circular product" OR "ecodesign" OR "sustainab*" AND Pack design" OR "framework"
Período:	Artigos em inglês publicados entre 2000 a 2021.		
Base:	Scopus.		
Crítérios de inclusão:	Artigos que apresentaram práticas, iniciativas, estratégias e ferramentas da economia circular (EC) no processo de desenvolvimento de produtos para embalagens. Artigos disponíveis publicados em periódicos de acesso aberto ou por assinatura.		
Crítérios de exclusão:	Artigos nos quais a EC e Desenvolvimento de Produtos (DP) não eram os temas centrais, ou seja, foi apenas um entre vários tópicos abordados; Artigos indisponíveis ou duplicados.		

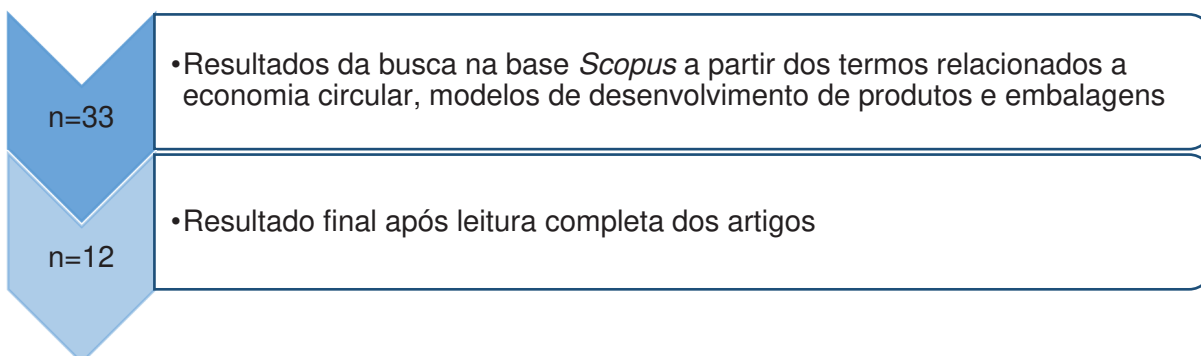
FONTE: Autor (2022)

A busca inicial resultou em 33 artigos. Após a leitura completa e exclusão dos artigos duplicados ou indisponíveis, 12 artigos foram relacionados (FIGURA 10).

Os autores, ano, título, *Journal*, objetivos, resultados, foco da pesquisa, metodologia e estratégia circular empregada são apresentados (QUADROS 11 e 12).

Na sequência, são discutidas as relações entre as estratégias, práticas, iniciativas e aplicações além das estruturas e metodologia abordadas nos estudos.

FIGURA 10: RESULTADOS DA BUSCA NA BASE DE PERIÓDICO SCOPUS



FONTE: Autor (2022)

QUADRO 11: IDENTIFICAÇÃO DOS ARTIGOS RESULTADOS DA RSL

Nº	Autores	Ano	Título	Journal
1	Bucci, D.Z.; Forcellini, F.A.	2007	Sustainable packaging design model	Collaboration, Technology Innovation and Sustainability
2	de Koeijer, B.;Wever, R.; Henseler, J.	2017	Realizing product-packaging combinations in circular systems: shaping the research agenda	Packaging Technology and Science
3	Lofthouse,V.; Trimingham, R.;Bhamra, T.	2017	Reinventing refills: guidelines for design	Packaging Technology and Science
4	Steenis, N.D.; van der Lans, I.A.; van Herpen, E.; van Trijp, H.C.M.	2018	Effects of sustainable design strategies on consumer preferences for redesigned packaging	Journal of Cleaner Production
5	Urbinati, A.; Chiaroni, D.; Toletti, G.	2019	Managing the introduction of circular products: evidence from the beverage industry	Sustainability (Switzerland)
6	Civancik-Uslu, D.;Puig, R.;Voigt, S.;Walter, D.; Fullana-i-Palmer, P.	2019	Managing the introduction of circular products: evidence from the beverage industry	Resources, Conservation and Recycling
7	Czarnecka-Komorowska, D.; Wiszumirska, K.	2020	Sustainability design of plastic packaging for the circular economy	Polymers
8	Flood, M.;Fennessy, L.;Lockrey, S.;Avendano, A.;Glover, J.;Kandare, E.;Bhat, T.	2020	Glass fines: a review of cleaning and up-cycling possibilities	Journal of Cleaner Production
9	Landi, D.; Cicconi, P.; Germani, M.	2020	Analyzing the environmental sustainability of packaging for household appliances: a test case	Procedia CIRP
10	Skendi, A.; Zinoviadou, KG; Papageorgiou, M.; Rocha, JM.	2020	Advances on the valorisation and functionalization of by-products and wastes from cereal-based processing industry	Foods
11	Paiano, A.;Gallucci, T.. Pontrandolfo, A.; Lagioia, G.;Piccinno, P.; Lacalamita, A.	2021	Sustainable options for paints through a life cycle assessment method	Journal of Cleaner Production
12	Muranko, Ž.; Tassell, C.; van der Laan, A.Z.; Aurischio, M.	2021	Characterisation and environmental value proposition of reuse models for fast-moving consumer goods: reusable packaging and products	Sustainability (Switzerland)

FONTE: Autor (2022)

QUADRO 12 - ESTUDOS VOLTADOS AO DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS CIRCULARES

Autor	Objetivo	Resultados	Foco	Método	Estratégia circular
1	Fornecer <i>inputs</i> para Integração de aspectos ambientais em modelo de desenvolvimento de produtos.	Apresentar um modelo de desenvolvimento de embalagem sustentável.	MDP para embalagens	Revisão da literatura	Aspectos ambientais
2	Explorar modelos e ferramentas de desenvolvimento de embalagens em relação aos sistemas circulares, a fim de identificar o estado atual do foco da circularidade.	Uma gama de modelos e ferramentas identificada é estruturada em duas categorias: ferramentas geradoras e avaliativas. Ocorrem nas fases iniciais e posteriores de desenvolvimento, respectivamente. Três tipos de integração foram avaliados como apropriadas: o desenvolvimento integrado de produto-embalagem, integração multifuncional de atores e integração <i>front-end</i> de considerações de sustentabilidade.	Revisão de Modelos e ferramentas de desenvolvimento	Revisão da literatura	NA
3	Desenvolver um sistema de embalagem recarregável para sabonete líquido e investigar a aceitação do consumidor e desempenho de sustentabilidade. Fornecer orientação para o desenvolvimento de embalagens recarregáveis sustentáveis de sucesso.	Uma série de diretrizes para o design de refis foi identificada, apresentou requisitos de design de embalagens recarregáveis bem-sucedidas: os refis desenvolvidos apresentaram bom desempenho para o consumidor, o meio ambiente e os negócios. Os requisitos das embalagens recarregáveis incluem boa qualidade, facilidade no uso, entrega adequada, são claramente comunicados e oferecido por meio de uma marca que os consumidores gostem e que represente valores, enquanto reduzem radicalmente a quantidade de embalagens fabricadas e distribuídas. Incorporar as necessidades ambientais e do consumidor, consideradas no <i>briefing</i> , é fundamental para o desenvolvimento bem-sucedido de embalagens recarregáveis.	Desenvolvimento de produto	Revisão da literatura, questionário ao consumidor para análise de mercado, Workshop direcionado à indústria, para levantar barreiras e drivers.	Reutilizar
4	Distinguir entre estratégias de design circular e linear e investigar as respostas do consumidor às embalagens reprojctadas de acordo com tais estratégias. Explorar a resposta de consumidores em relação às três estratégias de design.	Os consumidores são mais positivos com os projetos que seguem uma estratégia de design circular, como os materiais biodegradáveis, por exemplo, do que com os projetos lineares, como no caso da redução do peso da embalagem. Os consumidores não estão mais dispostos a comprar novos <i>designs</i> de embalagens combinando várias estratégias de design sustentável, em comparação com aqueles que usam apenas uma única estratégia de reformulação.	Pesquisa de aceitação pelo consumidor	Revisão da literatura, pesquisa de comportamento/mercado, além de ferramentas estatísticas.	Reciclagem
5	Estudar quais práticas gerenciais as empresas seguem e implementam em seu modelo de negócios para gerenciar a introdução de Produtos Circulares.	Embora as práticas e princípios identificados forneçam objetivos gerais em termos de metas a serem alcançados para adoção da EC, eles, no entanto, não esclarecem em que nível cada princípio deve ser cumprido para transformar-se em EC.	Práticas gerenciais	questionário semiestruturado para coleta de práticas adotadas nas empresas.	Reciclagem
6	Identificar as etapas do ciclo de vida do produto (embalagens) em que a aplicação de estratégias de <i>Ecodesign</i> seja mais eficiente.	A substituição de petroquímicos virgens por cargas minerais ajudou a reduzir os impactos ambientais em uma média de 12%. O uso de plástico reciclado pós-consumo diminuiu ainda mais as emissões, até 29% em 6 das 9 categorias de impacto avaliadas. A opção com melhor desempenho ambiental também foi a que apresentou menor custo econômico.	<i>Ecodesign</i> , ACV e ACV, cadeia produtiva	Estudo de caso.	Redução de recursos

(Continua)

(Conclusão)

Autor	Objetivo	Resultados	Foco	Método	Estratégia circular
7	Investigar os princípios mais importantes da concepção ecológica das embalagens de polímeros, no aspecto da redução da formação de resíduos de embalagens e da adequação à recuperação através da reciclagem de materiais.	Uma série de dificuldades técnicas relacionadas com a reutilização de embalagens pós-consumo, como matéria-prima secundária de valor integral, torna necessário que os designers e produtores desenvolvam práticas industriais úteis do ponto de vista da reciclagem de materiais.		Revisão da literatura	Reciclagem
8	Demonstrar maneiras em que embalagens de vidro podem ser reaproveitadas e recicladas de forma mais eficaz.	Um grande número de possibilidades e técnicas voltadas para caracterização, limpeza e processamento de vidro é apresentado. Predominantemente o vidro reciclado vem de embalagens de vidro utilizada para alimentos e bebidas.	Materiais e tecnologias de reciclagem.	Revisão da literatura e análise de dados.	Reciclagem
9	Analisar uma metodologia de apoio ao redesenho de uma embalagem sustentável para os eletrodomésticos.	Uma reformulação da embalagem foi realizada para reduzir o desperdício e aumentar o uso dos componentes do ponto de vista da economia circular. Os resultados mostram a possibilidade de reduzir os impactos ambientais, em aproximadamente 15%, por meio de um redesenho com interior de polpa moldada e evitando estruturas de EPS.	Ecodesign	ACV, LCIA, Estudo de caso	Redução de recursos
10	Apresentar o potencial e os últimos avanços na valorização de subprodutos e resíduos à base de cereais.	Os cereais descartados representam uma perda de biomassa e nutrientes e fontes de minerais, além de potenciais aplicações químicas e na indústria de embalagens.	Materiais e tecnologias de recuperação e reciclagem.	Revisão da literatura	Reuso e resíduos como matéria prima
11	Avaliar os impactos ambientais dos ciclos de vida das tintas e identificar medidas viáveis para reduzir esses impactos. Escolher a melhor opção, entre os cenários, de acordo com uma abordagem de economia circular.	A produção e o fornecimento de matéria-prima são os de maior impacto nas duas tintas, para todos os indicadores de impacto. Além disso, as opções de embalagens permitem determinar que o uso de polipropileno 50% reciclado teve o melhor desempenho ambiental do que o alumínio 100% reciclado, embora a contribuição da embalagem seja desprezível nos indicadores de impacto total.	Avaliação do ciclo de vida (ACV)	ACV	Reciclagem
12	Desenvolver uma caracterização abrangente de modelos de reutilização e avaliar seu potencial para agregar valor ambiental.	Apresentou cinco modelos de reuso para o consumo de embalagens: (1) modelos de reutilização exclusivos nos quais os usuários recebem um produto reutilizável; (2) um produto reutilizável com preparação para infraestrutura de reutilização; (3) acesso à infraestrutura de preparação para reutilização; (4) os usuários recebem um produto reutilizável com preparação para infraestrutura de reutilização e serviços de recuperação operados por provedor; e (5) um produto reutilizável e serviços operados por provedor para recuperação e preparação para reutilização. Os modelos de reutilização exclusiva e sequencial são capazes de agregar valor ambiental ao reduzir o uso de recursos naturais e reter seu valor na economia. Na reutilização sequencial, verificou-se que os modelos têm maior capacidade de aumentar a parcela de recursos recicláveis, oferecendo acesso à infraestrutura para fechamento de laços de materiais. Os consumidores podem acessar, atualmente, cinco modelos de reutilização e escolher entre comportamentos de reutilização exclusivos e sequenciais. Quando adotados em conjunto com a reciclagem, os modelos de reutilização podem permitir um consumo mais eficiente.	Reutilização	Revisão da literatura, Banco de dados Zero Waste Living Lab, Estudo de casos, Pesquisa em banco de dados com termos relacionados.	Reuso, Design durável

FONTE: Autor (2022)

Estrutura dos artigos: Na metodologia, foram combinadas diferentes técnicas e ferramentas para o desenvolvimento das pesquisas. Destaca-se o uso de revisão sistemática da literatura (RSL) nas bases de periódicos *Scopus* e *Web Of Science*, estudos de casos com a aplicação da metodologia de ACV, análise de banco de dados, como o Banco de dados *Zero Waste Living Lab*, pesquisas e questionários estruturados e semiestruturados para coleta de dados como práticas circulares adotadas pelas empresas, pesquisas de comportamento e de mercado, workshops para levantamento de dados, como barreiras e drivers na adoção da EC, além de ferramentas e análises estatísticas.

Sobre as estratégias e diretrizes utilizadas no desenvolvimento de embalagens circulares, foram adotadas a reciclagem, a reutilização, reuso e a atualização com foco nas diretrizes de redução do uso de recursos naturais, uso de resíduos e materiais reciclados. As estratégias de reciclagem e a diretriz de redução de recursos foram as mais citadas.

Reciclagem: Foram desenvolvidas comparações entre diferentes tipos de materiais, como PP (50%) e alumínio (100%), reciclados para embalagens de tintas e revestimentos, através de método de ACV (PAIANO et al., 2021), análise de materiais como o vidro, bem como, suas tecnologias de reciclagem (FLOOD et al., 2020). Também foram feitas pesquisas para verificar a aceitação de produtos circulares, pelos consumidores (STEENIS et al., 2018) e análises das práticas gerenciais no desenvolvimento circular de embalagens com materiais plásticos, madeira e bioplásticos nas indústrias de bebidas (URBINATI; CHIARONI; TOLETTI, 2019).

Os estudos empregaram, ainda, o reaproveitamento de resíduos como recurso, a redução de uso de materiais (URBINATI; CHIARONI; TOLETTI, 2019), uso de materiais biodegradáveis e a redução de massa (CZARNECKA-KOMOROWSKA; WISZUMIRSKA, 2020; FLOOD et al., 2020; PAIANO et al., 2021; STEENIS et al., 2018).

Outras práticas e iniciativas circulares também foram citadas, a saber: a necessidade de examinar as possíveis interações entre os componentes; a capacidade de atualização do produto e a atenção no projeto nas fases seguintes; desenvolvimento de produtos com materiais sustentáveis e biodegradáveis para facilitar a reciclagem e reduzir as dificuldades nas atividades de gerenciamento de resíduos; otimização de produtos e processos para eficiência de recursos; utilização e eficiência dos sistemas de automação utilizados nos processos de

empacotamento/embalagem e na logística interna; e redução da quantidade de plástico usado no desenvolvimento dos produtos.

Os autores argumentam que *designers* e desenvolvedores de embalagens precisam criar boas práticas industriais que sejam úteis no ponto de vista da reciclagem de materiais (CZARNECKA-KOMOROWSKA; WISZUMIRSKA, 2020), assim como, explorar o uso de materiais de baixa valorização na reciclagem, como o vidro (FLOOD et al., 2020).

Redução de recursos: Foram investigados o uso de materiais reciclados (LANDI; CICCONE; GERMANI, 2020) e adição de minerais, como o carbonato de cálcio na mistura da composição da matéria prima aplicados em indústrias de segmentos diversos, incluindo embalagens (CIVANCIK-USLU et al., 2019).

No desenvolvimento de embalagens plásticas para exaustores de cozinha, foram combinadas estratégias de Ecodesign (LANDI; CICCONE; GERMANI, 2020) e ACV na cadeia produtiva de indústria de embalagens para cosméticos (CIVANCIK-USLU et al., 2019).

Reutilização: Abordada no desenvolvimento de embalagem de refil/recarregável para a indústria de cosmético e higiene pessoal, que se dissolveria, sem a necessidade de descarte. (LOFTHOUSE; TRIMINGHAM; BHAMRA, 2017). No artigo de Lofthouse; Trimmingham; Bhamra (2017), foi apresentada a importância das avaliações ambientais, por ACV, das soluções de refis propostas para diferentes materiais, como PP e PET, e que o sucesso no uso de práticas circulares depende do conhecimento que o consumidor tem sobre a natureza reutilizável da embalagem.

Barreiras: Entre as barreiras para adoção das estratégias de EC, no desenvolvimento de embalagens, estão a falta de tecnologias de processamento e investimento na coleta; desenvolvimento de novas tecnologias para triagem e reciclagem (DE KOEIJER; WEVER; HENSELER, 2017; FLOOD et al., 2020); falta de desenvolvimento integrado de produto e embalagem; número limitado e variedade de modelos feitos sob medida para o desenvolvimento de embalagens com foco na circularidade; dificuldades na validação da ferramenta devido à complexidade da cadeia de suprimentos (DE KOEIJER; WEVER; HENSELER, 2017); uso de maiores quantidades de materiais para tornar o produto mais durável (MURANKO et al., 2021) (MURANKO et al., 2021); falta de adesão por parte do consumidor de produtos, que utilizaram estratégias combinadas de circularidade (STEENIS et al., 2018); limitações tecnológicas e a necessidade de novas tecnologias de reciclagem e processos

específicos; falta de apoio governamental; ausência de incentivos por meio da oferta de oportunidades de financiamento e política tributária eficaz; complexidade de regulamentação; outras barreiras econômicas e dificuldades em definir uma estrutura empresarial adequada para a adoção da abordagem de CE, na qual os custos e receitas estejam equilibrados; mudança de mentalidade; relutância em reconhecer que a forma atual de produzir e consumir não pode prosseguir em uma perspectiva de médio-longo prazo; barreiras financeiras, ou seja, o custo da inovação verde e modelos de negócios; falta de informação e conhecimento sobre os benefícios da economia circular e, por fim, a falta de conscientização ambiental de fornecedores e clientes.

Os *drivers* e aspectos motivadores citados foram: a importância da liderança na organização, na qual o líder da empresa valoriza o novo direcionamento estratégico circular, entende seus benefícios e riscos, mas é capaz de estabelecer um entendimento comum do negócio; motivação econômica em que o conceito de EC implica em ser sustentável e, ao mesmo tempo, lucrativo; estimula a criatividade e melhoria da cultura moral; mudança de comportamento do cliente, os usuários finais adquirem maior consciência ambiental e, portanto, a demanda por produtos circulares aumenta (URBINATI; CHIARONI; TOLETTI, 2019); importância do papel dos designers, das avaliações ambientais, das percepções dos consumidores sobre a solução e importância do marketing para aspectos ambientais (LOFTHOUSE; TRIMINGHAM; BHAMRA, 2017).

Temas correlatos também foram citados nas pesquisas: análises de mercados C2C, coleta e reciclagem da embalagem, o *Design for Environment* (DfE) e *Design for "X"* (DfX), revisão da literatura de MDP sustentáveis para embalagens, a abordagem de produto ecológico ideal (IEPA), processos de revisão ambiental, ferramenta de ideação, além do *Ecodesign* para embalagens.

Notou-se que 11 dos 12 artigos foram publicados entre 2017 e 2021. Fora desse período, permaneceu o estudo de Bucci e Forcellini (2007), que apresentaram uma revisão de modelos para o desenvolvimento de embalagens, porém, focados na integração de aspectos ambientais.

Ao encontro do que Koeijer, Wever e Henseler (2017) afirmaram, não há um grande número de modelos que abordam as considerações de sustentabilidade ou um foco específico na circularidade no desenvolvimento de embalagens na literatura atual (DE KOEIJER; WEVER; HENSELER, 2017).

Além de limitado, notou-se diferentes abordagens e modelos de desenvolvimento, elaborados caso a caso, conforme as aplicações do produto. O motivo é porque, em geral, os produtos, como as embalagens, podem ser projetados para atender as necessidades do mercado, adequar-se às diferentes funções, atender às estratégias de reciclagem e uso como fonte energética. Assim, as soluções mais relevantes para o projeto e desenvolvimento, são específicas de cada organização e produto (ABNT, 2004).

Finalmente, as fases de Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento, e Pós-desenvolvimento foram abordadas nos estudos, concentrando nas etapas de projeto informacional, conceitual e detalhado, seleção de materiais e revisão do produto.

2.3.8 Guia circit nord e o desenvolvimento de embalagens circulares

O Guia para projeto e desenvolvimento de produtos CIRCit Nord, apresentado na seção 2.3.6.2, aborda uma relação de estratégias, práticas e iniciativas circulares voltadas para o desenvolvimento de embalagens. (QUADRO 13).

QUADRO 13 - DIRETRIZES E PRÁTICAS CIRCULARES APLICÁVEIS AO DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS

ID	Diretriz Circular	Práticas circulares para embalagens
3	Projeto para redução do consumo de energia e uso de energia renovável.	Minimizar o peso dos componentes.
2	Projetar com materiais renováveis.	Utilizar materiais renováveis e de base biológica para embalagem. Escolher materiais de embalagem que sejam fáceis de reciclar. Considerar a taxa de reciclagem das embalagens. Utilizar material economicamente reciclável.
1	Projetar usando materiais recicláveis e reciclados.	Utilizar embalagens que seja necessário apenas um método / processo de reciclagem. Evitar materiais compostos. Evitar o uso de diferentes tipos de materiais, aumentar a homogeneidade do material, materiais de fácil separação, que aumente as possibilidades de reciclagem. Utilizar materiais de embalagem que já possuam tecnologia e mercado de reciclagem. Selecionar materiais com as tecnologias de reciclagem mais eficientes.
7	Usar componentes e materiais duráveis e robustos.	Escolher o material correto para o trabalho certo. Estimar a resistência e rigidez da embalagem. Prefira qualidade, robustez e duráveis, materiais de longa vida útil, que não se degradam durante os vários transportes. Evitar materiais que possam se desgastar, tornar-se frágeis ou desbotados e descoloridos. Escolher materiais de embalagem que tenham menor impacto ambiental. Eliminar, reduzir, reutilizar ou reciclar embalagens. Eliminar a embalagem de material tóxico e perigoso. Utilizar embalagens padronizadas.
8	Considere toxicidade e outros aspectos ambientais dos materiais.	Evitar materiais de alta qualidade, como alumínio e PVC. Em vez de embalar produtos para fins de marca, utilizar produtos de alta qualidade. Otimizar o uso dos materiais, nos quais o menor nível de qualidade de um material atenda a aplicação, sem influenciar na qualidade final do produto. Reduzir o consumo de material na embalagem. Eliminar materiais tóxicos e perigosos.

FONTE: Adaptado de Shahbazi et al. (2020).

3 METODOLOGIA

“Quais práticas e iniciativas podem ser adotadas para propor um modelo de desenvolvimento circular para embalagens?”. Visando responder à pergunta de pesquisa, este capítulo apresenta a metodologia para o desenvolvimento da pesquisa que compreende, tanto a classificação, quanto a sua natureza, abordagem, objetivos, o fluxograma e detalhamento dos estágios propostos para a pesquisa.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A presente dissertação é classificada, a seguir, quanto ao tipo de pesquisa. (QUADRO 14).

QUADRO 14: CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	
Abordagem:	Qualitativa
Natureza:	Aplicada
Objetivo:	Exploratório

FONTE: O autor (2022)

Possui forma de abordagem qualitativa, porque se apoia na pesquisa de normas, documentos e revisão da literatura sobre desenvolvimento de produtos, conceitos, etapas, diretrizes, estratégias, práticas e iniciativas de termos relacionados a Economia Circular.

Seu enquadramento apresenta natureza aplicada, porque tem, como interesse principal, propor e avaliar um modelo de desenvolvimento circular específico para embalagens.

O tema recente, apresenta também uma lacuna relacionada a falta de modelos circulares de desenvolvimento de produtos. Ou seja, a maior parte dos estudos abordam em profundidade, porém isoladamente, as práticas de EC em determinadas fases e etapas do processo de desenvolvimento de produtos resultando na falta de um modelo abrangente, que considere práticas circulares desde as fases iniciais até as fases finais do desenvolvimento de produtos. Neste sentido, esta pesquisa demonstra um caráter exploratório, porque identifica e relaciona estas

práticas, fases e etapas de desenvolvimento para propor um modelo abrangente de desenvolvimento.

3.2 MÉTODO DA PESQUISA

São aplicadas, no desenvolvimento desta pesquisa, a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a análise do conteúdo de normas e documentos relacionados ao tema de desenvolvimento de produtos circulares e um estudo de caso.

Esse método é composto por cinco estágios, que compreendem: (a) a conceituação do tema e coleta de dados; (b) o agrupamento e integração dos dados no MDP de referência selecionado a partir da literatura; (c) a apresentação do Modelo de Desenvolvimento de Produtos Circular (MDPC) proposto; e (d) apresentação de estudo de caso e discussões finais.

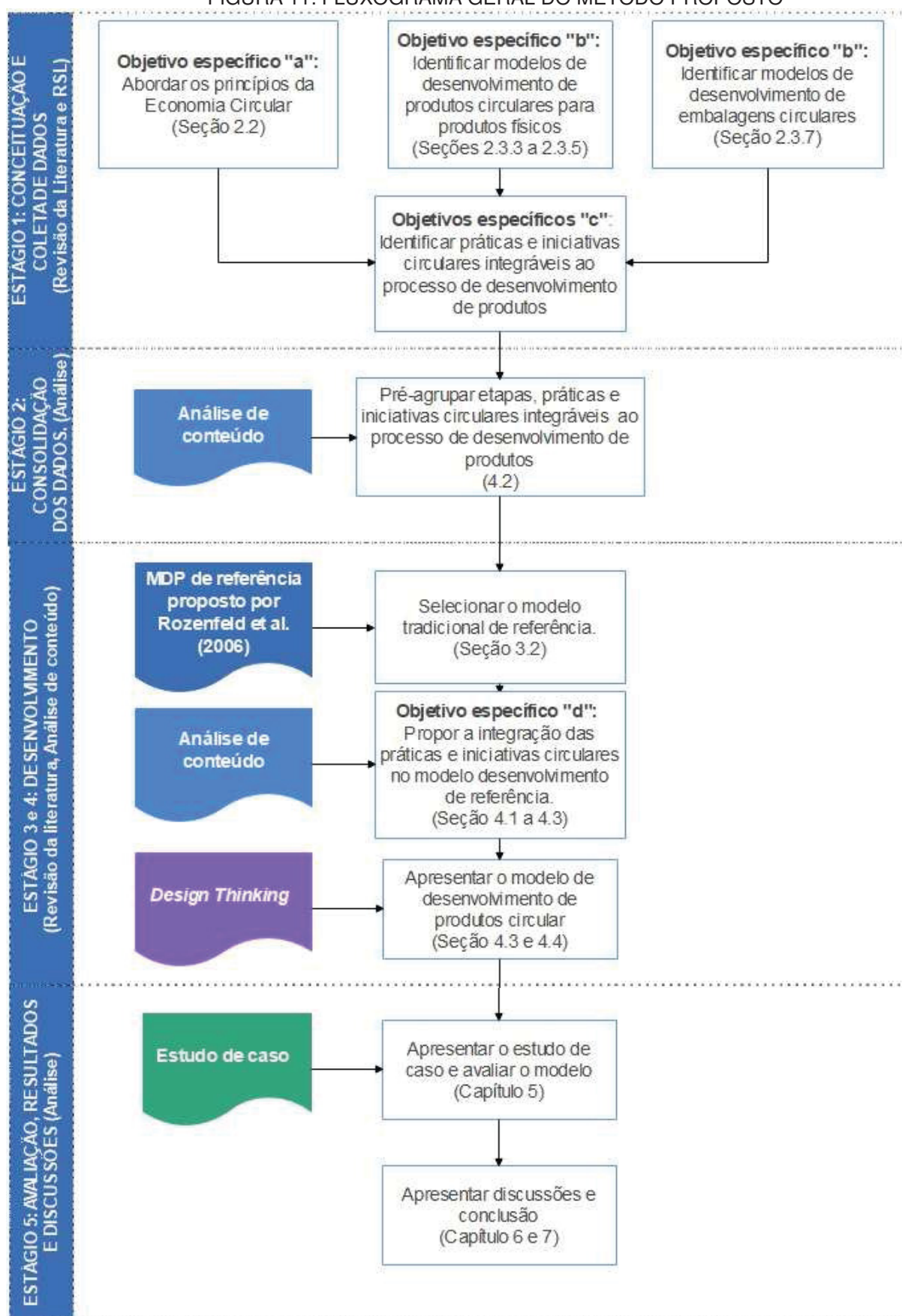
O fluxograma geral e o detalhamento de cada estágio são apresentados (FIGURA 11).

Estágio 1: Foi realizada uma pesquisa documental exploratória qualitativa com o objetivo de conceituar o tema Desenvolvimento de Produtos e EC, incluindo princípios, importância, barreiras e oportunidades para o desenvolvimento de produtos circulares.

A RSL foi utilizada para identificar modelos de desenvolvimento de produtos físicos e de embalagens circulares, normas e documentos relacionados ao tema, com o objetivo de apontar práticas e iniciativas integráveis às etapas do processo de desenvolvimento de produtos. Os protocolos de pesquisa foram apresentados nas subseções 2.3.3 e 2.3.7.

Estágio 2: Refere-se ao agrupamento dos dados coletados no estágio 1. As práticas e iniciativas circulares foram pré-agrupadas e relacionadas às macrofases, e etapas do processo de desenvolvimento do produto, conforme apresentaram os documentos, normas e modelos estudados. O objetivo foi formar conjuntos de dados, compostos de práticas e iniciativas circulares, e compreender em quais etapas do processo de desenvolvimento de produtos poderiam ser inseridas. Esse processo servirá de subsídio para o estágio 3.

FIGURA 11: FLUXOGRAMA GERAL DO MÉTODO PROPOSTO



FONTE: O autor (2022)

Estágio 3: As práticas e iniciativas circulares identificadas na literatura, foram integradas a um Modelo de Desenvolvimento de Produtos de Referência (MDPR) selecionado. Para tal seleção, fez-se necessário uma revisão na literatura por modelos de desenvolvimento de produtos tradicionais já existentes. No entanto, tal revisão foi realizada por Oliveira (2014), que, através da revisão da literatura de desenvolvimento de produtos e entrevistas com especialistas, propôs um modelo de desenvolvimento para livros digitais.

Entre os modelos tradicionais de desenvolvimento de produtos, Oliveira (2014) observou a existência de diferentes abordagens com ênfase em diferentes áreas, conforme a especialidade de cada autor investigado. Listou todas as etapas dos modelos e as submeteu à validação dos especialistas selecionados na sua pesquisa. Como resultado da revisão, observou-se, assim, uma lista de 44 etapas, agrupadas em 13 fases e 3 macrofases que abordam todo o processo de desenvolvimento de produtos.

Entre os modelos de desenvolvimento abordados por Oliveira (2014), o modelo de referência desenvolvido por Rozenfeld et. al. (2006) foi um dos mais citados, apresentando excelente abrangência em suas fases e etapas.

Tendo sua origem e abrangência na Engenharia de Produção, o modelo de Rozenfeld et. al. (2006), amplamente empregado na literatura de desenvolvimento de produtos, foi abordado por Oliveira, França e Rangel (2019), que propuseram um modelo de desenvolvimento de produtos circulares para arranjos produtivos locais (APLs). O modelo apresentou forte similaridade com os modelos de desenvolvimento de produtos abordados por Ulrich e Eppinger (2018) e a norma ABNT ISO/TR 14062/2012, abordados no capítulo 2 deste trabalho, além de atender aos requisitos de gerenciamento e garantia da qualidade de produto e processo abordados pelo conjunto de normas da ISO 9000.

Diante disso, o modelo de desenvolvimento de produtos de referência proposto por Rozenfeld et al. (2006), detalhado no apêndice 1, foi selecionado para integrar as estratégias, práticas e iniciativas circulares.

Estágio 4: Refere-se à apresentação da estrutura do MDPC proposto, que, aqui, denominou-se teórico, por se originar de revisões da literatura, e compreender o detalhamento das práticas e iniciativas circulares integradas às fases e etapas do MDPR selecionado no estágio 3.

Estágio 5: Visando aproveitar o *know-how* de uma organização especialista em embalagens e avaliar o MDPC teórico, um estudo de caso real foi conduzido.

Foram realizadas visitas em campo e reuniões com representantes de uma organização manufatureira, especialista no desenvolvimento de embalagens, em sua maioria, fabricadas a partir de polímeros, papel e aço. Esses encontros ocorreram nos dias 03.11.2021 e 10.12.2021, nas dependências da organização, e participaram o professor orientador, o autor desta pesquisa, o CEO e gestores das áreas de manufatura e comercial da empresa.

A primeira visita, em 03.11.2021, teve o objetivo de apresentar o modelo de desenvolvimento de produtos circulares (MDPC) teórico para a empresa X e propor sua aplicação para o desenvolvimento de uma embalagem, a partir de uma demanda real da empresa. Foram, ainda, apresentados os princípios da EC, prazos do projeto e a relação das necessidades atuais da empresa com os objetivos do projeto. A proposta foi imediatamente aprovada, marcando o início do estudo de caso.

Contudo, ainda em dezembro de 2021, devido às restrições de acesso em razão das medidas de segurança adotadas frente à pandemia do COVID-19, as visitas presenciais foram suspensas pela empresa X por quase três meses. Neste período, apenas a comunicação por correio eletrônico, mensagens de texto e chamadas de vídeo puderam ser utilizadas.

Diante desta restrição, foi necessário propor mudanças nos objetivos do estudo de caso, e a principal foi declinar a aplicação do modelo através do desenvolvimento de uma embalagem, a partir de uma demanda real da empresa. O motivo foi o grau de risco elevado relacionado ao prazo de desenvolvimento da embalagem. Ou seja, o tempo de desenvolvimento de um produto novo, dado o processo novo, no caso o modelo circular teórico proposto, tratado de forma não presencial, sendo ainda necessário envolver diversos setores da empresa, poderia ser demasiadamente elevado, prejudicando os prazos de entrega desta pesquisa.

Dado este novo cenário, o objetivo do estudo de caso passou a ser a avaliação do modelo de desenvolvimento de produtos circulares (MDPC) teórico, a partir da análise e diagnóstico do processo de desenvolvimento de produtos (PDP) e das práticas circulares já adotadas pela empresa X.

Desta forma, um questionário semiestruturado, criado com o auxílio da ferramenta *Google Forms*, foi enviado à organização para coleta de dados. O questionário foi direcionado à coordenadora e um analista da área de pesquisa e

desenvolvimento de produtos (P&D), indicado pelos gestores da área de manufatura e comercial.

Em resposta ao questionário, em 10.12.2021, a coordenadora do P&D apresentou detalhadamente o PDP da empresa para o autor e orientador desta pesquisa. Na sequência, compreendendo os detalhes do processo de desenvolvimento de produto da empresa, diversos documentos e uma lista de práticas circulares, já adotadas pela empresa, foram compartilhados.

Finalmente, através da análise de conteúdo, os documentos do processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) da empresa foram conferidos. A análise destes documentos permitiu coletar informações do processo de Desenvolvimento de Produtos (DP) de uma embalagem real, da sequência de atividades e informações para chegar a um produto final, avaliar e realizar o diagnóstico do MDPC proposto nesta pesquisa.

4 O MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS CIRCULARES (MDPC) TEÓRICO

Neste capítulo, apresenta-se o Modelo de Desenvolvimento de Produtos Circulares (MDPC) teórico, uma proposta voltada para o desenvolvimento de embalagens. São apresentadas informações sobre como foi desenvolvido o modelo, as estratégias e práticas circulares, além de aspectos da sua integração nas fases e etapas do modelo de referência proposto por Rozenfeld (2006).

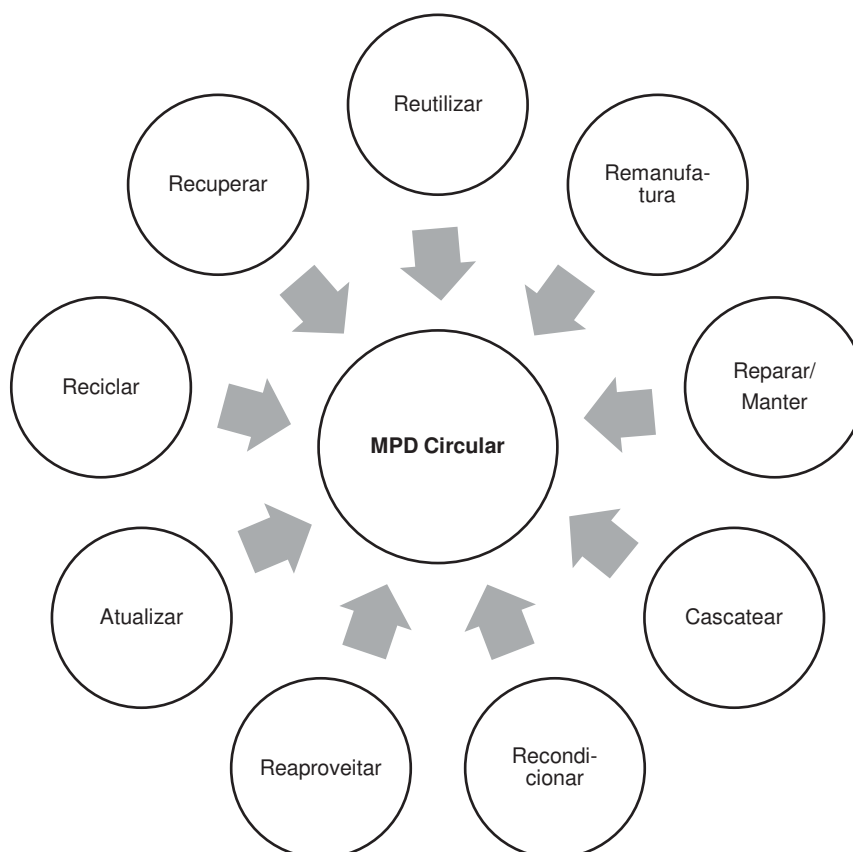
4.1 ASPECTOS DA INTEGRAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA CONSTRUÇÃO DO MPDC TEÓRICO

Os consumidores são mais positivos com os projetos que seguem uma estratégia de *design* circular, como o uso de materiais biodegradáveis, por exemplo, do que com os projetos lineares, como a redução de massa (STEENIS et al., 2018). Além disso, os benefícios indicados na literatura, gerados pela integração dos aspectos circulares ao desenvolvimento de produtos, são encorajadores (NORD, 2020; SHAHBAZI et al., 2020).

Os modelos de desenvolvimento de produto são diversificados porque buscam atender um segmento, podendo variar em etapas e atividades conforme o produto. Desta forma, as práticas circulares integráveis ao MDP podem ser diferentes.

De forma geral, o MDP circular teórico, proposto nesta pesquisa, considerou a integração destas práticas e o maior número possível de estratégias circulares durante o desenvolvimento de produtos (FIGURA 12).

FIGURA 12: ESTRATÉGIAS CIRCULARES INTEGRADAS AO MDPC TEÓRICO



Fonte: O Autor (2022)

4.2 AGRUPAMENTO DAS DIRETRIZES, ESTRATÉGIAS, PRÁTICAS E INICIATIVAS CIRCULARES

Com o objetivo de identificar a relação e compreender em quais etapas do processo de desenvolvimento de produtos poderiam ser integradas, as práticas e iniciativas circulares foram analisados e relacionadas com macrofases, etapas e subetapas do desenvolvimento de produto, conforme apresentaram os modelos, documentos e normas abordados no capítulo 2.

Os resultados foram agrupados em etapas, diretrizes, estratégias, práticas e iniciativas voltadas para o desenvolvimento de produtos físicos circulares (QUADRO 15) e de embalagens circulares (QUADRO 16).

QUADRO 15: QUADRO-RESUMO DAS ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO E SUA RELAÇÃO COM AS ESTRATÉGIAS, DIRETRIZES, PRÁTICAS E INICIATIVAS CIRCULARES PARA PRODUTOS FÍSICOS

PRODUTOS FÍSICOS CIRCULARES						
DIRETRIZES, PRÁTICAS E INICATIVAS		MDP CONFORME OLIVEIRA, FRANÇA E RANGEL (2019)	CIRC IT NORD GUIDE	PLANO DE AÇÃO CIRCULAR DA UE.	OUTROS AUTORES	
Projetar a eliminação de lixo e resíduos: adoção de materiais e compostos naturais, biodegradáveis de total e rápida decomposição, que apresentem baixo valor para a economia e antecede a necessidade de reparo, reuso, reciclagem; manter os produtos e materiais em uso por mais tempo: produtos são projetados para aumentar a sua vida útil, serem modulares, de fácil desmontagem para facilitar reparos, melhorias e atualizações. Exemplos: a) Projeção de produtos e estruturas para reparos e manutenções que garantam o seu uso por mais tempo, justificando a compra e fidelizando consumidores; b) Estender o ciclo de vida dos produtos baseado em trocas, no qual o usuário pode adquirir um produto usado ao invés de comprar um novo, evitando que o item seja descartado como lixo e adotando estratégia de compartilhamento e maximizando a sua utilização. Dessa forma, a mudança ocorre no perfil de consumo; regenerar sistemas naturais: projetar resíduos para o uso como recursos, de maneira que o solo fosse não só preservado, como regenerado. Exemplos: a) Evitar o uso de recursos não renováveis, como os combustíveis fósseis; b) Aproveitar os resíduos de uma fazenda de gado como recursos para a produção de bioág e fertilizantes que ajudam o solo de plantações.		Focar na vida útil do produto; definir processos sustentáveis; alternativas de novos materiais; <i>Redesign</i> ; certificação ambiental; estabelecer parcerias com organizações e partes interessadas; levantamento das especificações, características, variáveis do subproduto e sua incorporação ao processo produtivo; comparação do desempenho ambiental; prever a reutilização de sistemas e seus componentes; consolidar especificações com base no ciclo de vida; prever protótipos com materiais renováveis; utilizar tecnologias eficientes; prever impactos ambientais; elaborar declaração quanto ao prolongamento da vida útil e otimização de desempenho, além de orientar o correto uso e manuseio; monitorar impactos, experiências e a percepção de consumidores durante o uso; reusar, reaproveitar e reciclar materiais e produtos; pensar na logística reversa e acondicionamento adequado; reaproveitamento interno ou externo.	Troca de componentes defeituosos facilmente acessíveis; Fácil de desmontar de forma não destrutiva; Foco principal na funcionalidade, qualidade e desempenho; Fornecer manuais e documentações; Projeto em construção modular; Utilizar soluções de digitalização, TICs e a Internet das coisas; Usar componentes e materiais duráveis e robustos; Considerar a toxicidade e outros aspectos ambientais dos materiais; Facilitar a identificação de materiais e outras informações relevantes; Minimizar o número de diferentes materiais incompatíveis ou diferentes; Projetar usando materiais recicláveis e reciclados; Projetar com materiais renováveis; Projeto para redução do consumo de energia e uso de energia renovável; Faça peças sobressalentes e troca de componentes facilmente acessíveis; Fácil de limpar o produto e componentes; Investigar as leis e regulamentações atuais e futuras; Projetar componentes padronizados em diferentes produtos e modelos; Projetar ferramentas padronizadas exigidas em diferentes produtos e modelos; Use juntas e conectores que podem ser facilmente abertos e fechados; Componentes e peças sobressalentes disponíveis e fáceis de encontrar no mercado; Fácil de inspecionar o produto e componentes; Faça peças e componentes intercambiáveis e facilmente disponíveis; Ferramentas padronizadas de design exigidas comuns a diferentes produtos e modelos; Pense sobre atividades de suportes durante operação.	Facilitar reparo e prevenir obsolescência; promover a simbiose industrial, rastreamento e digitalização; <i>Ecodesign</i> ; projetar para durabilidade, reparabilidade/reparação, atualização, manutenção, reutilização e reciclagem e tratamento de resíduos; Durabilidade; reduzir obsolescência; Redução de recursos e resíduos; Recuperação de ecossistemas, uso de materiais biodegradáveis e compostáveis; Materiais reciclados como recurso; eliminar resíduos; Tratamento, recuperação e reciclagem de produtos e resíduos; Uso de materiais biodegradáveis e compostáveis; Soluções de modelo de negócios voltados para <i>product-service system</i> (PSS).	Estender a vida útil dos produtos baseada em trocas; Adquirir um produto usado ao invés de comprar um novo; Evitar que o item seja descartado como lixo e adotando estratégia de compartilhamento, maximizando a sua utilização; Pensar na desmontagem, separação de componentes e informações sobre o conteúdo químico, por exemplo; Pensar na remanufatura para definir processos de desmontagem, limpeza, remontagem e testes; Colocar produtos em condições de igual ou melhor operação em relação aos novos e originais; Redução do consumo de recursos naturais, energia e emissões de poluentes; Explorar maneiras de uso como recursos de materiais de baixa valorização na reciclagem, como o vidro; Prever o Design for Environment (DfE) e Design for "X" (DfX).	reciclagem, reutilização, remanufaturar.
ETAPAS		Compartilhar, reutilizar/redistribuir, renovar/remanufaturar, reciclar, cascatear e regenerar.	Atualizar, cascatear, reaproveitar, reciclar, recuperar, remanufaturar, reparar/manter, recondicionar/renovar.	Reutilizar/compartilhar, reparabilidade, digitalização/virtualização, recuperação, reaproveitamento.	Desenvolvimento de produtos, modelos de negócios, políticas públicas e parcerias globais.	Desenvolvimento de produtos e modelos de negócios.

FONTE: O Autor (2022).

QUADRO 16: QUADRO-RESUMO DAS ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO E SUA RELAÇÃO COM AS ESTRATÉGIAS, DIRETRIZES, PRÁTICAS E INICIATIVAS CIRCULARES PARA EMBALAGENS

EMBALAGENS CIRCULARES			
DIRETRIZES, PRÁTICAS E INICATIVAS	CIRC IT NORD GUIDE	MDPS	PLANO DE AÇÃO UE
	Projeto para redução do consumo de energia e uso de energia renovável; Minimizar o peso dos componentes; Projetar com materiais renováveis; Utilizar materiais renováveis e de base biológica; Projetar usando materiais recicláveis e reciclados; Escolher materiais de embalagens que sejam fáceis de reciclar; Considerar a taxa de reciclagem de embalagens; Utilizar material economicamente reciclável; Utilizar embalagens para as quais apenas um método/processo de reciclagem será necessário; Evitar materiais compostos; Evite selecionar diferentes tipos de materiais, busque aumentar a homogeneidade do material, materiais de fácil separação, que aumente as possibilidades de reciclagem; Utilizar materiais de embalagem que já possuem tecnologia e mercado de reciclagem; Selecionar materiais com as tecnologias de reciclagem mais eficientes; Use componentes e materiais duráveis e robustos; Escolher o material correto para o trabalho Estimar a resistência e rigidez da embalagem; Prefira qualidade, robustez e duráveis, materiais de vida útil longa, que não se degradam durante os vários transportes; Evitar materiais que possam se desgastar, tornar-se frágil ou desbotados e descoloridos; Considere a toxicidade e outros aspectos ambientais dos materiais; Escolher materiais de embalagem que tenham menor impacto ambiental; Eliminar, reduzir, reutilizar ou reciclar embalagens; Elimine o material de embalagem tóxico e perigoso; Utilizar embalagens padronizadas; Evitar materiais de alta qualidade, como alumínio e PVC; Em vez de embalar produtos para fins de marca, utilizar produtos de alta qualidade; Otimizar o uso dos materiais, no qual o menor nível de qualidade de um material atenda a aplicação, sem influenciar na qualidade final do produto; Reduzir o consumo de material na embalagem; Eliminar materiais tóxicos e perigosos.	Redução de recursos; Utilizar resíduos e materiais reciclados como matéria-prima; Design durável; Examinar todas as possíveis interações entre os componentes, a capacidade de atualização do produto e a atenção no projeto às fases seguintes, o desenvolvimento de produtos com materiais sustentáveis e biodegradáveis para facilitar a reciclagem e reduzir as dificuldades nas atividades de gerenciamento de resíduos, a otimização de produtos e processos para eficiência de recursos, a utilização e eficiência dos sistemas de automação utilizado nos processos de empacotamento/embalagem e na logística interna, além da redução da quantidade de plástico usado no desenvolvimento dos produtos.	Reduzir embalagens e resíduos de embalagens; estabelecer metas e outras medidas de prevenção de resíduos; projetar para reutilização e reciclabilidade de embalagens, considerar as restrições ao uso de materiais para certas aplicações, em particular, nos produtos ou sistemas reutilizáveis alternativos em que são possíveis que bens de consumo possam ser manuseados com segurança sem a embalagem; considerar a redução da complexidade dos materiais de embalagens, incluindo o número de materiais e polímeros usados; harmonizar os sistemas de coleta seletiva referidos, estabelecer regras para a reciclagem segura de materiais que entram em contato com os alimentos e materiais plásticos diferentes do PET; oferecer água potável acessível em locais públicos para reduzir a dependência da água engarrafada e evitar o desperdício de embalagens.
ESTRATÉGIA	Reciclar, reutilizar.	Reutilizar, reciclar, reuso, cascatear, atualizar.	Redução de recursos e resíduos, reutilizar e reciclar.
ETAPAS	Etapas iniciais do projeto e desenvolvimento de produtos.	Macrofases: Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento, e Pós-desenvolvimento, concentrando nas etapas de projeto informacional, conceitual e detalhado, e subetapas de seleção de materiais e revisão do produto.	Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento, e Pós-desenvolvimento, concentrando nas etapas de projeto informacional, conceitual e detalhado, e subetapas de seleção de materiais e revisão do produto.

FONTE: O autor (2022)

4.3 A ESTRUTURA DO MDPC TEÓRICO

O Modelo de Desenvolvimento de Produtos Circulares (MDPC) teórico (FIGURA 13), que é detalhado na sequência, utiliza duas abordagens distintas no início do processo. Estas abordagens se referem a duas alternativas de fluxos de processo, as quais a equipe de desenvolvimento deverá optar pela que melhor se adapta à realidade da sua organização. A proposta tem o objetivo de abranger as diferentes realidades de processos e organizações, desde as empresas que trabalham desenvolvendo produtos sob demanda, a partir de conceitos já definidos, até aquelas que procuram adotar a inovação durante todo o processo, especialmente nas etapas iniciais do desenvolvimento.

Para auxiliar na escolha, ficou definido que a primeira alternativa se refere ao fluxo de desenvolvimento voltado para “inovação”, no qual são empregadas as ferramentas do *Design Thinking* (DT) e as etapas do MDP de referência, que podem ser adotadas desde o início, ou seja, já nas fases de PEP e PP. O DT foi adotado por apresentar uma abordagem que estimula a forma de pensar e tratar os problemas em busca de novas ideias e soluções com foco na empatia, colaboração e experimentação (BONINI; SBRAGIA, 2011). As ferramentas do DT contribuem para viabilizar os processos de inovação (BONINI; SBRAGIA, 2011), processos estes que podem ser acelerados considerando o uso conjunto de abordagens sustentáveis, como as práticas da EC (EMF,2022). O DT e as ferramentas propostas são abordados no apêndice 2 deste trabalho.

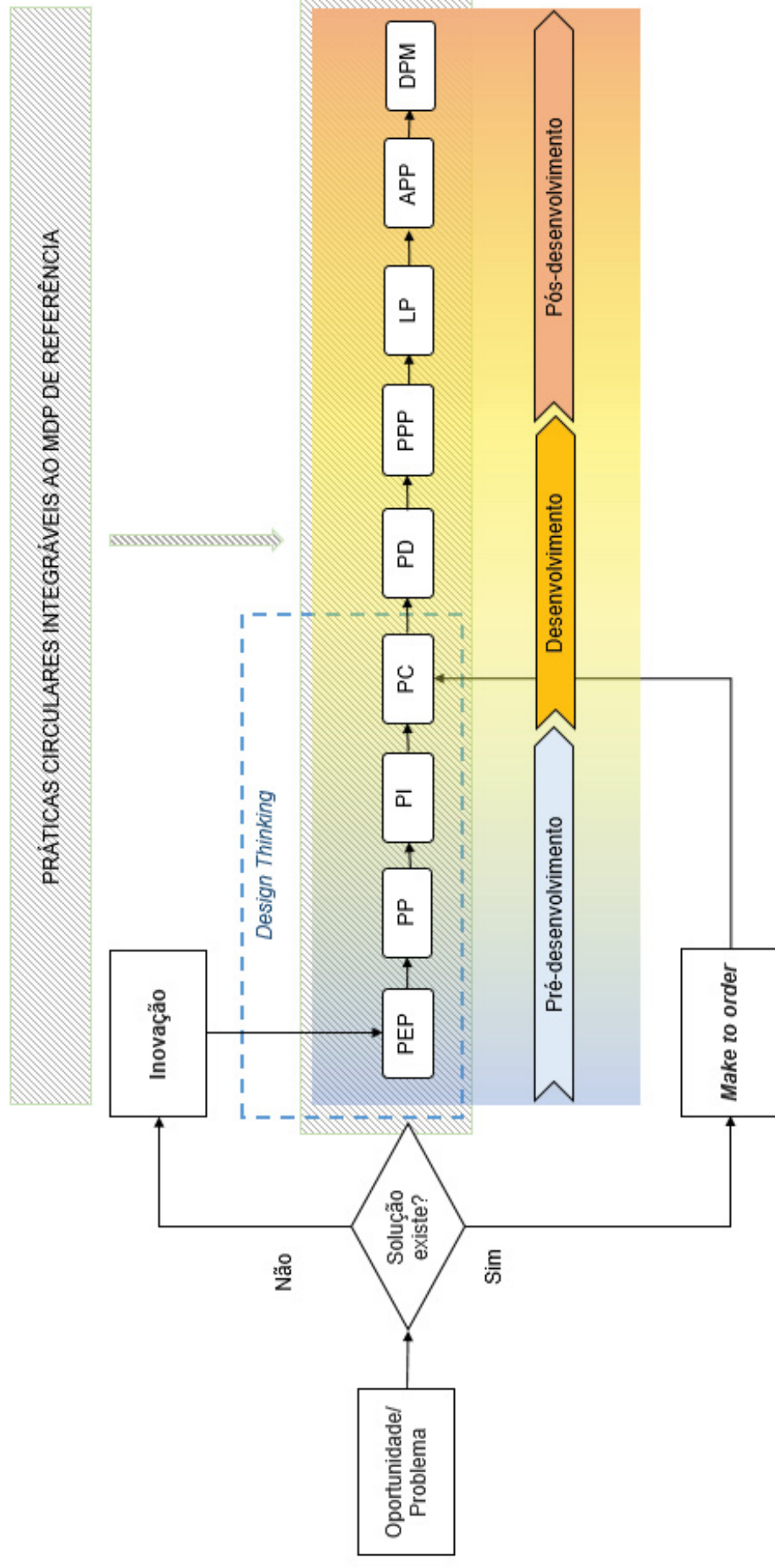
A segunda alternativa, refere-se ao fluxo de desenvolvimento orientado para *Make-to-Order* (MTO), que é quando o desenvolvimento ocorre especificamente para atender a um cliente que, geralmente, já possui um conceito do produto desenvolvido. Neste último caso, as etapas iniciais de PEP e PP são, praticamente, substituídas pela preparação de uma proposta comercial, obtida a partir de desenhos, amostras de produtos já desenvolvidos e especificações fornecidas pelo cliente.

Observa-se que a principal diferença entre as duas alternativas está nas etapas iniciais. No decorrer do processo, a partir da fase de PC, as atividades e etapas dos processos são semelhantes, unindo os dois fluxos.

De forma geral, o modelo se baseia nas estratégias e práticas de EC, preconizadas pelo Plano de Ação da União Europeia para a Economia Circular, o Guide Circ it Nord, para desenvolvimento de projetos e produtos, aspectos

integrativos, abordados pela norma ABNT ISO/TR 14062/2004 (ABNT, 2004), e práticas da EC depreendidos dos artigos resultantes da revisão sistemática da literatura.

FIGURA 13: O MDP CIRCULAR



FONTE: O Autor (2022)

Estas estratégias e práticas da EC foram integradas às fases e etapas das macrofases de Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-desenvolvimento do modelo de referência para desenvolvimento de produtos proposto Rozenfeld et al. (2006).

A proposta de integração é apresentada (FIGURA 14) e detalhada nas subseções 4.3.1 até 4.3.8, compreendendo todas as fases do MDP de referência, desde o Planejamento Estratégico de Produtos (PEP) até a Descontinuar Produto no Mercado (DPM).

Cada uma das subseções corresponde, portanto, a uma das fases do MDP Rozenfeld et al. (2006), a saber: Planejamento Estratégico de Produtos (PEP), Planejamento do Projeto (PP), Projeto Informacional (PI), Projeto Conceitual (PC), Projeto Detalhado (PD), Preparação da Produção do Produto (PPP), Lançamento do Produto (LP), Acompanhar Produto e Processo (APP) e Descontinuar Produto no Mercado (DPM). Finalmente, cada subseção apresenta ainda três etapas, à saber:

Etapas 1: O escopo da macrofase e suas respectivas fases, etapas e atividades do modelo de referência conforme Rozenfeld (2006).

Etapas 2: A proposta de integração das práticas circulares nas etapas de cada uma das fases do MDP de referência. Ou seja, apresenta-se o momento em que cada prática circular poderá ser adotada no modelo de referência e a justificativa para tal integração.

Etapas 3: As práticas circulares propostas, seu escopo, objetivos e exemplos. Na sequência, são apresentadas as tarefas, entradas e saídas de informações relacionadas às estas práticas.

FIGURA 14: PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO DAS PRÁTICAS CIRCULARES NAS ETAPAS DO MODELO DE REFERÊNCIA

ESTRATÉGIAS E PRÁTICAS CIRCULARES	PRÉ-DESENVOLVIMENTO (Fases PEP e PP)						PEP e PP				PC				PD		PPP				LP		APP				DPM				
	1. Definir escopo da revisão do plano Estratégico de negócios	1.3 Consolidar informações sobre tecnologia e mercado	1.5 Analisar o portfólio de produtos da empresa	1.6 Propor mudanças no portfólio de produtos	2.2 Definir escopo do produto	2.3 Avaliar riscos	4.2 Modelar funcionalmente o produto	4.3 Desenvolver as alternativas de solução para o produto	4.5 Analisar sistemas, subsistemas e componentes (SSC)	4.9 Planejar o processo de manufatura macro/definir plano	5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração	5.9 Criar material de suporte do produto	5.12 Testar e homologar produto	6.2 Planejar produção piloto	6.4 Produzir lote piloto	6.2 Planejar produção piloto	6.4 Produzir lote piloto	7.3 Desenvolver processo de distribuição	7.5 Desenvolver processo de assistência técnica	8.1 Avaliar satisfação do cliente	8.2 Monitorar desempenho do produto (técnico, econômico, produtivo e serviços)	8.3 Realizar auditoria pós-projeto	8.4 Registrar lições aprendidas	9.1 Analisar e aprovar descontinuidade do produto do mercado	Planejar a descontinuidade do produto	9.2 Preparar e acompanhar o recebimento do produto	Descontinuar a produção	9.3 Finalizar suporte ao produto	9.4 Avaliação geral e encerramento do projeto		
PEP E PP	Cascater: Simbióse Industrial																														
	Reutilizar: Compartilhamento baseado em trocas e extensão da vida útil dos produtos (Remanufaturar, Reaproveitar, Atualizar.																														
	Análise da viabilidade da estratégia de função através do Product Service System (PSS). Produto como serviço.																														
	Investigar as leis, regulamentações ambientais atuais e futuras e certificações existentes.																														
	Aspectos de funcionalidade para circularidade dos produtos.																														
PC	Identificação de trade-offs.																														
	Avaliação de circularidade.																														
	Avaliação do ciclo de vida (ACV).																														
	Consulta a banco de dados de materiais circulares.																														
	Projetar para Reutilização.																														
	Projetar para Reciclagem																														
	Utilizar materiais biodegradáveis e compostáveis, além de recursos provenientes de fonte de energia renovável.																														
	Definir processos sustentáveis.																														
	Projetar para remanufaturar, Reparar/manter, reutilizar e recondicionar																														

FONTE: O Autor (2022)

(Continua)

FIGURA 14: PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO DAS PRÁTICAS CIRCULARES NAS ETAPAS DO MODELO DE REFERÊNCIA

ESTRATÉGIAS E PRÁTICAS CIRCULARES		PRÉ-DESENVOLVIMENTO (FASES PEP E PP)												PC				PD				PPP				LP		APP				DPM			
		1. Definir escopo da revisão do Plano Estratégico de negócios	1.3 Consolidar informações sobre tecnologia e mercado	1.5 Analisar o portfólio de produtos da empresa	1.6 Propor mudanças no portfólio de produtos	2. Definir escopo do produto	2.3 Avaliar riscos	4.2 Modelar funcionalmente o produto	4.3 Desenvolver as alternativas de solução para o produto	4.5 Analisar sistemas, subsistemas e componentes (SSC)	4.9 Planejar o processo de manufatura macro/definir plano macro de processo	5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração	5.9 Criar material de suporte do produto	5.12 Testar e homologar produto	6.2 Planejar produção piloto	6.4 Produzir lote piloto	6.2 Planejar produção piloto	6.4 Produzir lote piloto	7.3 Desenvolver processo de distribuição	7.5 Desenvolver processo de assistência técnica	8.1 Avaliar satisfação do cliente	8.2 Monitorar desempenho do produto (técnico, econômico, produtivo e serviços)	8.3 Realizar auditoria pós-projeto	8.4 Registrar lições aprendidas	9.1 Analisar e aprovar descontinuidade do produto do mercado	Planejar a descontinuidade do produto	9.2 Preparar e acompanhar o recebimento do produto	Descontinuar a produção	9.3 Finalizar suporte ao produto	9.4 Avaliação geral e encerramento do projeto					
PD	(5.2) Use componentes e materiais duráveis e robustos																																		
	(5.2) Utilizar materiais biodegradáveis e compostáveis, além de recursos provenientes de fonte de energia renovável.																																		
	(5.9) Desenvolver manuais e documentações.																																		
	(5.12) Testar e homologar o produto																																		
PPP	Uso de materiais circulares e tecnologias sustentáveis para a produção do lote piloto																																		
LP	Serviços de assistência técnica para produtos circulares																																		
	Aspectos circulares para a distribuição e transporte																																		
APP	Monitorar impactos da percepção e experiência de consumidores de produtos circulares																																		
DPM	Aspectos circulares para descontinuidade de produtos																																		

FONTE: O Autor (2022)

4.3.1 Práticas circulares para as fases de planejamento estratégico do produto e projeto

Etapa 1: As fases de Planejamento Estratégico do Produto (PEP) e Planejamento do Projeto (PP), pertencentes à macrofase de Pré-desenvolvimento, são apresentadas (QUADRO 17).

QUADRO 17: FASES E ETAPAS DO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO PRODUTO E PROJETO

	Fase	Etapas
PRÉ-DESENVOLVIMENTO	Planejamento Estratégico de Produtos (PEP)	1.1 Definir escopo da revisão do Plano Estratégico de Negócios (PEN).
		1.2 Planejar atividades para a revisão do PEN.
		1.3 Consolidar informações sobre tecnologia e mercado.
		1.4 Revisar o plano estratégico de negócios.
		1.5 Analisar o portfólio de produtos da empresa.
		1.6 Propor mudanças no portfólio de produtos.
		1.7 Verificar/decidir viabilidade do portfólio de produtos.
		1.8 Decidir início do planejamento de um produto do portfólio.
	Planejamento do Projeto (PP)	2.1 Definir interessados do projeto.
		2.2 Definir escopo do produto.
		2.2.1 Definir escopo do projeto.
		2.2.2 Adaptar o modelo de referência.
		2.2.3 Definir atividades e sequência.
		2.2.4 Preparar cronograma.
		2.3 Avaliar riscos.
		2.4 Preparar orçamento/estimativa do projeto.
		2.5 Analisar a viabilidade econômica do projeto.
		2.6 Definir indicadores de desempenho.
		2.7 Definir plano de comunicação.
		2.8 Planejar e preparar aquisições.
		2.9 Preparar plano de projeto.

Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

A fase de Planejamento Estratégico do Produto (PEP) tem o objetivo de consolidar o portfólio de produtos da organização a partir do planejamento estratégico. Inclui a definição dos produtos que serão desenvolvidos e mantidos no mercado e uma previsão da retirada dos produtos que não seguirão. Este portfólio ajudará a equipe do projeto a atingir as metas estabelecidas pelo negócio.

A fase do Planejamento do Projeto (PP) refere-se ao planejamento macro do projeto, ou seja, do novo produto previsto no portfólio. Suas atividades têm o objetivo de planejar, sistematicamente, o projeto de forma que seja obtida uma robusta previsão e análise do escopo e riscos, prevenindo problemas durante e após o desenvolvimento do produto. Implicam em identificar todas as atividades, recursos e

a melhor forma de integrá-los para que o projeto siga em frente com o mínimo de erros.

Essencial para a integração de práticas circulares no processo de desenvolvimento do produto, a decisão sobre qual estratégia circular adotar ocorre geralmente nas etapas iniciais do desenvolvimento (NORD, 2020) e (BUYLE et al., 2019); (DOKTER et al., 2020); (DOMINGUEZ et al., 2018); (EBERHARDT; BIRGISDOTTIR; BIRKVED, 2019); (LAVAGNA et al., 2021); (MALABI EBERHARDT et al., 2020); (MARRUCCI; DADDI; IRALDO, 2019); (MINGUEZ et al., 2021); (NERAMBALLI et al., 2020); (DESING et al., 2019); (VANEGAS et al., 2018). Ulrich e Eppinger (2008) afirmam que a adoção das estratégias circulares deve ocorrer nas etapas iniciais do projeto e desenvolvimento, a partir das etapas de planejamento e se estendendo até as fases de projeto conceitual (FIGURA 15).

A integração das práticas e estratégias circulares durante as etapas iniciais do desenvolvimento de produtos, justifica-se, pois, as etapas iniciais do PDP podem definir até 80% de todo o impacto ambiental e conforme o processo avança e as soluções técnicas são estabelecidas, fica mais difícil incluir soluções circulares e sustentáveis (ABNT, 2004; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021; SHAHBAZI et al., 2020).



FONTE: Adaptado de Ulrich and Eppinger (2008)

Apresentado as etapas, atividades, escopo e objetivos das fases de PEP e PP e a importância da adoção das estratégias e práticas circulares desde as primeiras etapas do desenvolvimento de produtos, as estratégias e práticas circulares propostas para as fases de PEP e PP são apresentadas e detalhadas na sequência.

Etapa 2: A proposta para integração de cada prática circular na etapa de PEP e PP do MDP de referência, proposto por Rozenfeld (2006), é apresentada (FIGURA 16)

FIGURA 16: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA AS FASES PLANEJAMENTO DO PROJETO E PRODUTO

Pré-desenvolvimento		Desenvolvimento				Pós-desenvolvimento				Etapas MDP Rozenfeld (2006)						
PEP		PP	PI	PC	PD	PPP	LP	APP	DPM	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7	2.2	2.3
Práticas circulares	Cascater: Simbióse industrial									X	X					
	Reutilizar: Compartilhamento baseado em trocas e extensão da vida útil dos produtos (Remanufaturar, Reaproveitar, Atualizar, Reparar/manter)									X	X					
	Análise da viabilidade da estratégia de função através do Product Service System (PSS): Produto como serviço									X	X	X	X			
	Exame das legislações e certificações									X						
	Aspectos de funcionalidade para circularidade dos produtos														X	
	Exame das estratégias e diretrizes circulares														X	
	Identificação de trade-offs existentes na adoção das estratégias e práticas circulares															X
	Análise de viabilidade econômica de produtos circulares													X		X
	Adotar e especificar drivers para aumentar a circularidade do produto														X	

Legenda:
1.1 Definir escopo da revisão do Plano Estratégico de negócios;1.3 Consolidar informações sobre tecnologia e mercado;1.5 Analisar o portfólio de produtos da empresa;1.6 Propor mudanças no portfólio de produtos;1.7 Verificar/decidir viabilidade do portfólio de produtos;2.2 Definir escopo do produto;2.3 Avaliar riscos

Fonte: O Autor (2021)

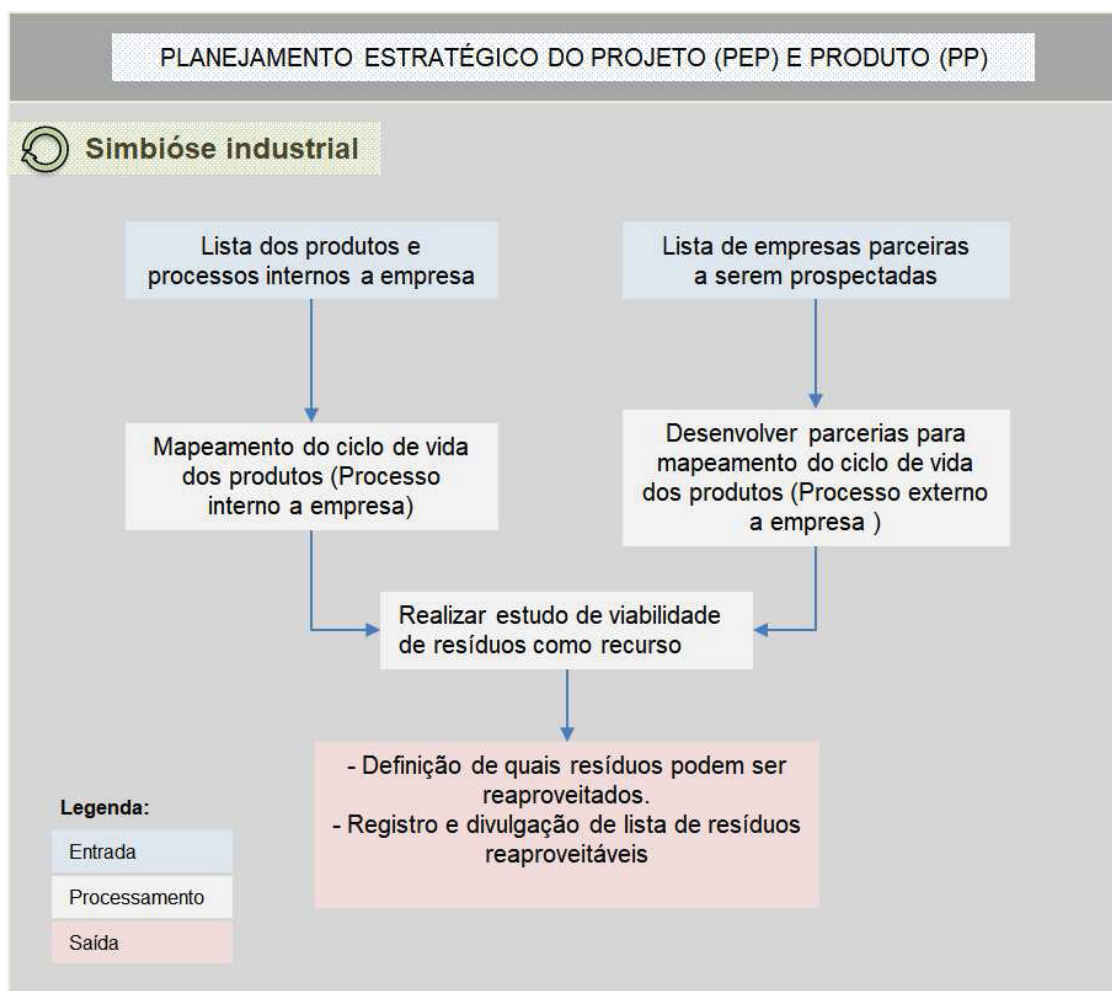
Etapa 3: a) *Simbiose industrial*: A prática de uso de resíduos como recursos ou simbiose industrial, pertence à estratégia de cascadear (SHAHBAZI; JÖNBRINK, 2020; UE, 2020a). A prática de uso de resíduos como recurso é um dos princípios da Economia Circular, representado pelo Diagrama Borboleta, descrito no capítulo 2 deste trabalho e é recomendada para as etapas de PEP e PP sendo abordada anteriormente na literatura dentro do planejamento estratégico (OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2019) (UE, 2020a), (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; SUN 2015).

A prática de simbiose industrial exige um estudo da viabilidade de aproveitamento de subprodutos, para definição de quais resíduos podem ser aproveitados como recursos, além da definição das suas características e requisitos. (FIGURA 17) (OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2019). O resíduo pode ser proveniente dos processos internos à empresa ou captados a partir do desenvolvimento de parcerias com empresas externas que, preferencialmente, estejam próximas geograficamente, e que estejam interessadas no uso ou fornecimento dos subprodutos ou resíduos. A importância dos arranjos produtivos locais (APLs), para a EC, já foi abordada na literatura (DIAS, 2019; OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2019).

A questão da localização geográfica contribui, entre outros benefícios, para facilitar a simbiose industrial, reduzir emissão de gases e custos com transportes destes resíduos (OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2019).

Ao final, pode ser gerado e divulgado uma lista de dados técnicos dos resíduos reaproveitáveis que poderá ser consultada na fase de Planejamento Detalhado (PD), durante a seleção de materiais.

FIGURA 17: PRÁTICA CIRCULAR DE SIMBIÓSE INDUSTRIAL



FONTE: O Autor (2022)

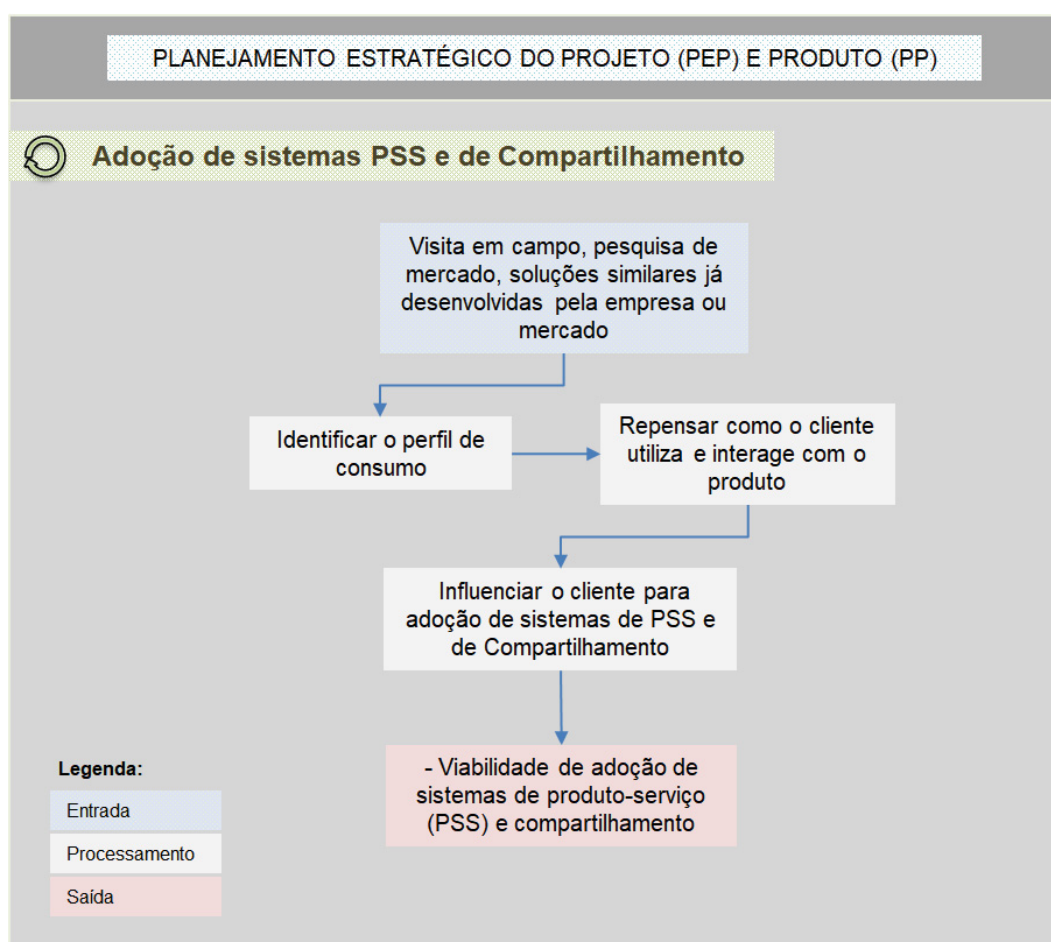
Ainda nas etapas de planejamento e durante a atividade de análise da função, objetivo do produto e proposição de valor para o mercado, faz-se necessário repensar como o cliente utiliza e interage com o produto. Decorrentes dessa análise, outras práticas podem ser adotadas, a saber: A adoção de sistemas de produto-serviço, ou em inglês *Product-Service System* (PSS), que significa promover soluções de produto como serviço (SELVEFORS et al., 2019; UE, 2020a) e estratégias de cooperação e

compartilhamento com o objetivo de reduzir o consumo de recursos e maximizar a utilização de produtos por mais tempo (PANAROTTO; WALL; LARSSON, 2017) (AGUIAR et al., 2020;UE, 2020a).

b) Product-Service System (PSS) (Figura 18): Três formas de PSS podem ser adotadas, à saber: (i) quando tradicionalmente o produto é vendido e serviços adicionais são oferecidos ao cliente com o objetivo de garantir a funcionalidade do produto, (II) quando o produto é entregue e o cliente paga pela disponibilidade ou uso e ainda (III) quando, em mútuo acordo, o cliente paga pela solução e resultados obtidos (FERNANDES et al., 2020)

A adoção de sistemas PSS contribui para que o projeto de produtos seja concebido para estender a vida útil e incentivar a adoção de outras estratégias circulares.

FIGURA 18: PRÁTICA CIRCULAR DE ADOÇÃO DE SISTEMAS PSS E COMPARTILHAMENTO



FONTE: O Autor (2022)

c) *Compartilhamento*: Pertencente à estratégia de reutilizar, a prática de compartilhamento está baseada em trocas, na qual o usuário pode adquirir um produto usado ao invés de comprar um novo, evitando que o item seja descartado como lixo, maximizando, assim, a sua utilização (SELVEFORS et al., 2019).

O desenvolvimento e adoção de embalagens recarregáveis, conhecida como refis é um exemplo de prática voltada à estratégia de reutilizar. As embalagens recarregáveis geralmente apresentaram bom desempenho para o consumidor, o meio ambiente e os negócios. (LOFTHOUSE; TRIMINGHAM; BHAMRA, 2017).

A adoção da estratégia de reutilizar deve anteceder as demais estratégias circulares, como reparar/manter, remanufaturar, recondicionar, reaproveitar, reciclar e atualizar (SHAHBAZI et al., 2020). Suas práticas, além de manter os produtos e materiais em uso por mais tempo, incentivam para que o projeto do produto seja concebido para aumentar a sua vida útil, seja modular e de fácil desmontagem para aplicar melhorias e facilitar a adoção das demais estratégias durante as fases seguintes do desenvolvimento (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).

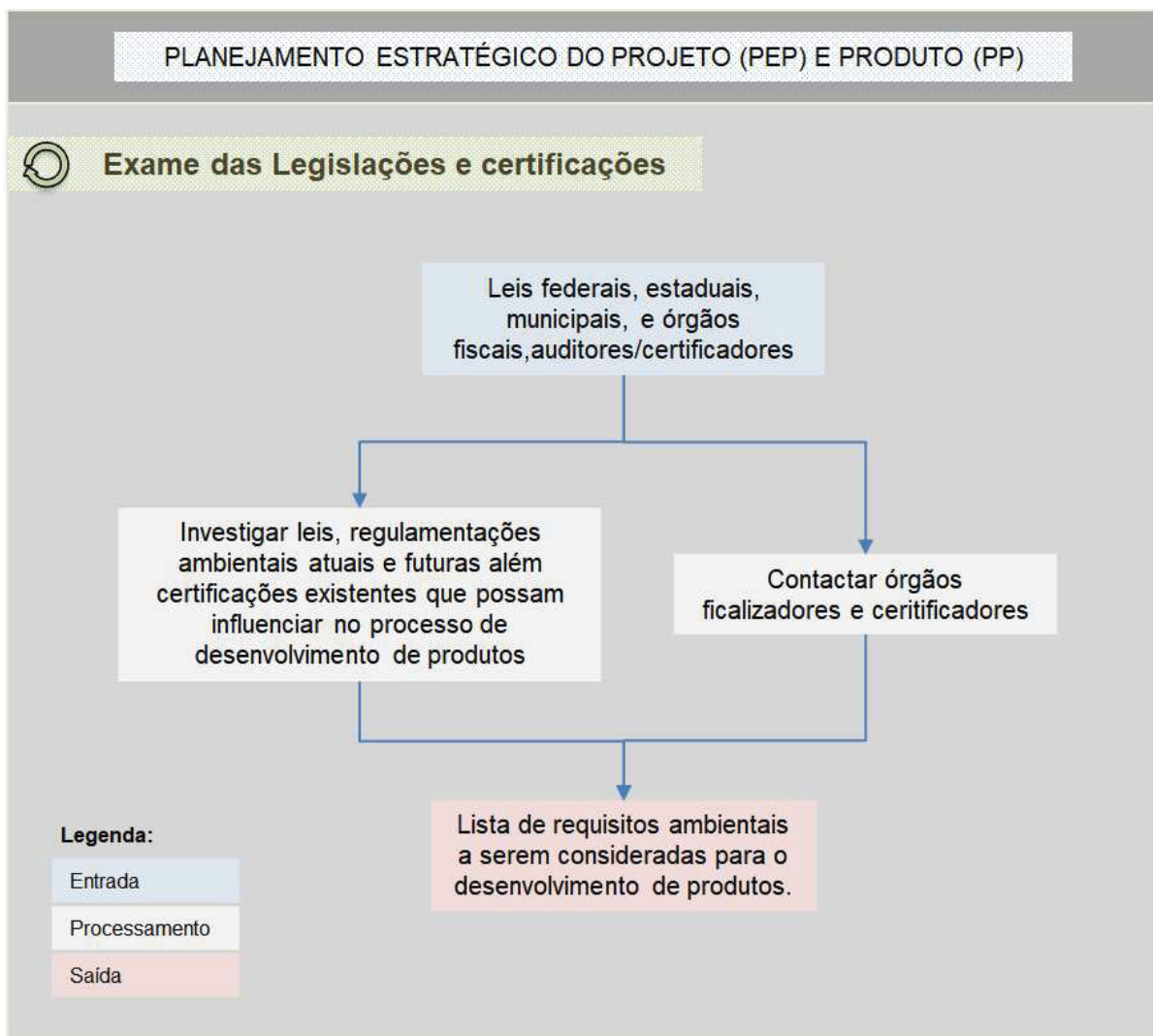
No entanto, essas práticas relacionadas a estratégia de reutilizar provocam mudanças no perfil de consumo e, por esse motivo, precisam ser consideradas ainda nas fases de planejamento (SELVEFORS et al., 2019).

d) *Investigar as leis, regulamentações, políticas e certificações ambientais atuais e futuras*: A importância das regulamentações e legislações ambientais são bastante difundidas da literatura, orientam produtores e consumidores, visam a proteção ambiental durante o ciclo de vida do produto e seu processo, proteção à saúde e segurança dos envolvidos (FIGURA 19) (ABNT, 2004). São constituídas de boas práticas obrigações e deveres para o correto tratamento de resíduos e descarte de produtos.

Nos últimos anos, normas, legislações e políticas voltadas para o desenvolvimento da EC têm sido desenvolvidas. Políticas governamentais têm direcionado o desenvolvimento de normas e práticas que incentivam boas práticas circulares, como a partilha de informações e a reciclagem de resíduos além da adoção de regimes de responsabilidade do produtor (UE, 2020). Por exemplo, em alguns países da Europa, antes da sua comercialização, as empresas precisam declarar a quantidade de embalagens adotadas nos produtos e pagam uma taxa sobre este valor. Desta forma, a legislação incentiva que as empresas repensem suas

embalagens durante o processo de desenvolvimento de seus produtos. (UE, 2020; ABNT, 2004).

FIGURA 19: PRÁTICA CIRCULAR DE EXAME DAS LEGISLAÇÕES E CERTIFICAÇÕES



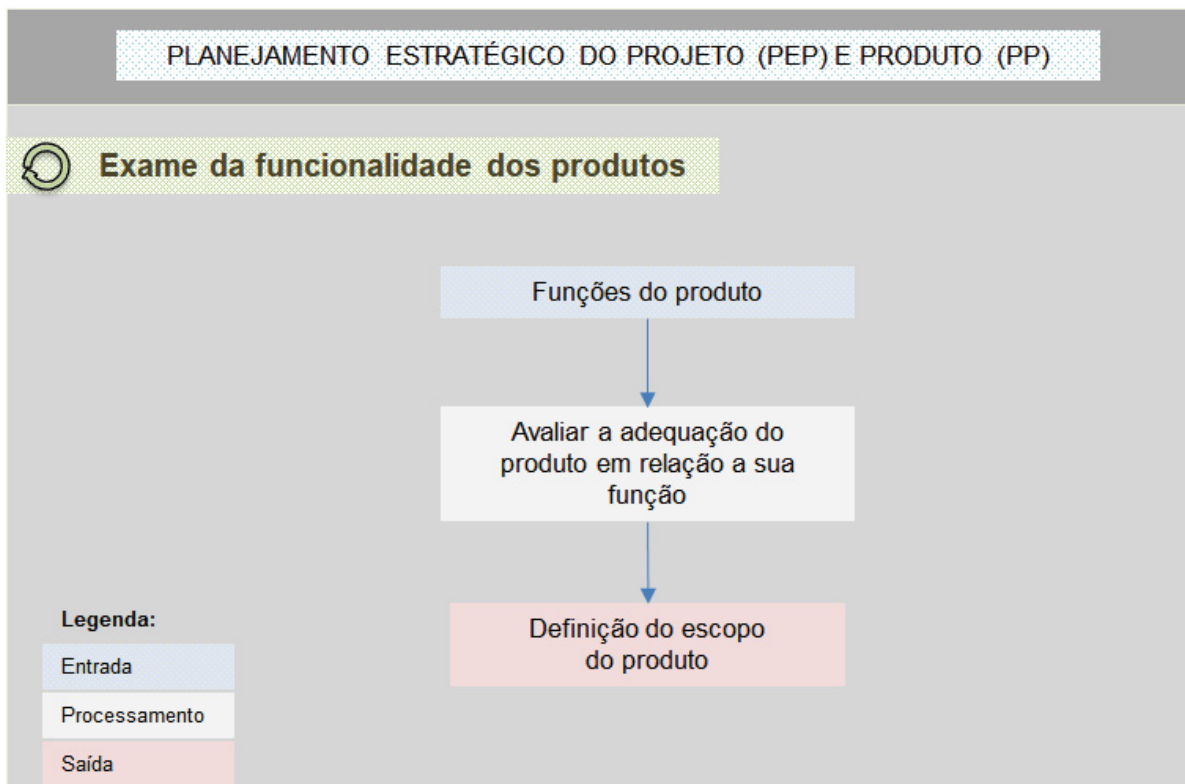
FONTE: O Autor (2022)

e) *Aspectos de funcionalidade para circularidade dos produtos:* Alguns produtos são descartados antes de estarem fisicamente gastos porque o projeto é impróprio ou impede mudanças circunstanciais. É necessário avaliar a adequação do produto em relação a sua função, ou seja, ao que se propõe fazer, sob aspectos de usabilidade, vida útil, aparência e entre outros (FIGURA 20).

Por exemplo, direcionando o projeto para uma estética duradoura ou prevendo diferentes funções de uso podem prolongar sua durabilidade, elevar o nível de circularidade e diminuir o impacto ambiental (ABNT, 2004). Pensar na integração

de funções também ajuda a otimizar e reduzir o número geral de materiais e componentes, que serão desenvolvidos nas fases posteriores de Desenvolvimento.

FIGURA 20: PRÁTICA CIRCULAR DE EXAME DA FUNCIONALIDADE DOS PRODUTOS



Fonte: O Autor (2022)

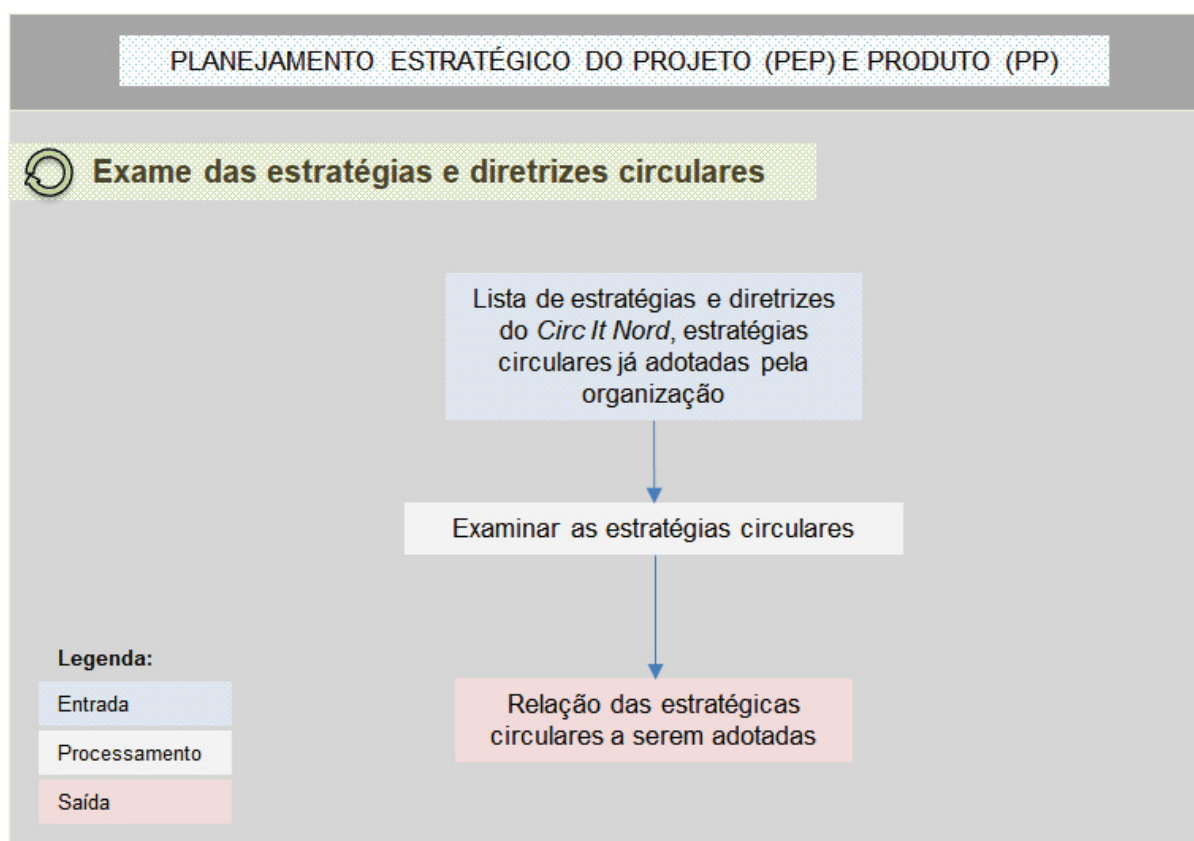
f) Exame das estratégias e diretrizes circulares: Sem perder o foco da função, qualidade e objetivo do produto, é importante empregar, simultaneamente, várias estratégias circulares na concepção do projeto (NORD, 2020). Por exemplo, um produto pode ser concebido para apresentar facilidade na montagem e desmontagem de seus componentes para reparo (estratégia para remanufaturar), assim como seus componentes defeituosos podem ser de alta reciclabilidade (estratégia de reciclar) (NORD, 2020).

É necessário que a equipe envolvida no desenvolvimento do produto se familiarize com as estratégias, diretrizes e os objetivos de circularidade definidos, criando uma compreensão e percepção compartilhada com o objetivo de examinar se todas as estratégias possíveis foram consideradas (FIGURA 21) (SHAHBAZI et al., 2020). Logo, faz-se importante a leitura e exame das principais estratégias e práticas

circulares desde as primeiras etapas do processo de desenvolvimento de produtos (SHAHBAZI et al., 2020).

Com o objetivo de facilitar essa atividade e a partir das definições, objetivos, vantagens e desvantagens de cada estratégia identificada e apresentada no capítulo 2 deste trabalho, uma relação das principais estratégias, diretrizes e práticas circulares, baseado no *Guide Circ It Nord*, para desenvolvimento de projetos e produtos, foi elaborada. O acesso a essa relação é detalhado no apêndice deste trabalho (Apêndice 3), juntamente com o link de acesso para uma plataforma de armazenamento do conteúdo. O acesso à planilha, na forma eletrônica, facilita a leitura e exame das estratégias e práticas circulares (SHAHBAZI et al., 2020).

FIGURA 21: PRÁTICA CIRCULAR DE EXAME DAS ESTRATÉGIAS E DIRETRIZES CIRCULARES



FONTE: O Autor (2022)

g) Identificação de trade-offs (trocas compensatórias): A definição e adoção de estratégias e práticas circulares podem estar sujeitas as *Trade-offs*. Esses, tratam da análise dos impactos de uma escolha em detrimento de outra. Consiste na pré-identificação de trocas compensatórias e contradições que precisam ser consideradas

para tomada de decisão (ABNT, 2004). Por exemplo, aplicar materiais duráveis e estratégia de reutilização, pode afetar a reciclagem e inviabilizar o custo do produto. Desse modo, as estratégias circulares definidas na etapa anterior precisam ser revistas. Também é necessário identificar se o método pode afetar negativamente outros meios ou algum dos requisitos do cliente e mercado (STEENIS et al., 2018). Nesse momento, é analisado se há ou não a existência de *trade-offs*, que poderá ser mensurado nas etapas de detalhamento do produto, durante a macrofase de Desenvolvimento, quando os dados e informações para simulações estarão disponíveis para tomada de decisão (FIGURA 22).

FIGURA 22: PRÁTICA CIRCULAR DE IDENTIFICAÇÃO DE TRADE-OFFS

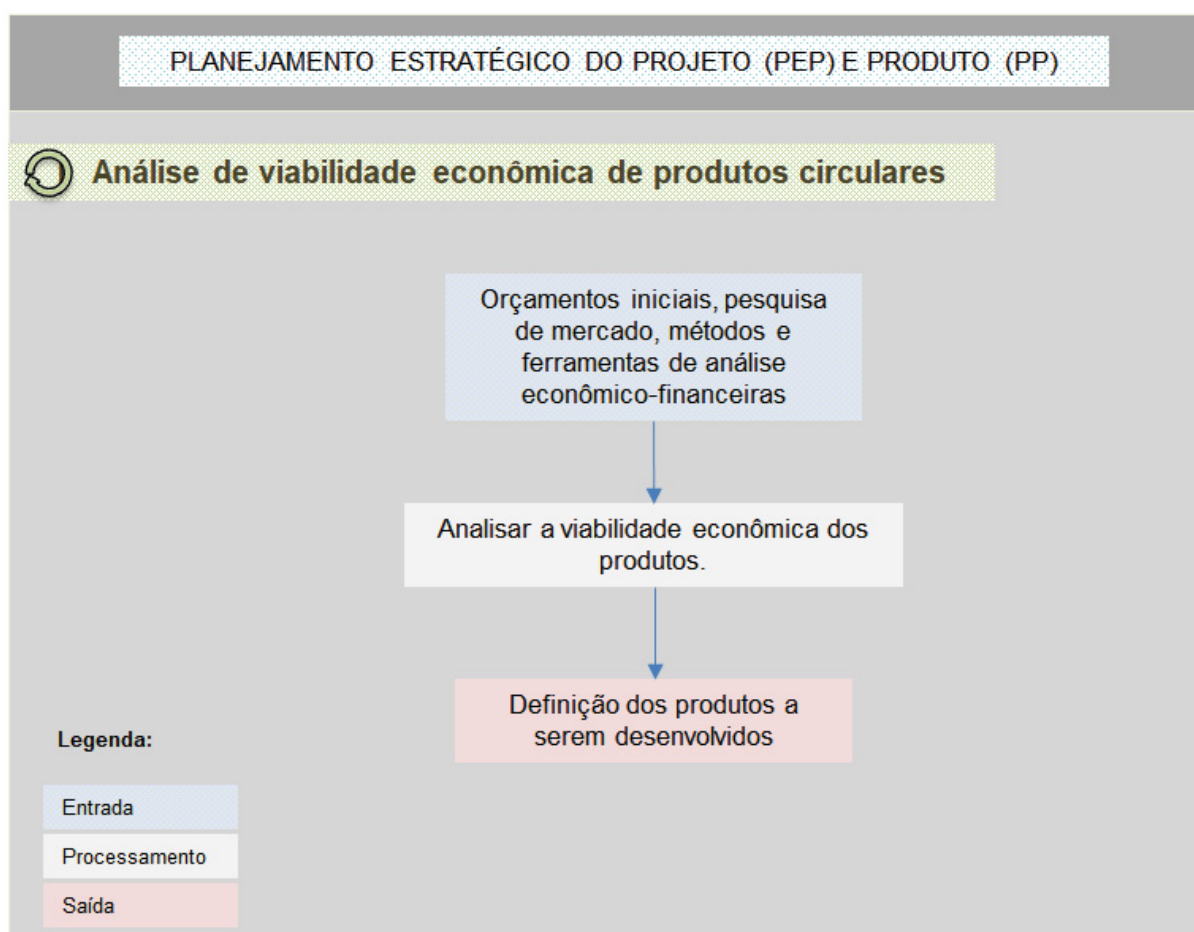


Fonte: O Autor (2022)

h) A análise de viabilidade econômica de produtos circulares: Refere-se ao controle e monitoramento dos custos relacionados ao produto e que definirão seu preço (FIGURA 23). Contribui para a decisão da implantação do portfólio, permitindo que seja analisado a disposição do mercado em adquirir o produto circular, fator considerado de influência sobre a aceitação do produto (STEENIS et al., 2018). Ou

seja, deve-se monitorar os custos do objeto, de maneira que garanta o mesmo orçamento durante todo o processo. O monitoramento inicia nas etapas de planejamento e ocorre em todas as fases. Pode incluir métodos e ferramentas de avaliações técnico-econômicas, dados internos da empresa e pesquisas de mercado, agências de serviço de marketing, pesquisas *surveys* e de profundidades, entre outros.

FIGURA 23: PRÁTICA CIRCULAR DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PRODUTOS CIRCULARES



FONTE: O Autor (2022)

i) Drivers para aumentar a circularidade: Adotar e especificar *drivers* durante o planejamento ajuda a aumentar a circularidade do produto. Inclui discutir e analisar (i) aspectos relacionados ao produto e mercado, como a busca de parcerias de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para a elaboração de materiais sustentáveis, controle sobre vida final do produto, identificar comportamento e motivações de descarte do produto pelos usuários, promover mudanças de comportamento para uma

maior consciência circular; (ii) aspectos gerenciais como a importância da liderança na organização, na qual o líder da empresa valoriza o novo direcionamento estratégico circular, entende seus benefícios e riscos, mas é capaz de estabelecer um entendimento comum do negócio; (iii) aspectos de sustentabilidade, como a motivação econômica e oportunidade de lucro, além dos benefícios ambientais; (iv) entre outros aspectos gerais, como o estímulo a criatividade e melhoria da cultura moral (URBINATI; CHIARONI; TOLETTI, 2019), (NORD, 2020). Papel dos designers, das avaliações ambientais, e demais setores envolvidos, como vendas, suprimentos, marketing, logística e entre outros (DIAS, 2019; LOFTHOUSE; TRIMINGHAM; BHAMRA, 2017).

4.3.2 Práticas circulares para o Projeto Informacional

Etapas 1: Essa fase marca o início da macrofase de Desenvolvimento e tem o objetivo de tratar a transformação de informações, adquiridas nas etapas da macrofase de Pré-desenvolvimento (QUADRO 18).

O PI tem o objetivo de desenvolver um conjunto completo de informações, denominados especificações-meta. Essas especificações, além de orientar a criação de soluções, fornecem a base dos critérios de avaliação e de tomada de decisão, utilizadas nas etapas seguintes. As especificações-meta são valores quantitativos e mensuráveis que o produto projetado deve apresentar, ou seja, precisam atender aos requisitos e necessidades especificadas pelo cliente. Assim, as especificações-meta deverão ter valores e suas respectivas unidades de medidas, que estabeleçam o desempenho requerido.

QUADRO 18: FASES E ETAPAS DO PROJETO INFORMACIONAL (PI)

	Fase	Etapas
DESENVOLVIMENTO	Projeto informacional (PI)	3.1 Analisar o plano do projeto informacional.
		3.2 Revisar e atualizar o escopo do produto.
		3.3 Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes.
		3.4 Identificar os requisitos dos clientes do produto.
		3.5 Definir requisitos do produto.
		3.6 Definir especificações-meta do produto.
		3.7 Monitorar a viabilização econômico-financeira do produto.
		Avaliar fase.
		Aprovar fase.
		3.8 Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas.

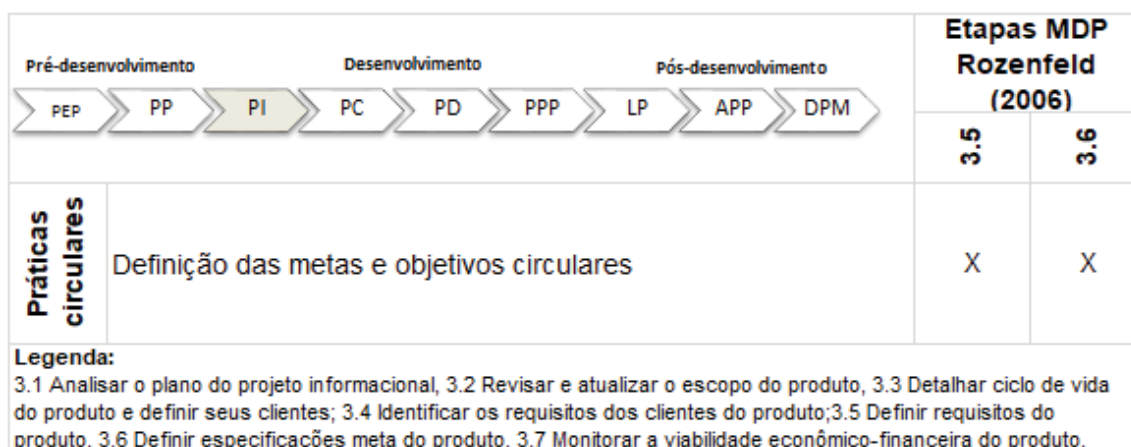
FONTE: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

Nesta etapa, são coletadas e analisadas informações que auxiliarão a equipe a entender e definir bem o problema. São verificadas as metas, objetivos e as restrições associadas ao desenvolvimento do projeto do produto. Isso inclui a procura de tecnologias e métodos de fabricações disponíveis, pesquisa de patentes sobre o produto que vai ser projetado e pesquisa por similares já existentes.

Apresentado as etapas, atividades, escopo e objetivos das fases de PI, as estratégias e práticas circulares propostas serão apresentadas, detalhadamente, na sequência.

Etapa 2: A proposta para integração de cada prática circular na etapa de PI do MDP de referência, proposto por Rozenfeld (2006), é apresentada (FIGURA 24).

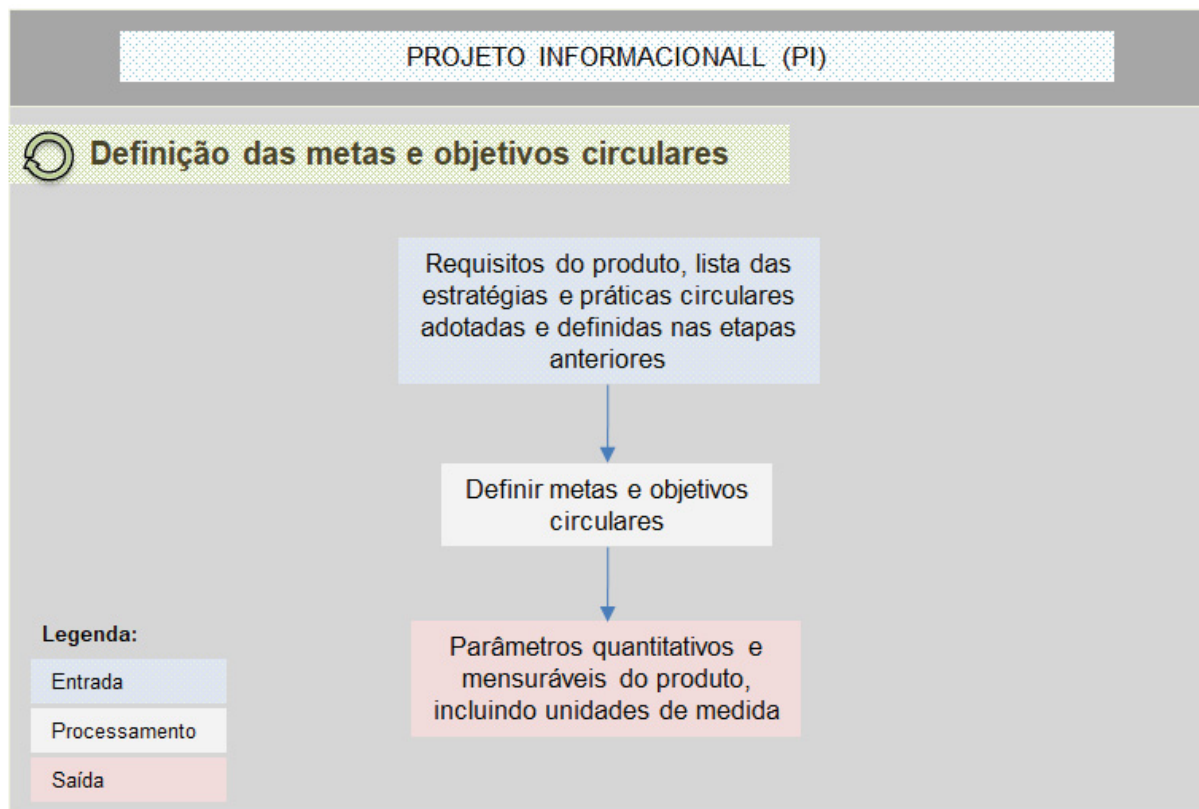
FIGURA 24: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE PROJETO INFORMACIONAL



FONTE: O Autor (2021)

Etapa 3: a) *Definição das metas e objetivos circulares:* Devem ser identificados e relacionados às estratégias adotadas (FIGURA 25) (NORD, 2020). A distribuição das metas de circularidade ocorre nas fases e etapas do modelo de PDP, através dos documentos oficiais da empresa, como instruções de trabalho e procedimentos. Caso as metas sugeridas nessa atividade não sejam viáveis, devem ser registradas e documentadas para uma futura consulta (SHAHBAZI et al., 2020).

FIGURA 25: PRÁTICA CIRCULAR DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PRODUTOS CIRCULARES



Fonte: O Autor (2021)

4.3.3 Práticas circulares para o Projeto Conceitual (PC)

Etapa 1: A fase de Planejamento Conceitual (PC), pertencente à macrofase de Desenvolvimento, é apresentada no QUADRO 19.

A fase do PC refere-se à criação e representação de possíveis soluções a partir do correto entendimento da função e problema, identificados nas etapas anteriores ao desenvolvimento. As alternativas para a solução podem partir de produtos e tecnologias já existentes no mercado, na própria empresa desenvolvedora do produto, assim como em bancos de dados de patentes, livros, artigos e benchmarking.

Neste momento, o processo de criação das soluções é livre, apoiam-se na criatividade, foco no problema, necessidades e requisitos previamente identificados. A maior preocupação é com o “que” será desenvolvido, do que “como será feito”.

QUADRO 19: FASES E ETAPAS DO PROJETO CONCEITUAL

DESENVOLVIMENTO	Fase	Etapa
	Projeto Conceitual (PC)	4.1 Atualizar o plano do projeto conceitual.
		4.2 Modelar funcionalmente o produto.
		4.2.3 Desenvolver princípios de soluções para as funções.
		4.3 Desenvolver as alternativas de solução para o produto.
		4.4 Definir arquitetura para o produto.
		4.5 Analisar sistemas, subsistemas e componentes (SSC).
		4.6 Definir ergonomia e estética.
		4.7 Definir fornecedores e parcerias de co-desenvolvimento.
		4.8 Selecionar a concepção do produto.
		4.9 Planejar o processo de manufatura macro/definir plano macro de processo.
		4.9.1 Atualizar estudo de viabilidade econômica.
		4.10 Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto.
		4.11. Avaliar fase.
		4.12 Aprovar fase.
		4.13 Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas.

Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

Para cada função, são geradas alternativas de arquiteturas de produtos contendo sistemas e componentes. Essas arquiteturas são melhores desenvolvidas formando concepções de projetos que, por sua vez, serão avaliadas por atender às especificações-metas, estabelecidas no PI e a outros critérios definidos.

Cada alternativa poderá ser composta de diferentes partes, sistemas, subsistemas e componentes (SSCS). Cada parte deve atender uma função específica dentro da arquitetura final. Para tal, é sugerido o uso da matriz morfológica que auxiliará na análise da melhor configuração.

A representação da solução final é alcançada através de desenhos, croquis e esquemas manuais ou com o auxílio de softwares computacionais. Nesta atividade, o conceito do produto sofre vários desdobramentos a níveis SSC e de processos de fabricação. É criada uma breve descrição das tecnologias, dos princípios, formas e de como o produto pretende atender as necessidades e requisitos levantados. Pode gerar, ainda, uma lista de materiais, ou do inglês, *Bill of Materials* (BOM), e as especificações iniciais.

Depois de apresentada as etapas, atividades, escopo e objetivos das fases de PC, em seguida, é exibida as estratégias e práticas circulares.

Etapa 2: A proposta para integração de cada prática circular na etapa de PC do MDP de referência de Rozenfeld (2006) é apresentada na FIGURA 26.

FIGURA 26: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE PROJETO CONCEITUAL (PC)

Pré-desenvolvimentoDesenvolvimentoPós-desenvolvimento PEP PP PI PC PD PPP LP APP DPM									Etapas MDP Rozenfeld (2006)			
									4.2	4.3	4.5	4.9
Práticas circulares	Avaliação de circularidade.										X	
	Avaliação do ciclo de vida (ACV).										X	
	Consulta a banco de dados de materiais e estratégias circulares baseados na Biominética.								X	X		
	Projetar para Reutilização.								X	X		
	Projetar para Reciclagem								X	X		
	Utilizar materiais biodegradáveis e compostáveis, além de recursos provenientes de fonte de energia renovável.								X	X		
	Definir processos sustentáveis.											X
	Projetar para remanufaturar, Reparar/manter, reutilizar e recondicionar									X		
Legendas:												
4.2 Modelar funcionalmente o produto; 4.3 Desenvolver as alternativas de solução para o produto; 4.5 Analisar sistemas, subsistemas e componentes (SSC); 4.9 Planejar o processo de manufatura macro/definir plano macro de processo												

Fonte: O Autor (2022)

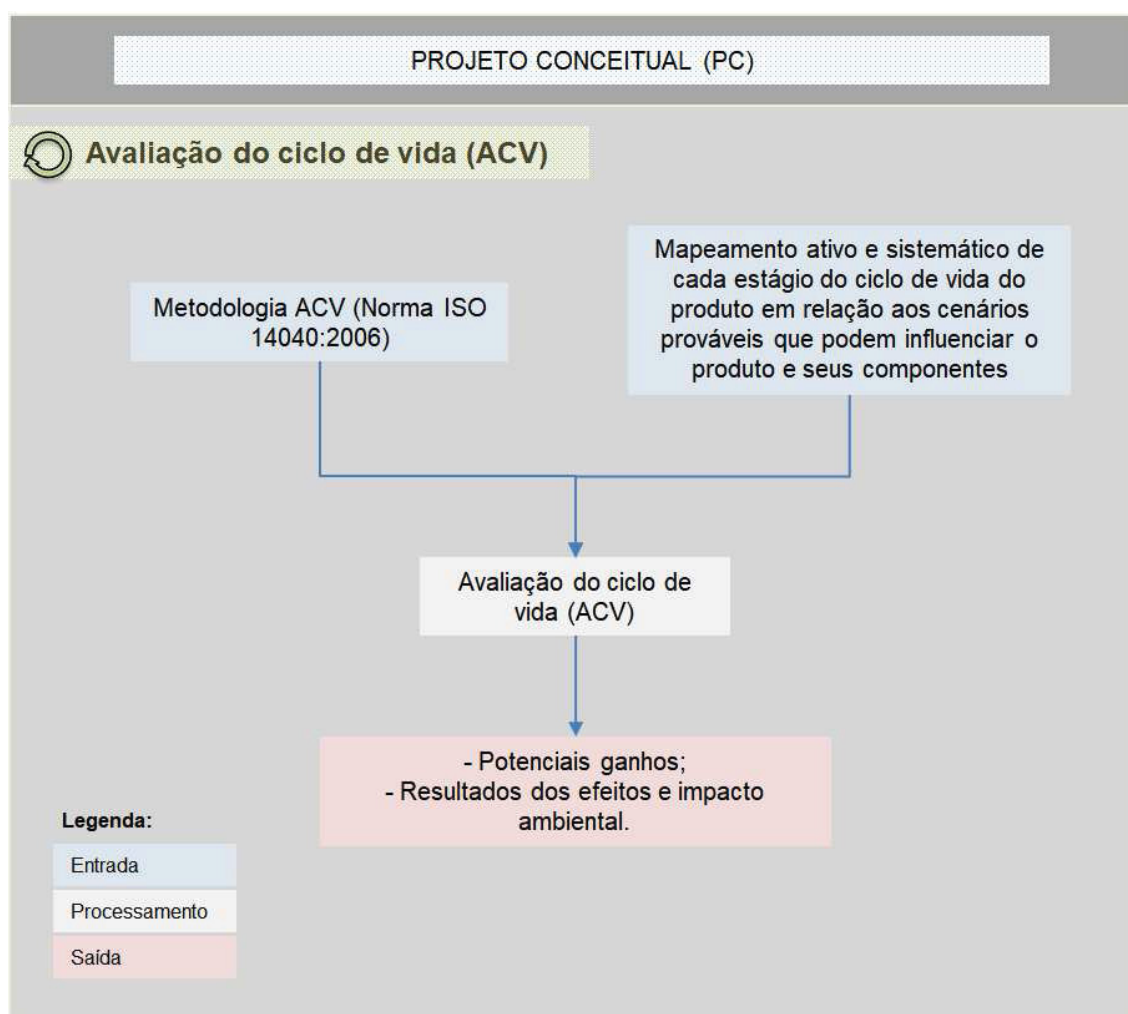
Etapas 3: a) *Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e de Indicadores de Circularidade:* Amplamente abordados na literatura, o uso de ferramentas de avaliações técnico-econômicas, de circularidade e análise de ciclo de vida, oferecem uma comparação ambiental, suporte à tomada de decisão e auxiliam no gerenciamento de informações do ciclo de vida. (ACERBI; TAISCH, 2020); (ALBÆK et al., 2020); (LONGO et al., 2021); (POLVERINI; MIRETTI, 2019) (TALENS PEIRÓ et al., 2020); (RIO et al., 2020); (SCHULZ et al., 2021); (SHOAIB-UL-HASAN et al., 2021); (VIMAL; KANDASAMY; GITE, 2021); (WAGNER; BOLOGNA PAVLIK, 2020). A junção da ACV e dos indicadores de circularidade, podem apresentar uma análise importante, pois a ACV proporciona uma abordagem mais ampla, considerando os impactos na Saúde Humana e na Qualidade do Ecossistema, enquanto o indicador de circularidade pode contribuir com melhorias na utilização de recursos em uma escala menor de processo e produto (LONCA et al., 2018; MARIANO et al., 2022).

A ACV é uma tradução dos impactos ambientais causados pelas fases do ciclo de vida de um produto ou serviço num número limitado de pontuações (Huijbregts et al. 2017). Inclui o mapeamento ativo e sistemático de cada estágio do ciclo de vida do produto em relação aos cenários que podem ser influenciados pelo produto, seus componentes e materiais durante sua vida útil. Identifica potenciais ganhos, efeitos

ambientais e aspectos de circularidade já implementados (FIGURA 27) (SHAHBAZI et al., 2020).

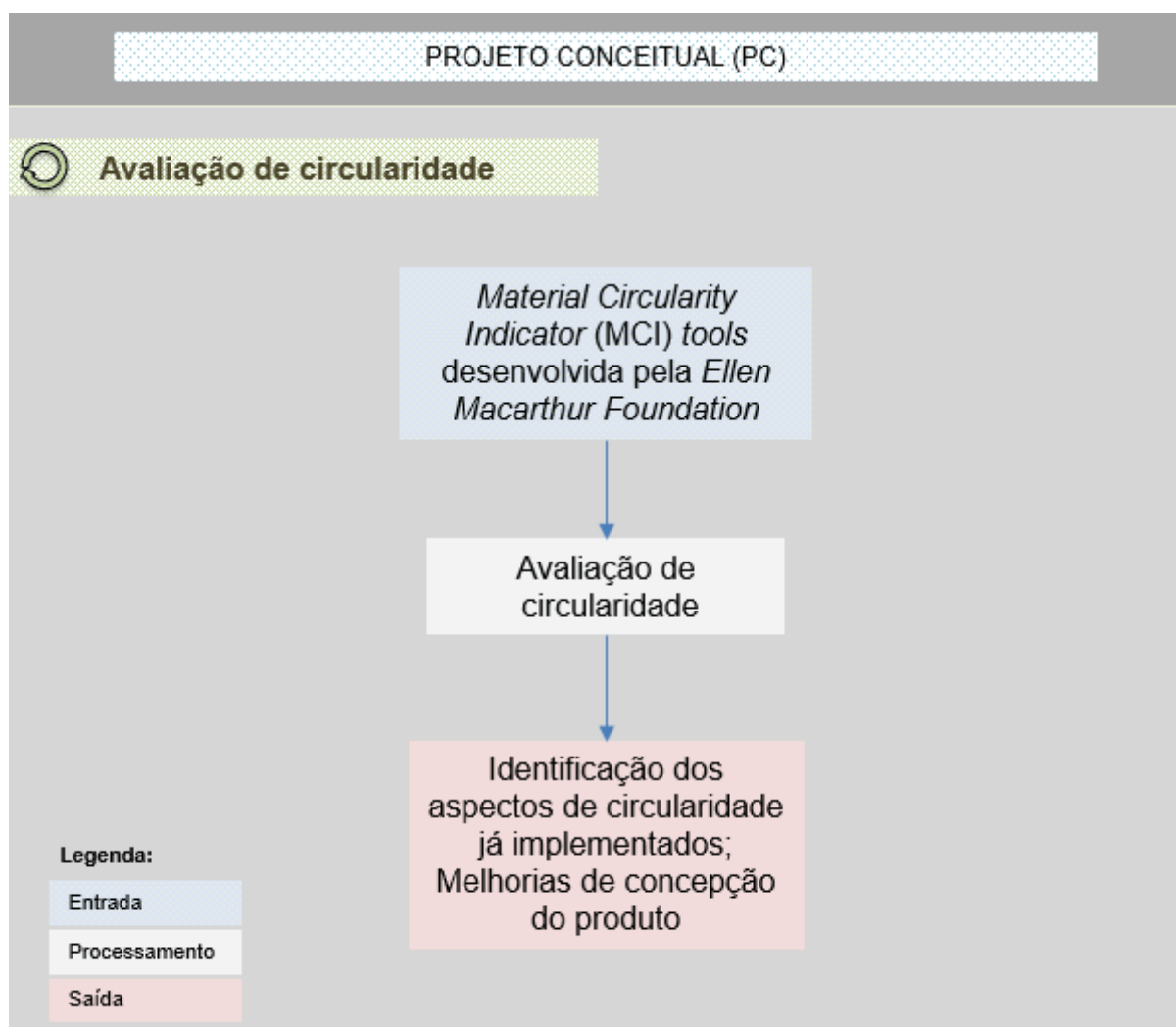
O Indicador de Circularidade de Material (ICM), ou do inglês, *Material Circularity Indicator* (MCI), ajuda as empresas a melhorar a concepção dos seus produtos e a aquisição de materiais (FIGURA 28). A ferramenta considera a quantidade de matéria-prima reciclada adicionada à matéria-prima virgem (material reciclado), à taxa de material/produto enviado para reciclagem (Taxas de Recolha de Reciclagem), à variável ϵ , que representa a eficiência do processo de reciclagem (Eficiência do Processo de Reciclagem), à vida útil do produto (Tempo de Vida Útil e Unidades Funcionais), ao quanto que o produto pode ser compartilhado durante a sua utilização (Modelos de Negócio de Consumo Partilhado) e aos consumíveis relacionados com o produto (Consumíveis Relacionados com um Produto) (MARIANO et al., 2022)

FIGURA 27: PRÁTICA CIRCULAR DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)



FONTE: O Autor (2021)

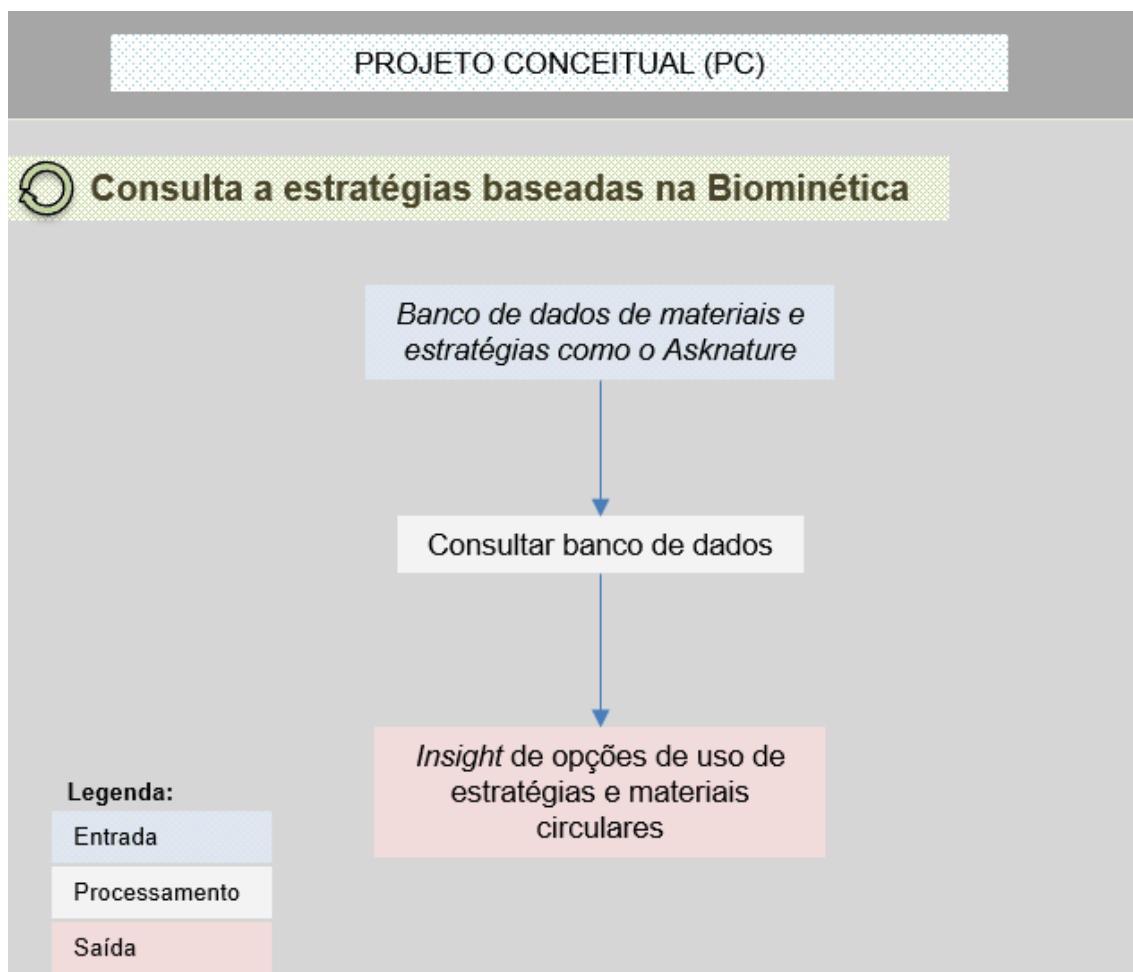
FIGURA 28: PRÁTICA CIRCULAR DE AVALIAÇÃO DE CIRCULARIDADE



FONTE: O Autor (2022)

b) Consultar banco de materiais e estratégias circulares baseadas na Biominética: Baseadas em pesquisas científicas sobre arquitetura dos processos e ecossistemas naturais, as estratégias da Biominética podem contribuir para desenvolvimento de novas alternativas de conceitos e uso de materiais circulares (FIGURA 29) (ASKNATURE, 2022).

FIGURA 29: PRÁTICA CIRCULAR DE CONSULTA A BANCO DE DADOS DE ESTRATÉGIAS E MATERIAIS CIRCULARES



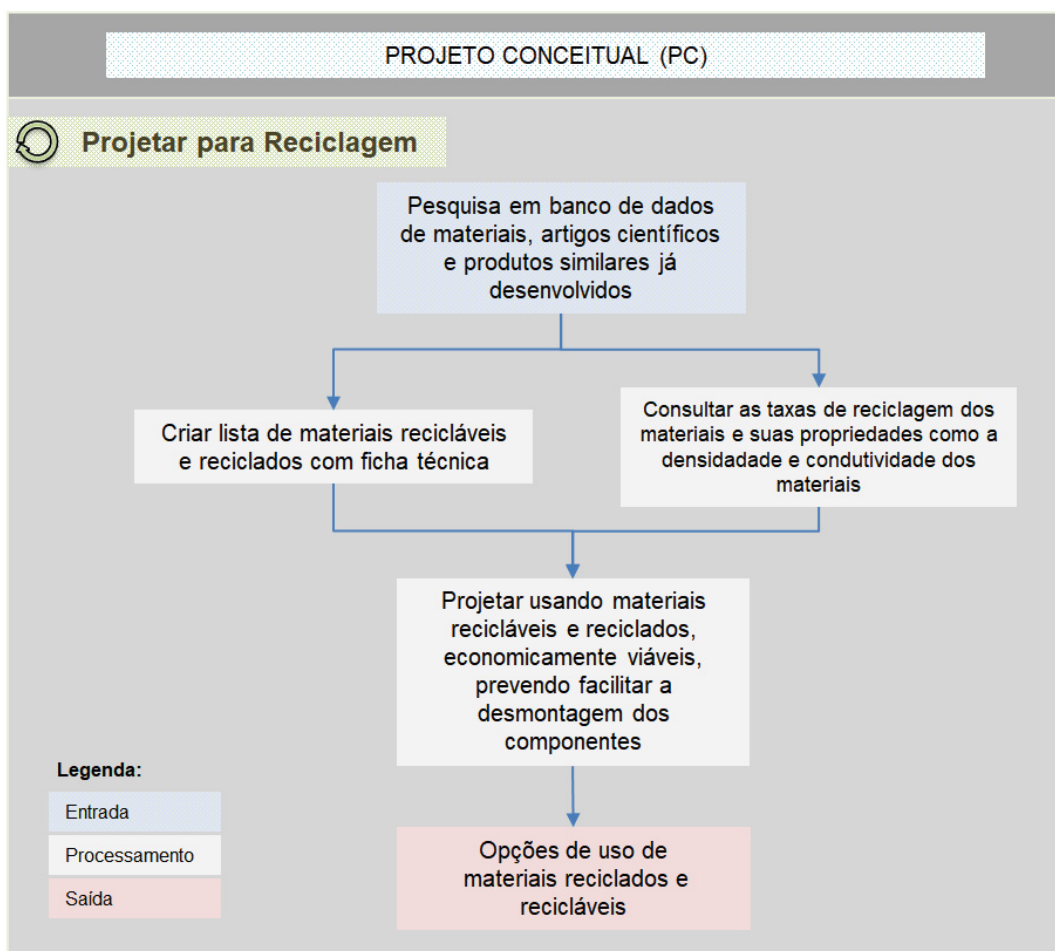
FONTE: O Autor (2022)

c) *Projetar para reutilização*: Considera o produto e os componentes fáceis de limpar e prevê atividades de suportes durante o uso do produto. A estratégia de reutilizar antecede outras como remanufaturar, reparar/manter, recondicionar, reciclar, recuperar, atualizar, assim como compartilhar práticas como o uso de componentes e materiais duráveis e robustos.

d) *Projetar para reciclagem*: Refere-se à adoção de práticas de reprocessamento (FIGURA 30). Alguns exemplos são a seleção de materiais recicláveis e secundários (reciclados); materiais de embalagem que sejam fáceis de reciclar; considerando sua taxa de reciclagem, utilizar materiais economicamente recicláveis; prever embalagens em que seja necessário apenas um processo de reciclagem, evitando materiais compostos e incompatíveis, ou seja, evitar a mistura de materiais para que, assim, aumente a homogeneidade; utilizar materiais de fácil separação; utilizar materiais de embalagens que já possuam tecnologia e mercado de

reciclagem e que utilize tecnologias de reciclagem mais eficientes; avaliar a toxicidade e demais aspectos ambientais dos materiais, projetar para modularização, facilitando a separação e desmontagem do produto de forma não destrutiva, identificar os materiais e informações relevantes além de fornecer manuais e documentações.

FIGURA 30: PRÁTICA CIRCULAR DE RECICLAGEM



FONTE: O Autor (2022)

A análise de propriedades físicas, como densidade e a condutividade, permite classificar os materiais, facilitando, assim, sua separação e processo de reciclagem.

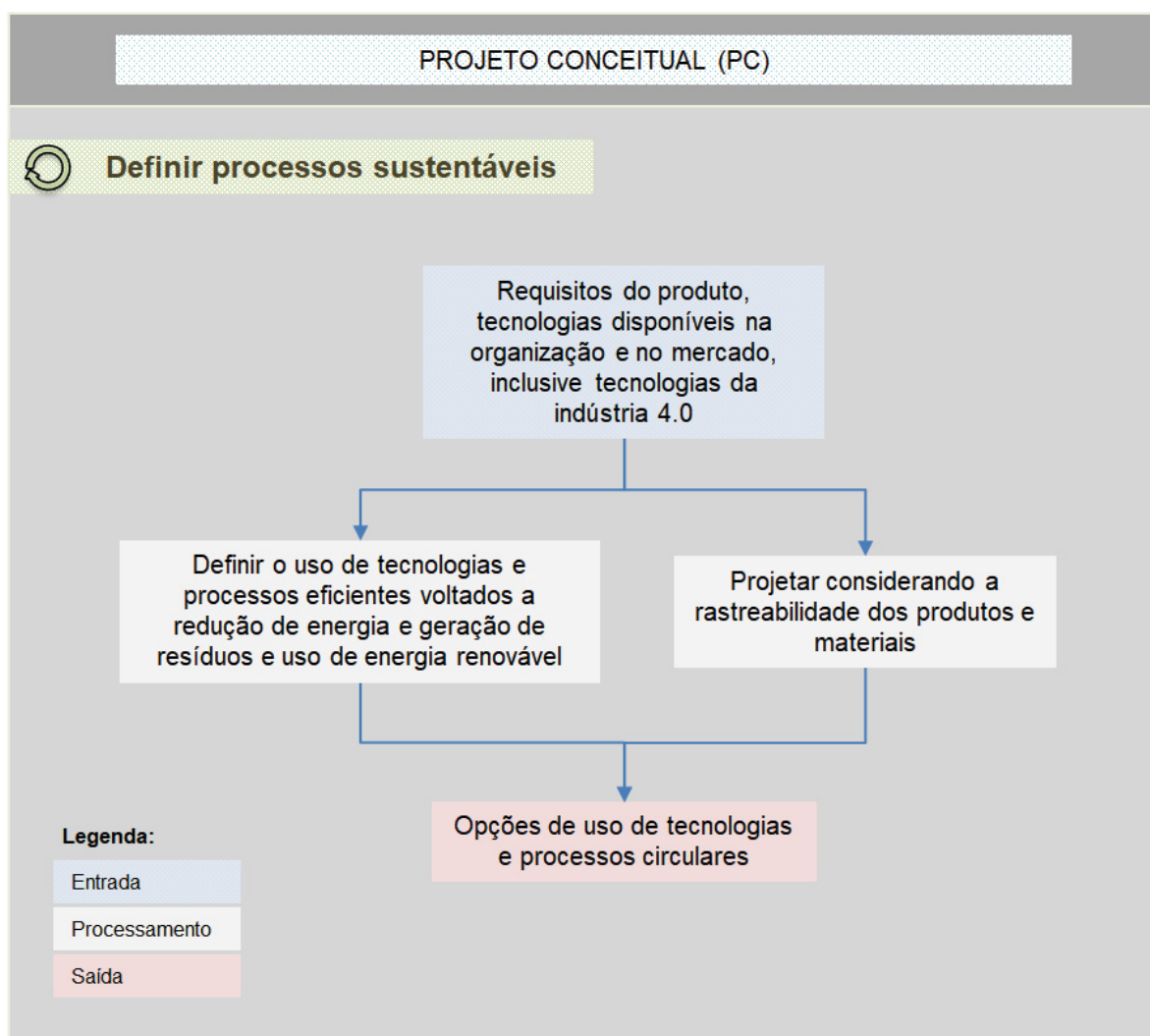
Bases de materiais recicláveis, incluindo relações de compatibilidade e densidade, como o plástico, por exemplo, podem ser consultadas em <<http://eco3e.eu/base/plastics/?lang=en>> (ECO-3E-UE, 2016).

e) Definir processos sustentáveis: Devem-se definir os processos utilizando tecnologias eficientes (FIGURA 31). A utilização da eficiência dos sistemas de sensoriamento e automação, utilizado nos processos de empacotamento/embalagem

e na logística interna, ajuda a reduzir a quantidade de plástico no desenvolvimento dos produtos.

As tecnologias da indústria 4.0, como a Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas, ou, do inglês, *Internet of Things* (IoT), *Big Data* e Virtualização, podem servir de apoio para a otimização e eficiência da operação, além de auxiliar nas orientações e no correto uso dos produtos, propiciar a manutenção preventiva para entender quais e quando os componentes irão falhar. Desta forma, permite que estratégias de reparo e manutenção possam ser adotadas e planejadas com efeito mínimo no desempenho do produto. Os benefícios da adoção destas tecnologias para aumentar a circularidade já foram abordados na literatura (ALCAYAGA; WIENER; HANSEN, 2019); (FAVI et al., 2020); (GHOREISHI; HAPPONEN, 2020); (LEKAN; CLINTON; JAMES, 2021).

FIGURA 31: PRÁTICA DE DEFINIR PROCESSOS SUSTENTÁVEIS



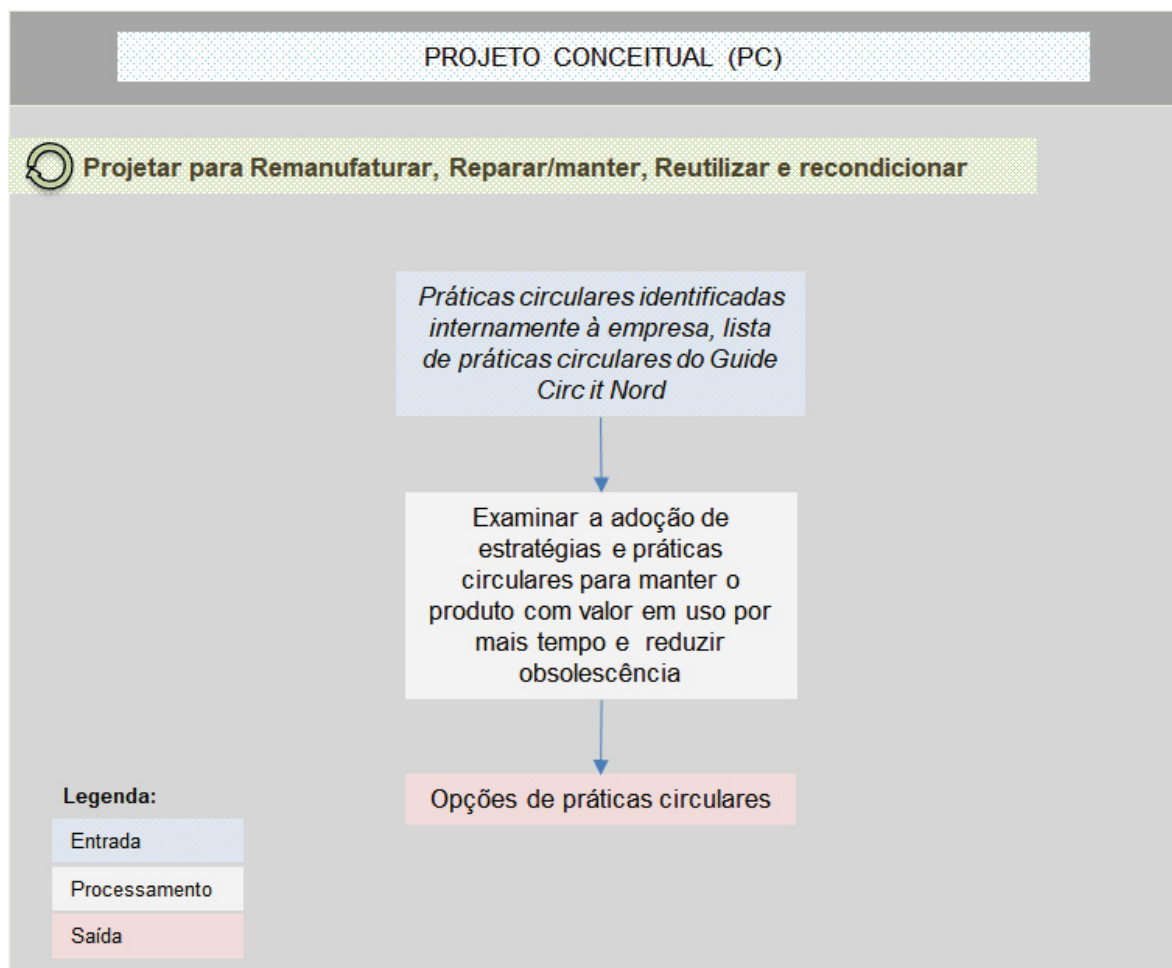
FONTE: O Autor (2022)

Outro exemplo é a adoção de sistemas de identificação do produto e SSCs, como radio frequency identification (RFID), código de barras, tags ou códigos *Quick Response* (QR), que mantem a rastreabilidade do produto, não só durante o processo de produção, como nas etapas de uso e destinação.

Deve-se projetar e definir processos para redução do consumo de energia, recursos naturais, emissões de poluentes e geração de resíduos. Quando os resíduos não puderem ser totalmente eliminados, deve-se adotar a estratégia de cascadear, como por exemplo, a prática da simbiose industrial, na qual os resíduos são reaproveitados como recursos, ou, ainda, adotar estratégias de reciclar e recuperar.

f) Projetar para estratégias de remanufaturar, reparar/manter e recondicionar: Objetiva colocar produtos, sistemas e componentes em condições de igual, ou melhor, operação em relação aos novos e originais, também reduz a obsolescência, facilitam atividades de desmontagem e limpeza, remontagem e testes (FIGURA 32). Para tal, devem-se adotar as seguintes práticas: (i) Projetar componentes e ferramentas padronizados, em diferentes produtos e modelos; (ii) utilizar juntas e conectores que possam ser facilmente abertos e fechados; (iii) projetar componentes e peças sobressalentes disponíveis e fáceis de encontrar no mercado; (iv) Facilitar a inspeção do produto e do componente; (v) prever peças e componentes intercambiáveis e facilmente disponíveis, pensar sobre estruturas e atividades de suportes durante operação e manutenção, incluindo instruções de desmontagem, limpeza, separação de componentes e montagem, (vi) pensar na robustez e a resistência ao desgaste das peças e juntas do produto que previnem quebras durante a montagem e desmontagem; (vii) adicionar indicações que mostram o nível do desgaste, por exemplo, muitos pneus têm uma borracha padrão que torna possível monitorar o seu desgaste; (viii) os componentes que não forem reutilizados, remanufaturados, reparados ou reconicionados devem seguir para reciclagem e, por fim; (ix) nenhuma condição crítica de segurança à saúde humana ou ao meio ambiente deve aparecer durante atividades de desmontagem e manutenção.

FIGURA 32: PRÁTICA DE PROJETAR PARA REMANUFATURAR, REPARAR/MANTER, REUTILIZAR E RECONDICIONAR.



FONTE: O Autor (2022)

g) Outros aspectos circulares: Devem-se preferir simulações computacionais e *mock-ups* digitais à produção de protótipos e *mock-ups* físicos.

4.3.4 Práticas circulares para o Projeto Detalhado (PD)

Etapa 1: A fase de Planejamento Detalhado (PD), pertencente à macrofase Desenvolvimento, é apresentada (QUADRO 20). Nessa fase do desenvolvimento, todas as especificações do produto são finalizadas, incluindo seus sistemas, subsistemas e componentes (SSCs). Essas especificações seguirão para outras áreas envolvidas no desenvolvimento, como Manufatura e Suprimentos.

QUADRO 20: FASES E ETAPAS PROJETO DETALHADO

DESENVOLVIMENTO	Fase	Etapa
	Projeto Detalhado (PD)	5.1 Atualizar o plano do projeto detalhado.
		5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração.
		5.3 Decidir fazer ou comprar SSC.
		5.4 Desenvolver fornecedores.
		5.5 Planejar o processo de fabricação e montagem.
		5.6 Planejar recursos de fabricação.
		5.7 Avaliar SSC, configuração e documentação do produto e processo.
		5.8 Otimizar produto e processo.
		5.9 Criar material de suporte do produto.
		5.10 Projetar embalagem.
		5.11 Planejar fim de vida do produto.
		5.12 Testar e homologar o produto.
		5.13 Enviar documentação do produto aos parceiros.
		5.14 Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto.
		5.15 Avaliar fase.
		5.16 Aprovar fase.
		5.17 Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas.

FONTE: Adptado de Rozenfeld et al. (2006)

Na fase anterior de PC, foram identificados os SSCs, e na fase de PD eles serão detalhados. Essa fase inclui atividades de criar, reutilizar, calcular, desenhar, especificar tolerâncias, integrar SSCs, finalizar desenhos e documentos (codificá-los e cadastrá-los no sistema utilizado pela empresa).

Também, toma-se a decisão de terceirizar ou não o produto e seus SSCs. Dependendo do nível de complexidade e novidade do produto, o desenvolvimento de fornecedores pode ser iniciado nas fases de planejamento e estendido até ao PD. Para produtos com menor grau de novidade, ou seja, quando a tecnologia, produtos e cadeia de suprimentos são conhecidos, a decisão pode ocorrer, também, nesta fase.

A definição dos processos de fabricação e planos detalhados de montagem pode ocorrer na fase de Projeto Conceitual, no entanto, as especificações e documentações finais são desenvolvidas em Projeto Detalhado. As especificações de recursos para a fabricação, incluem máquinas, equipamentos, ferramentais, sequência de operações, tempo, pessoal e habilidades, dispositivos de fixação, inspeção e controle da qualidade, cálculo dos parâmetros e descrição de instruções de trabalho, ilustração das operações e, até, dependendo o nível de novidade do produto, a infraestrutura para novas instalações. Além disso, a fase de PD inclui o desenvolvimento de material de suporte do produto como o manual de operação,

treinamento e descontinuidade, integrando a previsão das estratégias e práticas circulares já adotadas e as que ainda serão.

Apresentado as etapas, atividades, escopo e objetivos das fases de Projeto Detalhado, as estratégias e práticas circulares propostas são apresentadas detalhadamente na sequência.

Etapas 2: A proposta para integração de cada prática circular na etapa de PD do MDP de referência, proposto por Rozenfeld (2006), é apresentada (FIGURA 33).

FIGURA 33: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE PROJETO DETALHADO (PD)

Pré-desenvolvimento										Desenvolvimento										Pós-desenvolvimento										Etapas MDP Rozenfeld (2006)																																																														
PEP										PP										PI										PC										PD										PPP										LP										APP										DPM										5.2	5.9	5.12
Práticas circulares	Use componentes e materiais duráveis e robustos																														X																																																													
	Utilizar materiais biodegradáveis e compostáveis, além de recursos provenientes de fonte de energia renovável.																														X																																																													
	Desenvolver manuais e documentações.																															X																																																												
	Testar e homologar o produto																																X																																																											

Legenda:

5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração,5.9 Criar material de suporte do produto,5.12 Testar e homologar produto

FONTE: O Autor (2022)

Etapas 3: a) *Especificar materiais circulares (biodegradáveis, compostáveis e recursos provenientes de fonte de energia renovável):* Considera novos materiais com o objetivo de adoção de compósitos naturais, biodegradáveis de total e rápida decomposição, além do uso de resíduos identificados como recursos, materiais recicláveis, reciclados e provenientes de fontes de energia renovável) (FIGURA 34) (ALBÆK et al., 2020; EMF, 2015; OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2018; SHAHBAZI; JÖNBRINK, 2020). Deve-se eliminar o uso de materiais escassos, tóxicos e perigosos para as pessoas e o meio ambiente, assim como, avaliar outros aspectos ambientais dos materiais. Depois, consulta-se as restrições de materiais e substâncias perigosas para produtos manufaturados, como as contidas no regulamento europeu

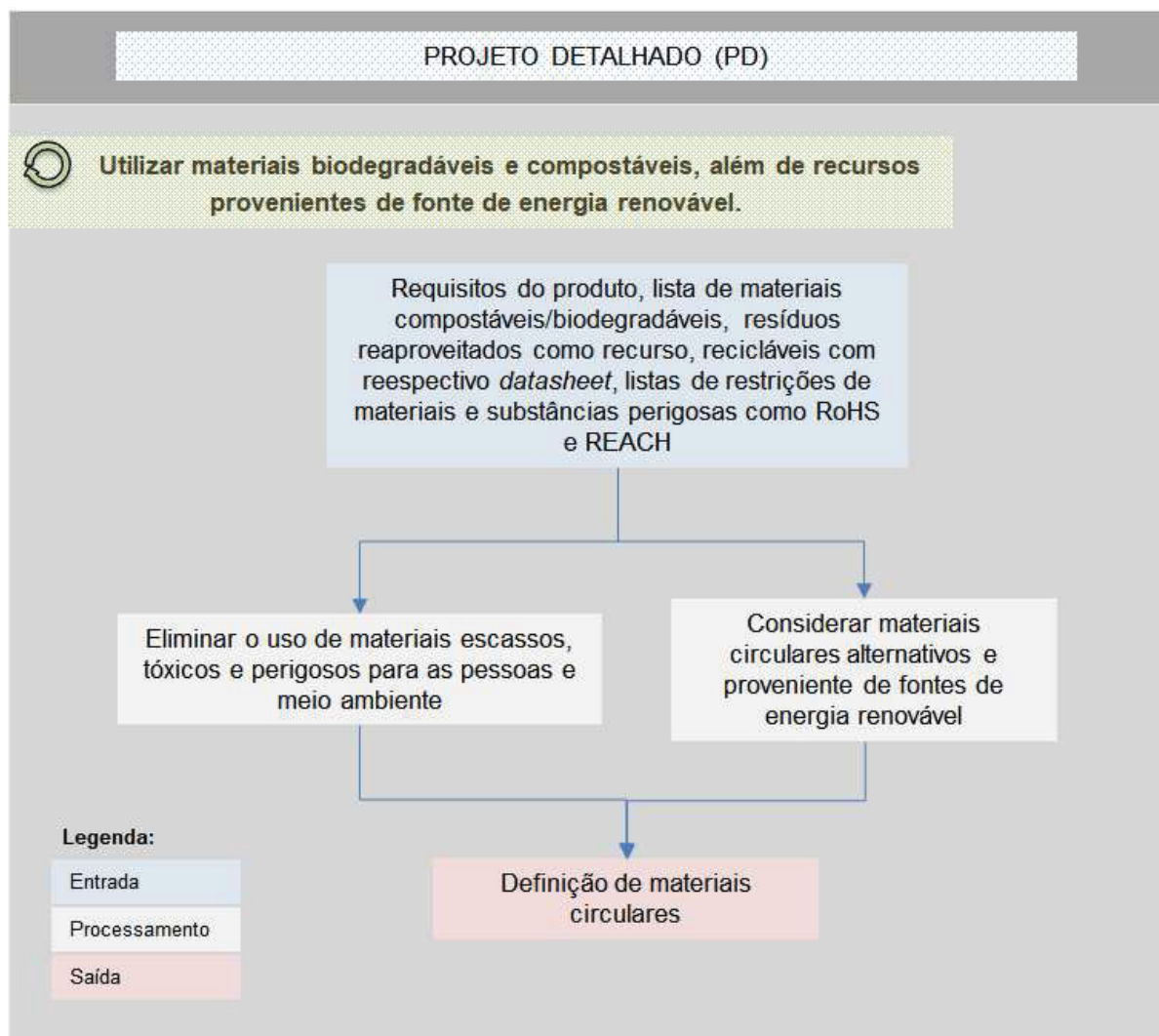
Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Reach) e *Restriction of Certain Hazardous Substances* (RoHS), desenvolvidos pela União Europeia.

Quando materiais tóxicos não puderem ser evitados, deve-se identificar e prever informações sobre o conteúdo de materiais químicos e outros dados relevantes que facilitem sua separação e o tratamento correto (SHAHBAZI; JÖNBRINK, 2020; UE, 2020b). No entanto, é necessário evitar o uso de recursos e materiais adicionais para esta identificação. Por exemplo, para a identificação de materiais de embalagens produzidas a partir de polímeros, pode ser utilizado o processo de gravação a laser.

Explorar outras maneiras de uso de recursos que apresentam baixo valor para a economia, como o vidro, por exemplo, ajuda a manter materiais com alto valor por mais tempo, um dos pilares da EC (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021). O Vidro possui um valor de reciclagem bem inferior, quando comparados com outros materiais reciclados, como o Politereftalato de Etileno (PET). O motivo da desvalorização se deve às dificuldades de armazenamento, transporte e a disponibilidade de tecnologias de reciclagens (FLOOD et al., 2020).

Essas práticas permitem a recuperação de ecossistemas, eliminam resíduos e reduzem o consumo de recursos naturais não renováveis, como os combustíveis fósseis (SAUERWEIN et al., 2019; UE, 2020b). O desenvolvimento de produtos com materiais sustentáveis facilita a reciclagem e ajuda a reduzir as dificuldades nas atividades de gerenciamento de resíduos (CZARNECKA-KOMOROWSKA; WISZUMIRSKA, 2020). As práticas foram amplamente abordadas na literatura (CZARNECKA-KOMOROWSKA; WISZUMIRSKA, 2020; FLOOD et al., 2020; PAIANO et al., 2021; STEENIS et al., 2018).

FIGURA 34: PRÁTICA DE UTILIZAR RECURSOS CIRCULARES E FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL



FONTE: O Autor (2022)

b) Outras práticas para especificação de materiais: Evitar o uso de materiais diferentes e incompatíveis, ou seja, deve-se evitar utilizar materiais compostos ou a mistura destes materiais. Quanto menos misturas o material tiver, melhor será para reaproveita-lo facilitando estratégias de cascadear e reciclar, por exemplo. Quando não for possível, a identificação dos materiais faz-se necessária.

Deve-se optar por utilizar materiais de qualidade, que propiciem robustez, durabilidade e uma vida útil longa. Evitando, assim, que os materiais se desgastem facilmente, tornando-os frágeis, desbotados ou descoloridos.

No entanto, devem-se evitar materiais de alta qualidade, como alumínio e PVC, quando não houver necessidade. Os materiais devem ser especificados conforme sua função, requisitos de aplicação e extensão de vida útil, de forma

programada e evitando superdimensionamentos desnecessários. Em outras palavras, deve-se considerar a otimização da qualidade, adequando-a a um nível em que seja suficiente para cumprir sua função. Assim, é possível especificar o material com qualidade adequada à função e aplicação.

c) Outras práticas circulares para o desenvolvimento de embalagens: Evitar o uso de revestimentos superficiais e pinturas, reduzir o consumo de material na embalagem, como sobreembalagens, quantidade de massa e adotando sistemas reutilizáveis alternativos em que os bens de consumo do ciclo técnico e biológico possam ser manuseados com segurança sem a embalagem. E quando as embalagens forem necessárias, em vez de embalar produtos para fins de marca, utilizar produtos de alta qualidade e eliminar os resíduos de embalagens.

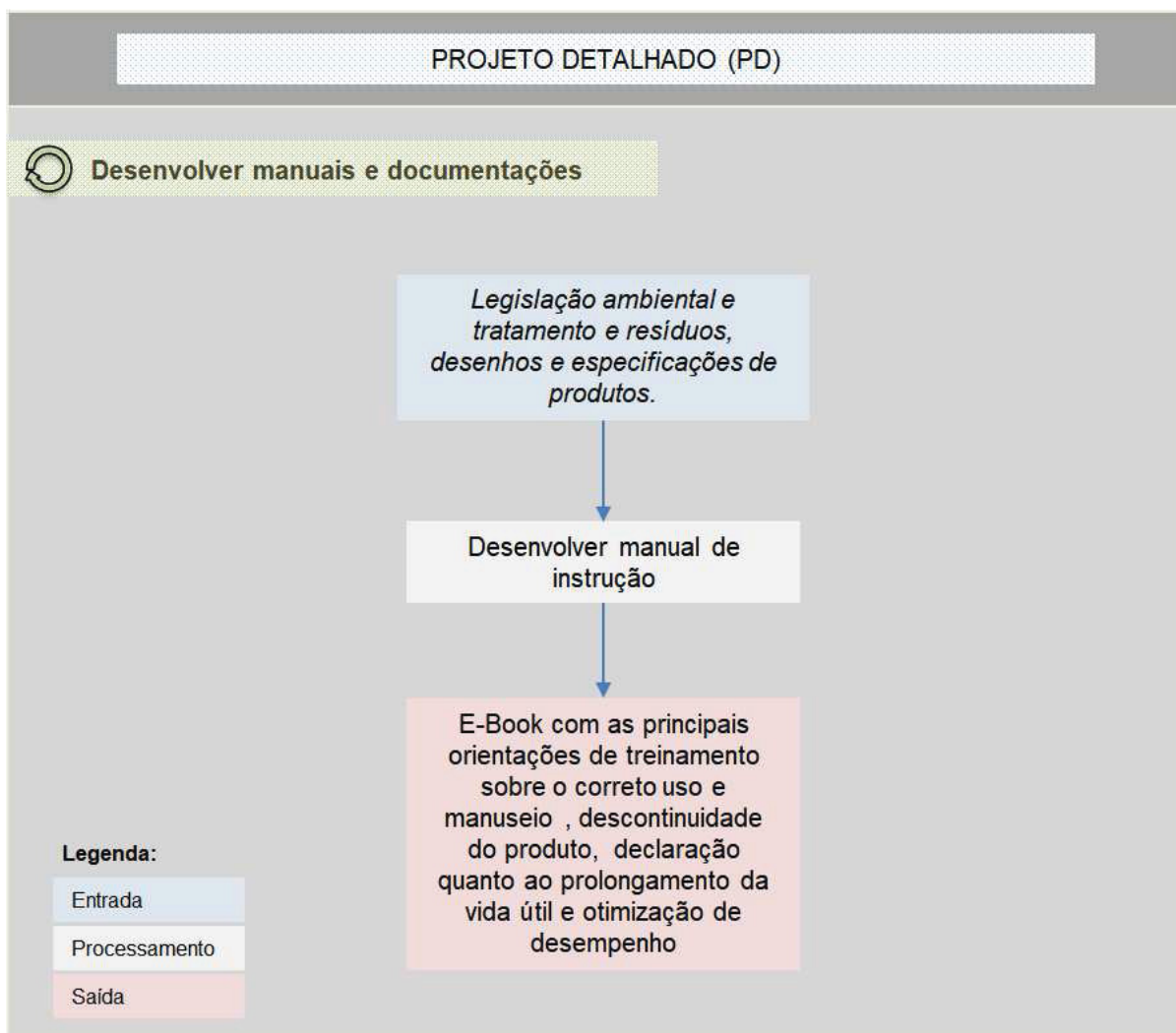
d) Desenvolver manuais e documentações: Consiste em criar manual de instruções para operação, treinamento, descontinuidade do produto, para elaboração de declaração do prolongamento da vida útil e otimização de desempenho e orientações sobre o uso e manuseio corretos.

Além da criação e fornecimento do link de acesso a um arquivo eletrônico que contenham informações sobre o produto e peças de reposição, e como podem ser encontrados (FIGURA 35). Pode-se, ainda, fornecer outros dados sobre o conteúdo dos materiais, como desmontá-lo e quais segmentos e frações dos materiais devem ser destinados à reciclagem.

A documentação deve ser compreensível para todos os usuários, especialmente para clientes e consumidores finais que não sejam técnicos especialistas.

Essas instruções ajudam a prolongar a vida útil e, também, a otimizar o seu desempenho (OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2018). O manual permite, ainda, o acesso à especificação e identificação de materiais tóxicos e perigosos, peças sobressalentes, instruções de desmontagem, limpeza, troca e montagem de componentes defeituosos, correta destinação dos materiais, facilitando estratégias de reparar/manter, remanufaturar, atualizar e reciclar.

FIGURA 35: PRÁTICA DE DESENVOLVER MANUAIS E DOCUMENTAÇÕES



FONTE: O Autor (2022)

e) Testes e homologações do produto: Refere-se aos ensaios e testes de qualidade do produto, à análise mecânica de tensão, quebras, desgaste, corrosão e manchas. Por exemplo, a resistência e rigidez de embalagens, com o objetivo de verificar se os requisitos foram atendidos, permitindo assim, que a vida útil planejada seja alcançada. Envolve a verificação do atendimento aos requisitos de regulamentações, legislações ambientais e certificações previstas nas fases anteriores do desenvolvimento.

4.3.5 Práticas circulares para o Preparação da Produção do Produto (PPP)

Etapa 1: A fase de Preparação da Produção do Produto, pertencente à macrofase Desenvolvimento, é apresentada (QUADRO 21). A atual fase trata de todas

as atividades da cadeia de suprimentos do ponto de vista interno, a produção do lote piloto, a definição dos processos de produção e manutenção.

Em PPP, os recursos foram especificados e a decisão de comprar ou fabricar, internamente, foi tomada nas fases anteriores, de PC e PD.

QUADRO 21: FASE E ETAPA DA PREPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DO PRODUTO

DESENVOLVIMENTO	Fase	Etapa
	Preparação da Produção do Produto (PPP)	6.1 Obter recursos de fabricação.
		6.2 Planejar produção piloto.
		6.3 Receber e instalar recursos.
		6.4 Produzir lote piloto.
		6.5 Homologar processo.
		6.6 Otimizar produção.
		6.7 Certificar produto.
		6.8 Desenvolver processo de produção.
		6.9 Desenvolver processo de manutenção.
		6.10 Treinar pessoal.
		6.11 Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto.
		6.11.1 Avaliar fase.
		6.11.2 Aprovar fase.
		6.12 Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas.

Fonte: Adptado de Rozenfeld et al. (2006)

A produção de um lote piloto envolve o planejamento e controle da produção (PCP), mais especificamente a programação das operações de manufatura. Nessa atividade, existe uma combinação da programação de um projeto com a de uma operação de produção. O lote piloto deve ser produzido com os planos de processo obtidos na fase de PD. Porém, pode ser que o volume inicial menor exija que planos de processo especiais e mais simples sejam confeccionados para a produção do lote piloto. Ou seja, os planos de processo para a produção em regime de grande volume não podem ser aplicados à produção piloto. A produção do lote piloto ocorre conforme o planejamento desenvolvido, o produto e seus componentes são submetidos a medições, testes e ensaios de laboratórios e, por fim, homologado. Esta atividade permite encontrar falhas não previstas durante as etapas anteriores e permite que o processo e produto sejam otimizados viabilizando melhorias para o desenvolvimento.

Na fase de PPP também são desenvolvidos procedimentos de manutenção necessários para garantir a produção. A decisão sobre realizar manutenção preventiva, preditiva ou corretiva. Dependendo do grau de novidade e complexidade

do produto, pode-se adotar a política e plano de manutenção já existentes, realizando devidas alterações, quando necessário.

Apresentado as etapas, atividades, escopo e objetivos das fases de PPP, as estratégias e práticas circulares propostas são apresentadas e detalhadas na sequência.

Etapa 2: A proposta para integração de cada prática circular na etapa de PPP do MDP de referência, proposto por Rozenfeld (2006), é apresentada (FIGURA 36)

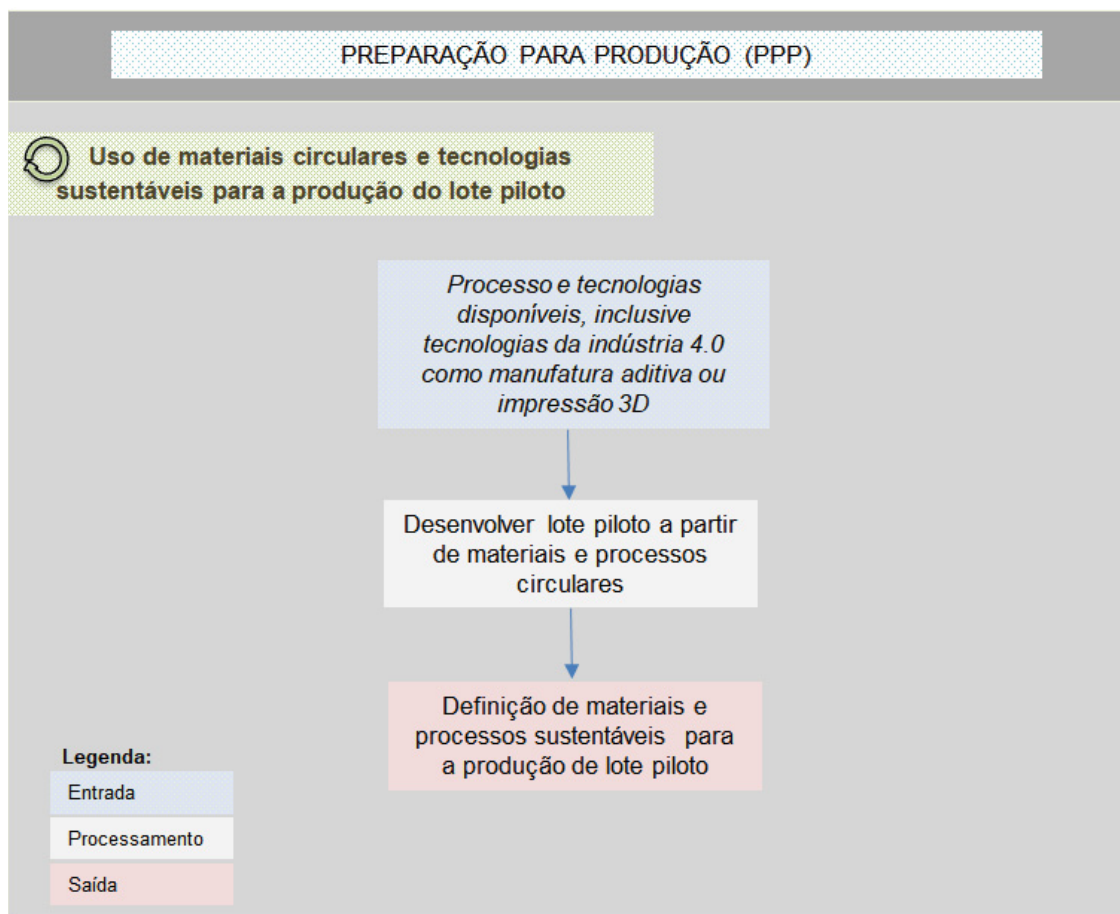
FIGURA 36: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE PREPARAÇÃO PARA PRODUÇÃO (PPP)

Pré-desenvolvimento Desenvolvimento Pós-desenvolvimento									Etapas MDP Rozenfeld (2006)	
PEP PP PI PC PD PPP LP APP DPM									6.2	6.4
Práticas circulares	Uso de materiais circulares e tecnologias sustentáveis para a produção do lote piloto								X	X
Legendas: 6.2 Planejar produção piloto; 6.4 Produzir lote piloto										

Fonte: O Autor (2022)

Etapa 3: *Uso de materiais circulares e tecnologias sustentáveis para a produção do lote piloto:* Pode ser considerar tecnologias da indústria 4.0 como a impressão 3D ou manufatura aditiva, a partir de materiais biodegradáveis, reciclados ou recicláveis (FIGURA 37) (DIAS, 2019; ANDLER et al., 2021; DA SILVA et al., 2021; LEPELAAR; NACKENHORST; OSKAM, 2017; ROMNÉE et al., 2019; ZABANIOTOU; KAMATEROU, 2019). Avaliar a viabilidade de revender produtos e componentes produzidos durante os testes e validação (DIAS, 2019).

FIGURA 37: PRÁTICA DE USO DE RECURSOS E TECNOLOGIAS CIRCULARES PARA PRODUÇÃO DE LOTE PILOTO



Fonte: O Autor (2022)

4.3.6 Práticas circulares para o Lançamento do Produto (LP)

Etapa 1: A fase de LP, que marca o início da macrofase de Pós-desenvolvimento, é apresentada (QUADRO 22).

QUADRO 22: FASE E ETAPAS DO LANÇAMENTO DO PRODUTO (LP)

	Fase	Etapa
DESENVOLVIMENTO	Lançamento do Produto (LP)	7.1 Planejar lançamento.
		7.2 Desenvolver processo de vendas.
		7.3 Desenvolver processo de distribuição.
		7.4 Desenvolver processo de atendimento ao cliente.
		7.5 Desenvolver processo de assistência técnica.
		7.6 Promover marketing de lançamento.
		7.6.1 lançar o produto.
		7.7 Gerenciar lançamento.
		Acompanhar fornecimentos iniciais.
		7.8 Atualizar plano de fim de vida.
		7.9 Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto.
		7.9.1 Avaliar fase.
		7.9.2 aprovar fase.
		7.10 Documentar as decisões.

Fonte: Adptado de Rozenfeld et al. (2006)

Refere-se às atividades necessárias para colocar o produto no mercado, incluindo o desenvolvimento dos processos de apoio a vendas e distribuição, atendimento ao cliente, assistência técnica e estratégias de marketing.

Algumas dessas atividades devem iniciar ainda durante as macrofases de Desenvolvimento, ou seja, precisam ocorrer em paralelo ao desenvolvimento, devido os prazos. No entanto, o término destas atividades ocorre durante a fase de LP.

Ao término da fase de LP, os produtos são disponibilizados no mercado para que sejam monitorados sob o aspecto de aceitação do produto pelo mercado e das premissas de viabilidade econômica monitorada ao longo de todo o desenvolvimento. Além disso, as lições aprendidas durante esta fase precisam ser documentadas.

Ao término da fase de LP, os produtos são disponibilizados no mercado para que sejam monitorados sob o aspecto de aceitação do produto pelo mercado e das premissas de viabilidade econômica monitorada ao longo de todo o desenvolvimento. Além disso, as lições aprendidas durante esta fase precisam ser documentadas.

O processo de vendas inclui o planejamento e aquisição de todos os recursos necessários para viabilizar o processo de vendas, como escritórios de vendas, pessoas, treinamento, equipamentos para comunicação, documentação de apoio e serviços, catálogos físicos e eletrônicos, desenvolvimento de sites, outras plataformas e ferramentas eletrônicas de apoio as vendas de produto.

O desenvolvimento do processo de distribuição inclui os mesmos passos do processo de vendas, no entanto, tem como ponto principal a definição da logística de distribuição. A definição da logística de distribuição é influenciada pela localização geográfica de fabricantes, distribuidores e clientes. Os distribuidores podem agregar funções como manter estoques produtos ou componentes, prestar serviços de montagem e assistência técnica. Além disso, os distribuidores tem influência direta sobre o atendimento dos prazos de entrega prometidos ao cliente. Logo, nesta fase, realizam-se os acordos comerciais que possam garantir o relacionamento e atendimento destas funções.

O planejamento do atendimento ao cliente refere-se à criação de canais de comunicação onde o cliente pode expressar suas dúvidas e fazer reclamações, e a empresa pode coletar dados para melhorar o desempenho de suas atividades e imagem perante o cliente. As atividades desta etapa são similares as etapas anteriores descritas, de desenvolvimento do processo de vendas e distribuição.

O desenvolvimento do processo de assistência técnica garante que os produtos e componentes sejam mantidos em alto valor por mais tempo, viabilizando reparos em manutenção e são fundamentais para o sucesso do produto. Além disso, os serviços prestados são, geralmente, vendidos aos clientes. As atividades desta etapa incluem desenhar o processo, adquirir recursos necessários, desenvolver documentação, sistemas e estruturas de apoio além de contratar e treinar pessoas.

As estratégias de marketing referem-se a promover marketing de lançamento e inclui atividades de desenvolvimento de campanha publicitária para o mercado alvo, stakeholders e influenciadores da marca. Criar propaganda com o objetivo de divulgar marca e informar novas tecnologias e vantagens, promover vendas criando descontos e promoções para viabilizar uma venda imediata e, ainda, incluir a contratação de fornecedores destes serviços.

Finalmente, devem ser realizadas atividades relacionadas ao gerenciamento do lançamento como monitorar os resultados de vendas, viabilidade econômica, participação de mercado, além da atualização do plano de descontinuidade do produto, criado na fase de Projeto Detalhado (PD).

Apresentado as etapas, atividades, escopo e objetivos das fases de LP, as estratégias e práticas circulares propostas são apresentadas e detalhadas na sequência.

Etapa 2: A proposta para integração de cada prática circular na etapa de LP do MDP de referência, proposto por Rozenfeld et. al (2006), é apresentada (FIGURA 38)

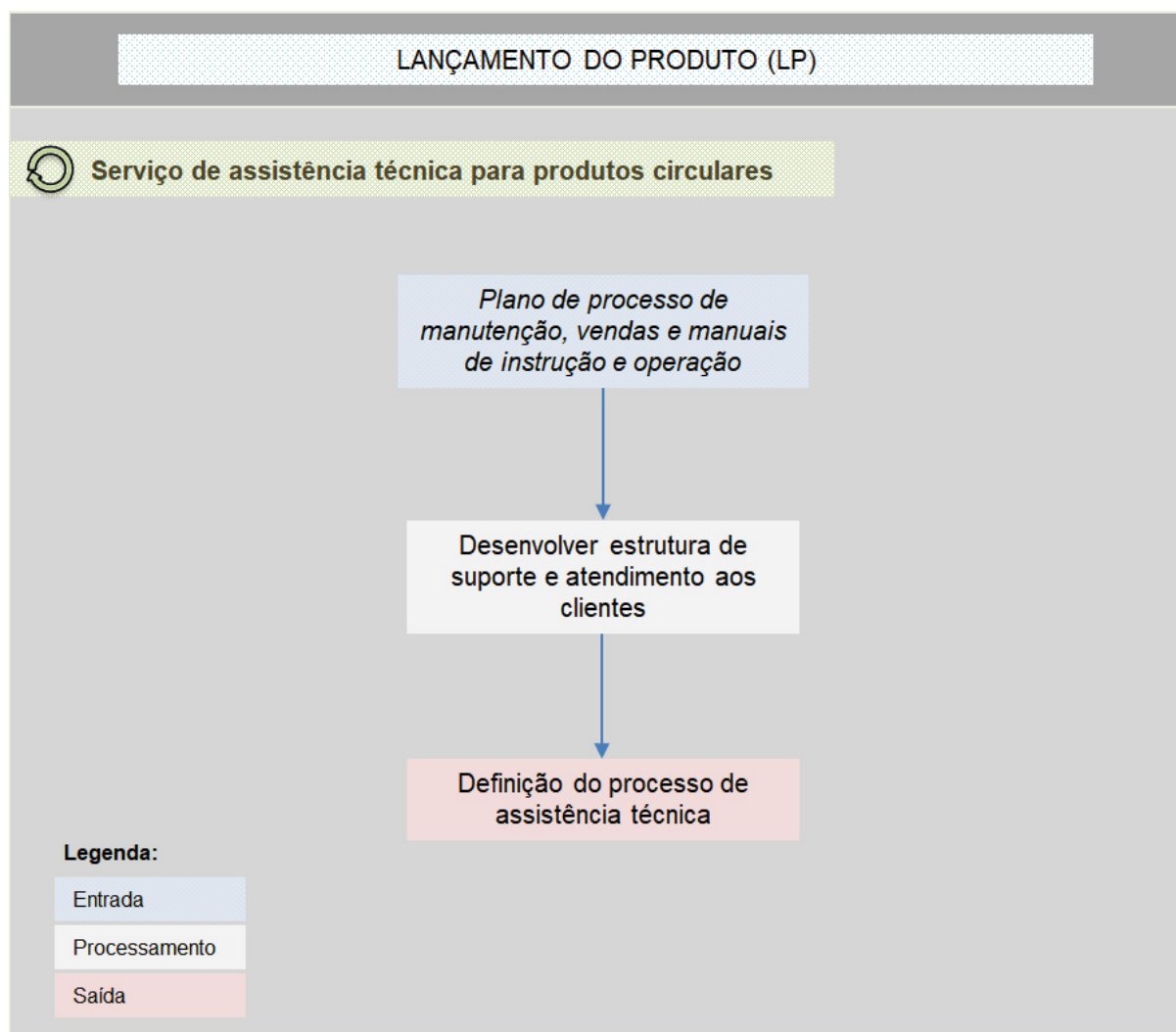
FIGURA 38: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE LANÇAMENTO DO PRODUTO

			Pré-desenvolvimentoDesenvolvimentoPós-desenvolvimento									Etapas MDP Rozenfeld (2006)	
			PEP	PP	PI	PC	PD	PPP	LP	APP	DPM	7.3	7.5
Práticas circulares	Serviços de assistência técnica para produtos circulares												X
	Aspectos circulares para a distribuição e transporte											X	
Legendas: 7.3 Desenvolver processo de distribuição; 7.5 Desenvolver processo de assistência técnica													

Fonte: O Autor (2022)

Etapa 3: *a) Serviços de assistência técnica para produtos circulares:* Assim como na função do produto, a principal proposta de valor reside na disponibilidade e oferta de serviços. Além do fornecimento de peças de reposição, deve-se pensar em oferecer serviços de manutenção, reparo, controle no pós-uso e uma estrutura de suporte e atendimento ao cliente para o uso contínuo e aumento do valor dos produtos (FIGURA 39) (ADISORN; THOLEN; GÖTZ, 2021); (BRESSANELLI et al., 2020);

FIGURA 39: PRÁTICA DE SERVIÇO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA PARA PRODUTOS CIRCULARES

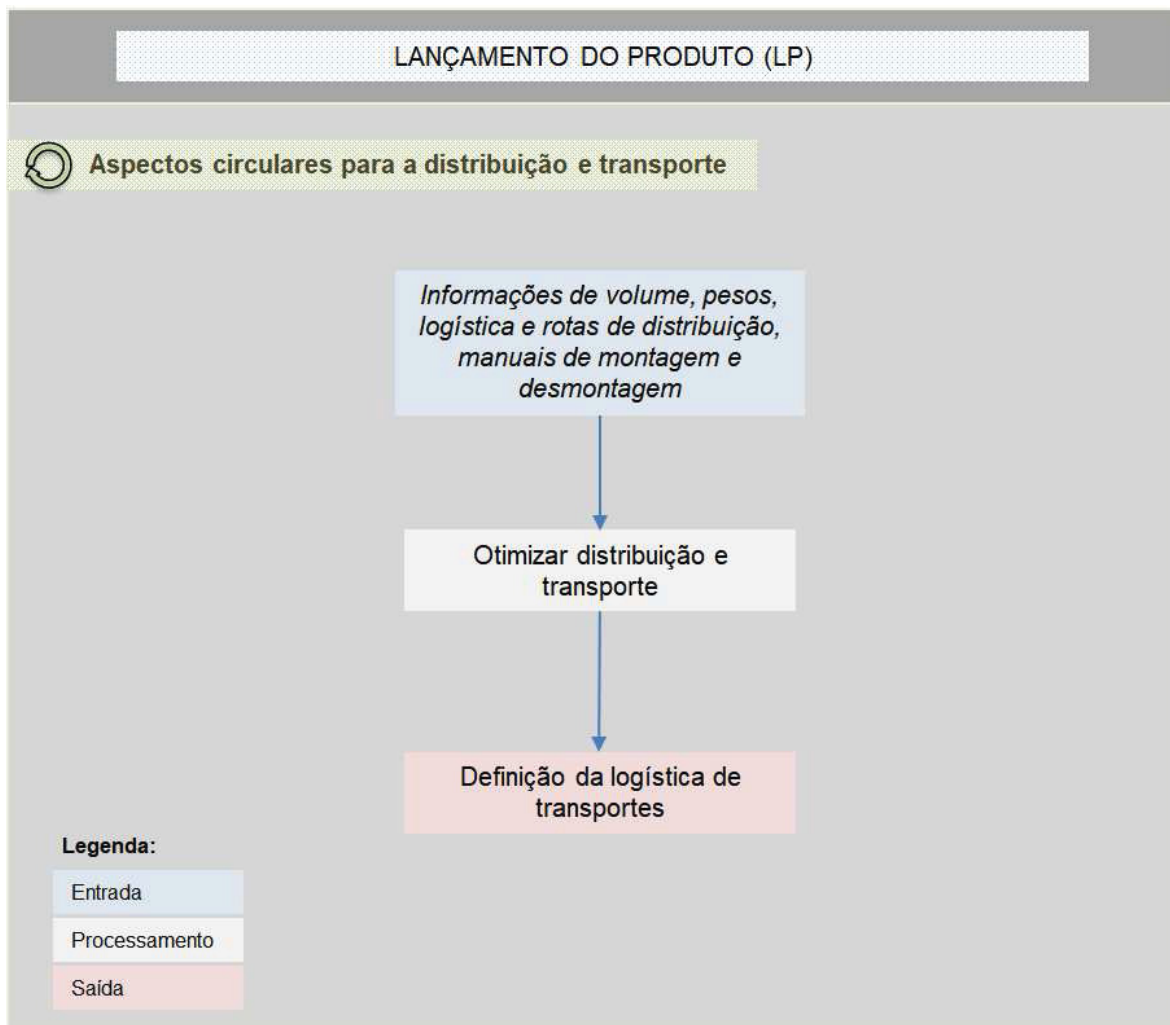


Fonte: O Autor (2022)

b) Aspectos circulares para a distribuição e transporte: Deve-se otimizar o uso de transportes, minimizar o peso dos componentes, reduzir os volumes de frete, considerar o transporte de produtos em módulos compactados, por exemplo, a montagem do produto final poderá ocorrer no cliente ou no distribuidor, selecionar fornecedores com base na localização, transportar quantidades maiores de uma

só vez, incentivar a direção e transporte eficaz e ecologicamente correto, que reduzam as emissões do transporte, por exemplo, o transporte marítimo e ferroviários são preferíveis ao transporte rodoviário (FIGURA 40) (DE OLIVEIRA et al., 2020).

FIGURA 40: OUTROS ASPECTOS CIRCULARES PARA A DISTRIBUIÇÃO E TRANSPORTE



Fonte: O Autor (2022)

4.3.7 Práticas circulares para o Acompanhar produto e processo (APP)

Etapa 1: A fase de APP, pertencente a macro-fase de Pós-desenvolvimento, é apresentada (QUADRO 23). Tem por objetivo acompanhar o desempenho do produto no mercado e durante sua produção, identificando oportunidades de melhoria e garantindo que, ao fim da vida, a descontinuidade do produto cause o menor impacto possível para o mercado e meio ambiente. Inclui atividades de pesquisa de satisfação do atendimento ao cliente e assistência técnica logo após o lançamento do produto

no mercado, monitoramento do desempenho técnico e econômico do produto e processo, das vendas e impactos ambientais ao longo de toda a vida útil do produto. Faz-se necessário ainda auditorias dos processos com o objetivo de identificar erros e melhorias no processo de desenvolvimento e, finalmente, o seu registro através das lições aprendidas.

QUADRO 23: FASES E ETAPAS DO ACOMPANHAMENTO PRODUTO E PROCESSO (APP)

PÓS-DESENVOLVIMENTO	Acompanhar Produto e Processo (APP)	8.1 Avaliar satisfação do cliente.
		8.2 Monitorar desempenho do produto (técnico, econômico, produtivo e serviços).
		8.3 Realizar auditoria pós-projeto.
		8.4 Registrar lições aprendidas.

FONTE: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

Apresentado as etapas, atividades, escopo e objetivos das fases de APP, as estratégias e práticas circulares propostas são apresentadas e detalhadas na sequência.

Etapa 2: A proposta para integração de cada prática circular na etapa de APP do MDP de referência, proposto por Rozenfeld (2006), é apresentada (FIGURA 41).

FIGURA 41: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE ACOMPANHAR PRODUTO E PROCESSO (APP)

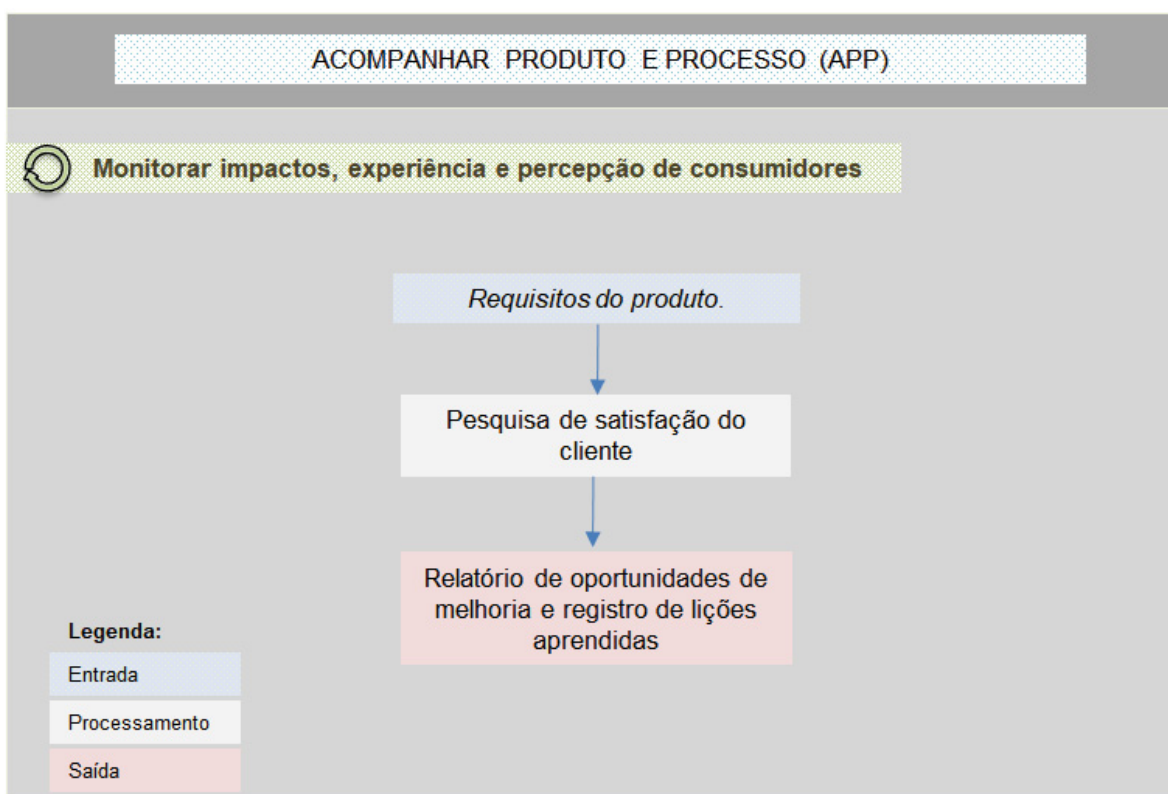
Pré-desenvolvimento Desenvolvimento Pós-desenvolvimento		Etapas MDP Rozenfeld (2006)			
PEP PP PI PC PD PPP LP APP DPM		8.1	8.2	8.3	8.4
Práticas circulares	Monitorar impactos da percepção e experiência de consumidores de produtos circulares	X	X		
Legendas: 8.1 Avaliar satisfação do cliente; 8.2 Monitorar desempenho do produto (técnico, econômico, produtivo e serviços); 8.3 Realizar auditoria pós-projeto; 8.4 Registrar lições aprendidas					

Fonte: O Autor (2022)

Etapa 3: *Monitorar impactos, experiência e percepção de consumidores:* A etapa de acompanhamento visa gerar oportunidades de melhoria. Monitora os impactos relacionados a percepção dos usuários quanto a requisitos como

funcionalidade, custo-benefício, reparabilidade e durabilidade, incluindo desenvolver pesquisa de comportamento e de mercado para verificar a aceitação do consumidor (FIGURA 42) (Oliveira, França e Rangel, 2019). Pode incluir o uso de ferramentas estatísticas para análise e consolidação dos dados. As pesquisas de comportamento do consumidor já foram abordadas na literatura (STEENIS et al., 2018).

FIGURA 42: OUTROS ASPECTOS CIRCULARES PARA A DISTRIBUIÇÃO E TRANSPORTE



Fonte: O Autor (2022)

A coleta constante de dados sobre o comportamento de uso e desempenho do produto, ao longo de seu ciclo de vida, ajudará a descobrir erros latentes de *design*, a melhorar o produto e a adicionar demandas do cliente aos próximos fornecimentos e desenvolvimentos.

No caso de projeto para a estratégia de compartilhar e adoção de sistemas PSS, deve ser considerado o uso de sistemas de registro e monitoramento do comportamento e desempenho do consumidor. Com esse controle, os danos durante a fase de uso são reduzidos e a segurança humana, meio ambiente e a vida útil dos produtos é preservada. No entanto, o usuário deve estar ciente de

que está sendo observado e deve considerar os riscos associados à não aceitação do produto e o monitoramento pelo cliente, por exemplo.

4.3.8 Práticas circulares para Descontinuar Produto no Mercado (DPM)

Etapa 1: A fase de Descontinuar Produto no Mercado (DPM), pertencente a macro-fase de Pós-desenvolvimento, é apresentada (QUADRO 24).

A previsão da descontinuidade inicia ainda na macro-fase de Desenvolvimento, mas ocorre efetivamente quando o produto não cumpre mais suas funções técnicas, financeiras e estratégicas devido o fim de vida, queda dos indicadores de desempenho financeiro ou questões associadas à marca e imagem.

Por fim, finaliza-se a produção dos produtos, de peças de reposição e suporte técnico e as atividades se concentram, unicamente, em receber e destinar os produtos dos clientes.

QUADRO 24: FASES E ETAPAS DE DESCONTINUIDADE DO PRODUTO NO MERCADO (DPM)

PÓS-DESENVOLVIMENTO	Descontinuar Produto no Mercado (DPM)	9.1 Analisar e aprovar descontinuidade do produto do mercado.
		9.1.1 Planejar a descontinuidade do produto.
		9.2 Preparar e acompanhar o recebimento do produto.
		9.2.1 Descontinuar a produção.
		9.3 Finalizar suporte ao produto.
		9.4 Avaliação geral e encerramento do projeto.

FONTE: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

Apresentado as etapas, atividades, escopo e objetivos das fases de DPM, as estratégias e práticas circulares propostas são apresentadas e detalhadas na sequência.

Etapa 2: A proposta para integração de cada prática circular na etapa de DPM do MDP de referência, proposto por Rozenfeld (2006), é apresentada (FIGURA 43).

FIGURA 43: ESTRATÉGIAS CIRCULARES PARA A FASE DE DESCONTINUAR PRODUTO NO MERCADO (DPM)

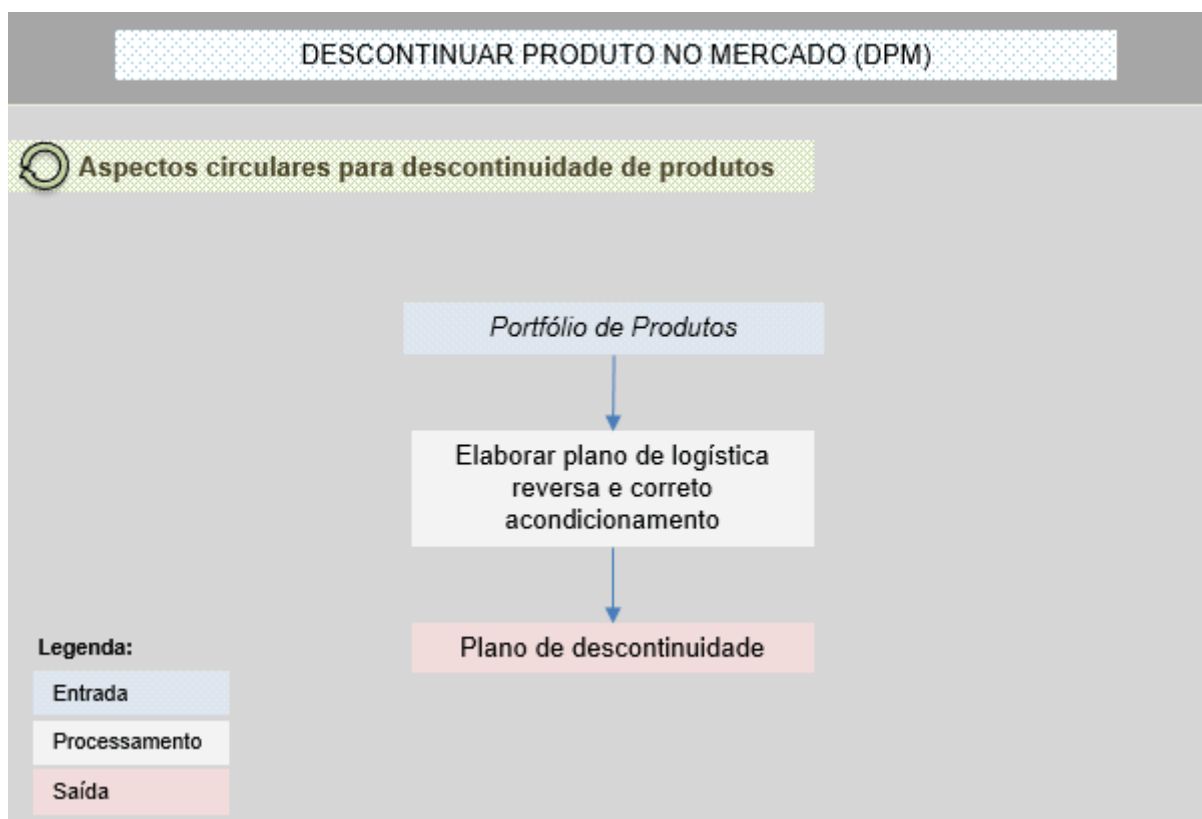
Pré-desenvolvimento										Etapas MDP Rozenfeld (2006)					
Desenvolvimento															
Pós-desenvolvimento															
PEP															
PP															
PI															
PC															
PD															
PPP															
LP															
APP															
DPM															
Práticas circulares										9.1	9.1.1	9.2	9.2.3	9.3	9.4
	Aspectos circulares para descontinuidade de produtos									X	X	X			

Legendas:
 9.1 Analisar e aprovar descontinuidade do produto do mercado; 9.1.1 Planejar a descontinuidade do produto; 9.2 Preparar e acompanhar o recebimento do produto; 9.2.3 Descontinuar a produção; 9.3 Finalizar suporte ao produto; 9.4 Avaliação geral e encerramento do projeto

FONTE: O Autor (2022)

Etapa 3: *Aspectos circular para descontinuidade de produtos:* Devem ser contempladas ações de logística reversa, reuso, reaproveitamento, reciclagem e acondicionamento adequado (FIGURA 44) (Oliveira, França e Rangel, 2019).

FIGURA 44: ASPECTOS CIRCULARES PARA A DISTRIBUIÇÃO E TRANSPORTE



Fonte: O Autor (2022)

4.4 PROPOSTA PARA APLICAÇÃO DO MDPC EM UMA INDÚSTRIA.

O MDP e o PDP são aplicados para atender a necessidade de clientes, consideram restrições tecnológicas e de fundamental importância para avançar em direção a uma economia circular. Porém, sua aplicação requer um grau de customização para adaptação das práticas circulares e especificidades das organizações e seus produtos (PINHEIRO et al., 2019; SHAHBAZI; JÖNBRINK, 2020).

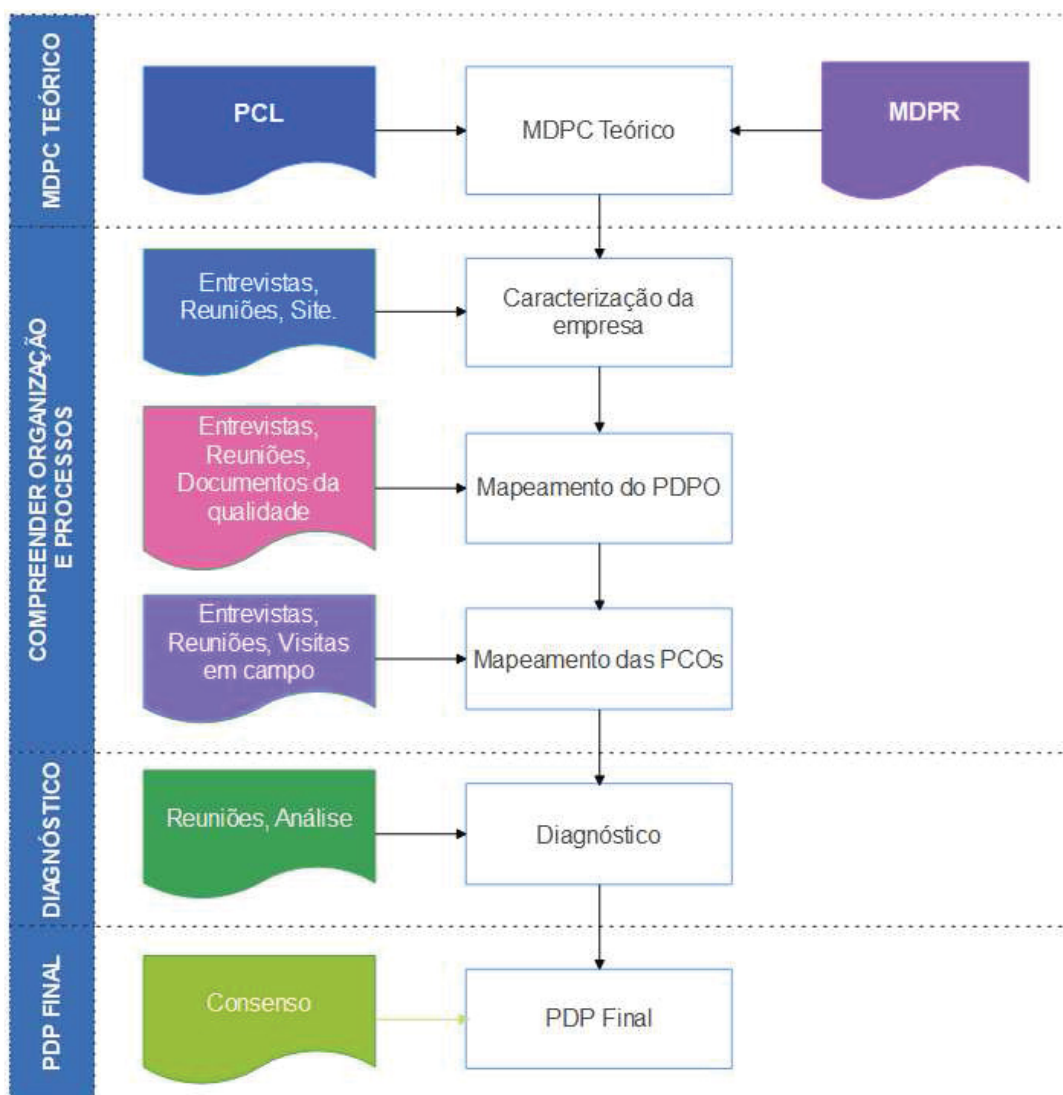
Para tal, apresenta-se uma proposta de fluxo de aplicação e integração do Modelo de Desenvolvimento de Produtos Circular (MDPC) teórico em uma organização (FIGURA 45). O Objetivo é que durante o processo de adoção do modelo, seja considerado as práticas de mercado já adotadas pela organização, para que seu *know-how* seja considerado e faça parte da construção do processo ideal, aumentando, assim, as chances de aceitação da proposta pela empresa. Faz-se imprescindível ainda a participação dos *stakeholders* relacionados ao processo de desenvolvimento, incluindo aqueles que tenham poder de decisão.

O fluxo proposto de integração inicia-se a partir do MDPC teórico, apresentado na seção anterior, que por sua vez, integra as Práticas Circulares depreendidas da Literatura (PCL) no Modelo de Referência de Rozenfeld et al.(2006) (MDPR). Na sequência, propõe-se a compreensão organizacional e de processos da empresa incluindo sua caracterização. A caracterização inclui aspectos como o segmento de atuação, tipos de produtos, estrutura organizacional e o porte da empresa. Nesta etapa sugere-se a utilização de técnicas como entrevistas e questionários estruturados ou semi-estruturados, reuniões, visitas em campo, pesquisa nos *sites* e redes sociais da empresa.

A compreensão dos processos da empresa refere-se ao mapeamento do Processo de Desenvolvimento de Produtos da Organização (PDPO) e identificação das Práticas Circulares já adotadas pela Organização (PCO). Nesta etapa, além das entrevistas, pesquisas, reuniões e visitas em campo, é imprescindível o acesso aos documentos da qualidade como instruções de trabalho e procedimento sistêmicos e operacionais, caso existam. O Objetivo é analisar detalhadamente cada atividade do processo, na sequência confrontá-lo com o MDPC teórico, identificando as similaridades, diferenças e oportunidades, e decidindo, em consenso, pela adoção das fases, etapas e atividades que mais se adequem à realidade da empresa. Ao

final, espera-se que o MDPC teórico, agora PDP circular, já adaptado a realidade da organização, possa incorporar os benefícios do MDPR, PCL, PDPO e PCO.

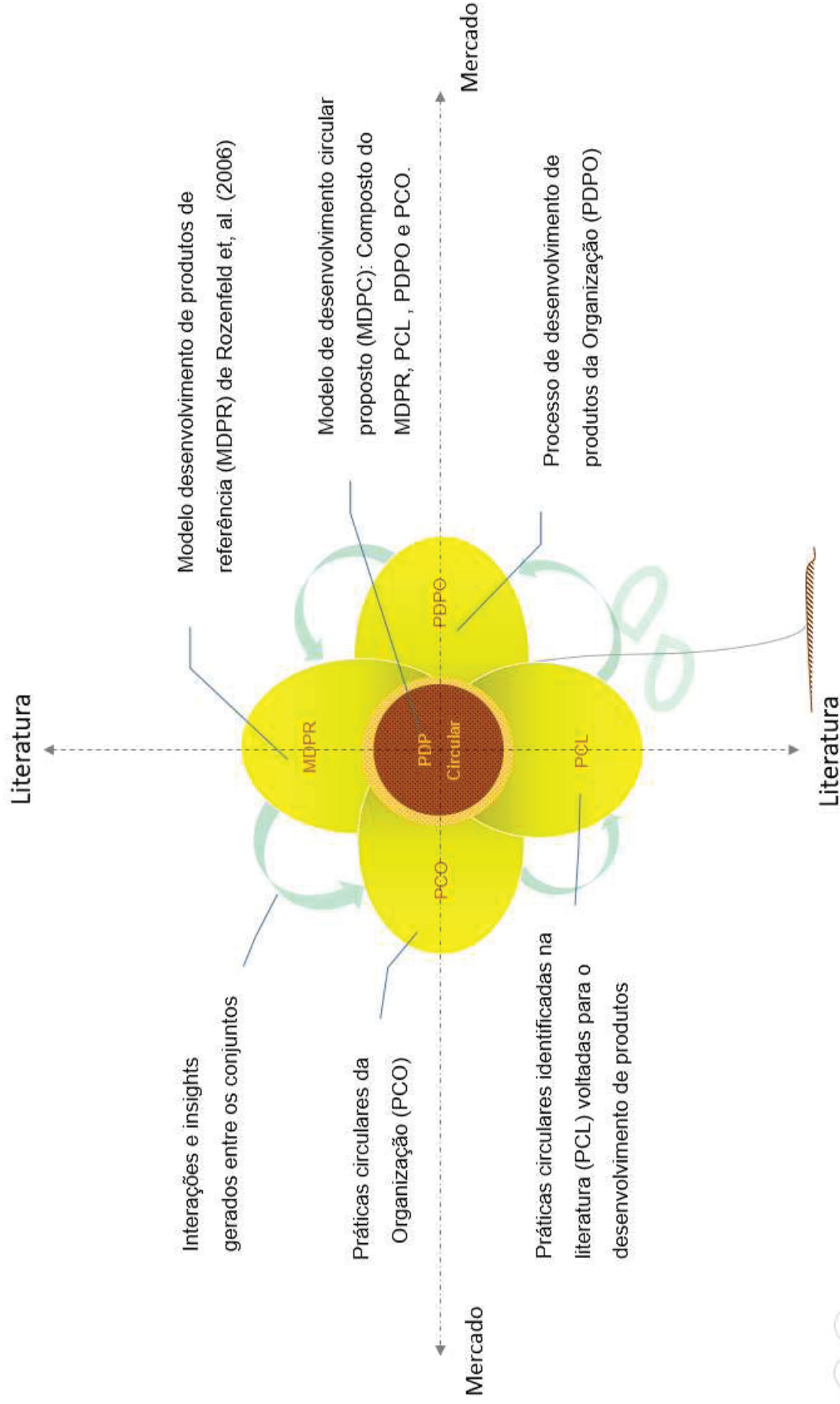
FIGURA 45: FLUXO DE APLICAÇÃO DO MDP CIRCULAR EM UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS



FONTE: O Autor (2022)

Adicionalmente, a FIGURA 46, apresenta o resultado do fluxo de aplicação proposto. Onde temos que, o eixo y representa o MDPC teórico, desenvolvido a partir da proposta de integração de práticas circulares no modelo de desenvolvimento de produtos de referência de Rozenfeld et al. (2006), PCL e MDPR, respectivamente, ambos depreendidos da literatura. O eixo x representa o conjunto de práticas circulares e o processo de desenvolvimento de produtos já adotados pela organização, PCO e PDPO, nessa ordem. E finalmente, no centro da figura, o PDP circular final, resultante.

FIGURA 46: PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO DO MDP CIRCULAR EM UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS



FONTE: O Autor (2022)

5 ESTUDO DE CASO

Visando aproveitar o know-how de uma organização especialista no desenvolvimento de embalagens e avaliar o MDPC teórico, apresentado no capítulo 4, foi analisado o PDP de uma empresa de manufatura.

Na sequência, são apresentados o detalhamento das ações tomadas durante as visitas e reuniões, a caracterização da empresa, o mapeamento e análise do PDP e o diagnóstico da sua relação com o MDPC teórico proposto nesta pesquisa

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA X

O foco desta pesquisa foi aplicado a uma empresa que oferece desenvolvimento de soluções em embalagens industriais e está voltada para o desenvolvimento de novos produtos e especiais, ou seja, aqueles diferentes do seu catálogo, e possui um amplo portfólio de produtos para atender diversos segmentos da indústria. De modo a manter o sigilo da empresa, neste trabalho a empresa é chamada de Empresa X.

Atuante no mercado nacional e internacional desde 2001, a EMPRESA X surgiu através da necessidade de desenvolver e fornecer soluções em embalagens. Está localizada no município de São José dos Pinhais/PR, apresenta um parque fabril de aproximadamente 13.000 metros quadrados e 80 colaboradores.

Desenvolve soluções em embalagens para proteção, transporte e armazenamento, atua em diversos segmentos, como alimentos e bebidas, metalmecânico, automotivo, construção civil, papel e celulose, têxtil, siderurgia e alumínio, moveleiro, farmacêutico, agronegócios, linha branca e cerâmica.

Seus produtos estão divididos em diversas linhas, como filmes plásticos com ou sem impressão, filmes termoencolhíveis, de cobertura, stretch automático e manual, stretch cortado e pré-estirado, de multicamadas e técnico, sacos plásticos e termoencolhíveis, cantoneiras de papel dentada, injetadas e plásticas dentada. Além de linhas com inibidor volátil de corrosão, da sigla em inglês VCI, termoformagem, estrados metálicos, reforços de movimentação, papel *kraft*, papel *kraft* laminado, fitas adesivas acrílica, fitas adesivas tipo *Hot Melt*, fita de arquear berços de movimentação, porta etiquetas e entre outros.

Devido às suas propriedades e benefícios, como resistência mecânica, flexibilidade de barreiras ao oxigênio, ultra violeta, luz, brilho e transparência, os produtos da empresa X são empregados para empacotamento automático em enfardadeiras de diversos tipos de cereais como o açúcar, farináceos, massas e outros produtos industriais. Assim como, no armazenamento de produtos farmacêuticos, como cosméticos, unitização de cargas para transporte, cobertura e proteção de pallets e fardos, proteção de cerâmicas, colchão, bobinas de tecido, peças, fios, cabos e outros. São produzidos em polietileno de baixa densidade (PEBD) ou com alta densidade (PEAD), em diversas formas, dimensões e espessuras, podem ser pigmentados ou transparentes, impressos ou não e personalizados de acordo com a necessidade do cliente.

Finalmente, os processos da empresa X são formalizados e auditados periodicamente pelos órgãos certificadores da *International Standard Organization* (ISO), e parte de um Sistema de Gestão Qualidade (SGQ) especificado pelo conjunto de normas da ISO 9000/2008.

5.2 REUNIÕES NA EMPRESA X

A primeira reunião ocorreu em 03.11.2021, nas dependências da empresa na qual participou o professor orientador, o autor desta pesquisa, o CEO da organização e diretores das áreas de manufatura e comercial da empresa.

O objetivo do encontro foi apresentar o projeto e as propostas do modelo de desenvolvimento de produtos circular teórico e a sua integração na organização. Na ocasião, foram apresentados os princípios da EC, os objetivos, detalhes do projeto, prazos e discutido como relacionar e conciliar as necessidades atuais da empresa com os objetivos do projeto, possibilitando o andamento e avanço de ações do projeto, marcando, assim, o seu início.

Verificou-se que a organização adota práticas relacionadas às estratégias circulares de reduzir, reutilizar e reciclar, e também participa de programas, como o Projeto *I'm green*, da empresa Brasken, que reúne soluções inovadoras e sustentáveis através de um portfólio de produtos voltados para economia circular compostos por soluções de fonte renovável e reciclada (BRASKEM, 2021). Neste caso, a matéria prima, o Polietileno (PE), amplamente utilizado pela empresa na fabricação dos seus

produtos, provém de fonte renovável, nesse caso, a partir do etanol extraído da cana de açúcar (BRASKEM, 2021).

Através do relato da equipe, presente na reunião, observou-se que a empresa apresentava um portfólio de ideias relacionadas a melhorias no desenvolvimento de produto e que por diversos motivos, entre eles a falta de recursos humanos para gerir e atuar nos projetos, encontrava-se em *standby*.

Verificou-se ainda que, uma entre essas ideias, tratava-se do desenvolvimento de uma rede local de empresas parceiras, com o objetivo de explorar o uso de resíduos como recursos (simbiose industrial). Tal ideia vai ao encontro de uma das práticas circulares contempladas no MDP circular teórico proposto nesta pesquisa, prevista nas fases de planejamento estratégico do projeto e produto (PEP e PP). Desta forma, identificou-se o potencial que o MDP circular teria para atender as necessidades da organização e que, então, o projeto deveria abordar essa prática circular e discutir a viabilidade de aplicação de outras presentes no modelo.

Ao término da reunião, uma próxima foi agendada, também nas dependências da empresa, mas agora como a equipe de desenvolvimento de produtos e com foco na compreensão e diagnóstico do PDP da empresa. Na oportunidade, a equipe de desenvolvimento da empresa X apresentaria o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) e uma lista das práticas circulares já desenvolvidas com o objetivo de aproveitamento do *know-how* da empresa para a avaliar as fases e etapas do MDP circular proposto.

Os objetivos propostos anteriormente e que foram programados para a segunda reunião, que ocorreu em 10.12.2021, foram alcançados. Foi a coordenadora da área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), que explicou sobre os processos. Dúvidas sobre a lógica do processo de desenvolvimento de produtos foram sanadas e os procedimentos e instruções de trabalho controlados pelo seu Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), sobre o processo de desenvolvimento de produtos (DP) foram compartilhados por e-mail no dia 13.12.2021.

Através desta segunda reunião, foi possível mapear o processo de desenvolvimento de produtos da empresa em estudo, o que é detalhado na próxima seção.

5.3 MAPEAMENTO DO PDP DA EMPRESA EM ESTUDO

A equipe de Engenharia é a mesma de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), composta por dois profissionais que se dividem entre atividades operacionais de desenvolvimento, cadastro de novos produtos no sistema, orçamento para venda, produção de amostras, criação de planos de controle para a fábrica, *layouts* de pressão e outras.

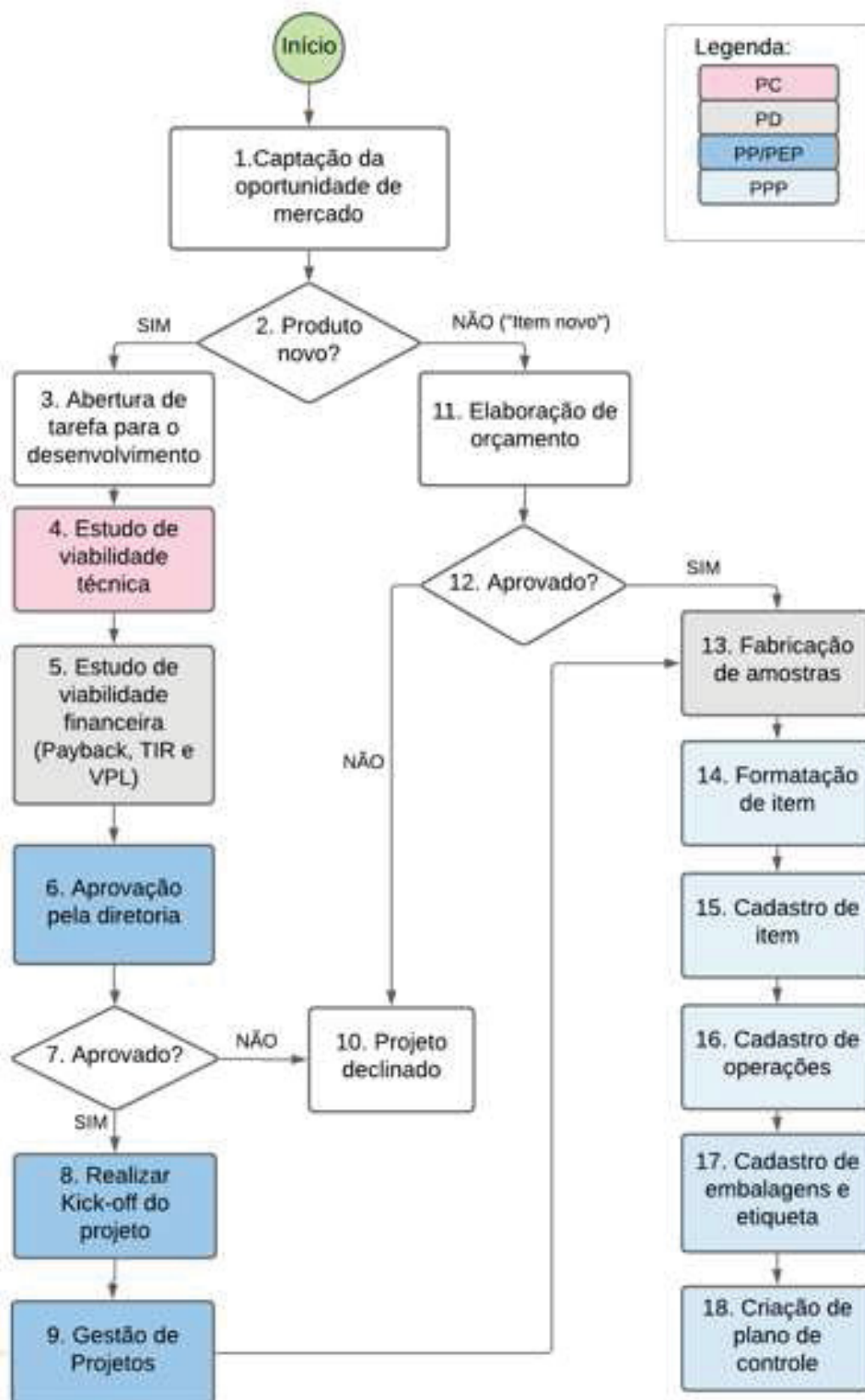
O PDP da empresa X compreende 18 etapas (FIGURA 47) e o processo se inicia com a captação de oportunidades de mercado e a prospecção de novos produtos (etapa 1), que ocorre através da área comercial e/ou Engenharia/P&D. Geralmente, conforme demanda, a área comercial visita o cliente para entender a oportunidade de desenvolvimento e vislumbrar soluções que poderão ser um produto inovador ou resultados que oportunizem uma melhora no processo do cliente, como a substituição de algum produto utilizado atualmente ou a substituição de materiais.

Na segunda etapa, o fluxo é separado em “Produto Novo” e “Item Novo”. Este último, refere-se ao desenvolvimento que exige mudanças de impactos menores no produto ou processo e, geralmente, requer menores investimentos. Já o “Produto Novo” são mudanças de maior impacto, com alta complexidade, diferentes dos produtos que já são produzidos e que podem necessitar de compra de máquinas e equipamentos para o seu desenvolvimento, por exemplo.

No caso de um “Produto Novo”, a área comercial solicita, formalmente, à engenharia a análise de viabilidade de desenvolvimento (etapa 3), por meio do preenchimento de formulário específico no sistema de *Customer Relationship Management* (CRM) da empresa. A solicitação, identificada por um número gerado pelo sistema de CRM, gera uma tarefa para a equipe de Engenharia/P&D. A tarefa e formulário preenchido contém informações de como e aonde o produto será aplicado, demanda, tipo de material utilizado, requisitos como resistência a impacto e carga, soldabilidade e outros.

A partir disso, a equipe pode iniciar o estudo de viabilidade técnica do produto, a análise crítica do projeto e financeira. São avaliados os pontos críticos e de riscos, como disponibilidade de máquinas, equipamentos e pessoas, demandas, requisitos de qualidade e precisão dimensional, know-how, além de outros aspectos, desde a compra da matéria prima até ao destino final (etapa 4).

FIGURA 47: PDP DA EMPRESA X



FONTE: Empresa X

Se viável tecnicamente, são especificados os equipamentos, processos, materiais, volume de material e demais informações necessárias para orçar o valor total do investimento para o desenvolvimento do produto e realizar os cálculos de análise financeira-econômica do produto/projeto. As informações são encaminhadas para a área de controladoria para customização e precificação e avaliada a viabilidade financeira-econômica, às vezes com base no *target* do próprio cliente e políticas de preços da empresa ou na experiência da própria organização sobre os preços de venda de produtos (etapa 5).

Na sequência, são apresentados para a diretoria as informações coletadas e analisadas até o momento, contendo o descritivo do projeto, análise de mercado, pontos críticos, investimentos, os estudos de viabilidade técnica, econômica/financeira e conclusão (etapa 6). Caso a diretoria reprove, o projeto é declinado (etapa 10) e o cliente é comunicado formalmente. No entanto, se a direção aprovar os preços de venda e demais condições de fornecimentos, como prazo de pagamento, entrega, condições de frete e lote mínimo, é enviada uma proposta comercial formal ao cliente solicitante.

Se a devolutiva do cliente for positiva quanto às condições de fornecimento da proposta, o processo retorna para a equipe de Engenharia/P&D, que passa a tratar o desenvolvimento como um novo projeto, conforme os conceitos da gestão de projetos (etapas 8 e 9). A partir daí, desenvolvem-se amostras (etapa 13) e protótipos, cujo processo de fabricação é assistido e, então, realiza-se uma visita ao cliente para acompanhar a aplicação e o desempenho do produto, incluindo a necessidade de futuros ajustes de processo ou formulação/receita de material para que o produto cumpra sua função e requisitos. Esse ciclo de desenvolvimento de amostras, testes internos e visita ao cliente se repete até que o produto atenda aos requisitos especificados. Caso o produto seja aprovado, a etapa de produção de lote piloto é executada para que o processo seja avaliado próximo a uma escala real de produção, permitindo verificar o comportamento do processo de fabricação. Somente neste estágio é que o produto, processo, planos de controle serão cadastrados no sistema (etapas 14 a 18). E, por fim, o produto passar a ser fabricado, entregue ao cliente e, quando possível, considerando os acordos e termos de confidencialidade, são lançados para o mercado.

Se “Item Novo”, ou seja, se desenvolvimento exige mudanças de impactos menores no produto ou processo que, geralmente, são conhecidas e requerem menor

ou nenhum investimento, ou até existam produtos similares já desenvolvidos, a área comercial elabora uma proposta comercial e envia ao cliente (etapa 11). Com a negativa do cliente, o desenvolvimento é declinado (etapa 10). Se aprovado, a área comercial faz um pedido de compra formal pelo software/sistema CRM solicitando o cadastro do item novo à Engenharia/P&D. A partir desta solicitação, o processo segue o mesmo fluxo de desenvolvimento de um “Produto Novo” (etapa 13).

5.4 DIAGNÓSTICO DO RELACIONAMENTO ENTRE PDP DA EMPRESA E O MDPC TEÓRICO

Os quadros 25 e 26, detalhados na sequência, apresentam a comparação entre o PDP da Empresa X e o MDPC teórico proposto nesta pesquisa. O quadro 25 exibe uma avaliação da aplicabilidade dos modelos nos seguintes itens: tipo de aplicação, orientação do fluxo (inovação ou tradicional) e compreensão das fases tradicionais de desenvolvimento, enquanto isso, o quadro 26 apresenta uma análise das práticas circulares presentes.

QUADRO 25: COMPARAÇÃO ENTRE PDP DA EMPRESA X E O MDPC TEÓRICO

ITENS ANALISADOS	PDP DA EMPRESA X	MDPC TEÓRICO
Tipo de aplicação	Embalagens de aço, papel e polímeros.	Embalagens de aço, papel e polímeros, entre outros produtos.
Fluxo orientado para Inovação (Design Thinking)	NA	A
Fluxo tradicional Make to Order (MTO)	A	A, Opcional
Práticas circulares	NA	A
Fases PEP e PP	A	A
Fase PI	NA	A
Fase PC	A	A
Fase PD	A	A
Fase PPP	A	A
Fase LP	NA	A
Fase APP	A	A
Fase DPM	NA	A

Legenda: NA–Não aplicável; A-Aplicável;

FONTE: O autor (2022)

Quanto à aplicação do produto, ambos os modelos são utilizados para o

desenvolvimento de embalagens. Porém, o MDPC teórico, foi sugerido nesta pesquisa para ser adaptado e estendido para outros produtos e segmentos, além de embalagens.

Os modelos adotam o fluxo de desenvolvimento *Make to order* (MTO). Neste caso, os produtos são elaborados sem que haja a preocupação de desenvolvimento de diferentes alternativas de conceito, uma vez que o cliente solicita um já definido, o que pode também restringir a adoção de práticas circulares nestas fases. Com o objetivo de minimizar essas restrições e maximizar as oportunidades de adoção das práticas e iniciativas circulares no PDP da empresa, o MDPC teórico propõe a adoção de um fluxo alternativo e inovador, que consiste no uso das ferramentas do *Design Thinking* (DT) durante as fases iniciais do desenvolvimento (PEP, PP, PI e PC), para ajudar na criação de novas proposições e conceitos, podendo envolver os colaboradores da organização, clientes e usuários finais do produto.

Notou-se que os documentos disponibilizados pela organização não compreendem práticas e iniciativas circulares. No entanto, durante as primeiras reuniões com a organização e por meio das respostas obtidas através do questionário, constatou-se exemplos de adoção de práticas circulares. Uma lista de práticas e iniciativas circulares identificadas são apresentadas (QUADRO 26).

Sete práticas circulares, já adotadas pela empresa X, foram identificadas e estão contempladas no MDPC teórico, representando 27% de todas as práticas propostas pelo modelo. Ou seja, há espaço para que a organização explore a viabilidade de adoção de outras 19 práticas circulares, conforme mostra a coluna OPORTUNIDADE” (QUADRO 26).

QUADRO 26: COMPARAÇÃO DE PRÁTICAS CIRCULARES ENTRE O PDP DA EMPRESA X E O MDPC TEÓRICO

FASE	PRÁTICAS CIRCULARES	PDP DA EMPRESA X	MDPC TEÓRICO	OPORTUNIDADE
PEP E PP	Simbiose industrial	X	X	
	Reutilizar: Extensão da vida útil dos produtos e compartilhamento baseado em trocas (Remanufaturar, Reaproveitar, Atualizar, Reparar/manter)		X	X
	Product Service System (PSS): Produto como serviço	X	X	
	Exame das legislações e certificações		X	X
	Aspectos de funcionalidade para circularidade dos produtos		X	X
	Exame das estratégias e diretrizes circulares		X	X
	Identificação de <i>trade-offs</i> existentes na adoção das estratégias e práticas circulares		X	X
	Análise de viabilidade econômica de produtos circulares	X	X	
	Adotar e especificar drivers para aumentar a circularidade do produto		X	X
PI	Definição das metas e objetivos circulares		X	X
PC	Avaliação do ciclo de vida (ACV)		X	X
	Avaliação de circularidade		X	X
	Consulta a banco de dados de materiais circulares.		X	X
	Projetar para Reutilização		X	X
	Projetar para Reciclagem	X	X	
	Definir processos sustentáveis.		X	X
	Projetar para remanufaturar, Reparar/manter, reutilizar e recondicionar		X	X
PD	Use componentes e materiais duráveis e robustos		X	X
	Utilizar materiais biodegradáveis e compostáveis, além de recursos provenientes de fonte de energia renovável.	X	X	
	Desenvolver manuais e documentações.		X	X
	Testar e homologar o produto	X	X	
PPP	Uso de materiais circulares e tecnologias sustentáveis para a produção do lote piloto		X	X
LP	Serviços de assistência técnica para produtos circulares		X	X
	Aspectos circulares para a distribuição e transporte		X	X
APP	Monitorar impactos da percepção e experiência de consumidores de produtos circulares		X	X
DPM	Aspectos circulares para descontinuidade de produtos	X	X	
	Total:	7	26	19

Fonte: O autor (2020)

Em relação às atividades tradicionais de desenvolvimento, ambos os modelos apresentam, ainda, a presença das fases de: (i) PEP e PP, devido à adoção de práticas de gestão de projetos; (ii) PC, ao analisar a disponibilidade técnica de desenvolvimento do novo produto; (iii) PD, ao conferir a viabilidade financeira, a partir do detalhamento obtido sobre recursos, especificações e investimentos necessários; (iv) PPP, ao criar cadastro de itens no sistema, operações, planos de controle e *layout*; e, finalmente, a fase de (v) APP, ao acompanhar a produção do produto e no cliente, medindo desempenho do produto e a satisfação. Conforme os documentos disponibilizados, o PDP da empresa não compreende as fases de LP e DPM. A ausência, desta última, se deve ao fato de que a organização fornece seus produtos para outras indústrias, que utilizarão as embalagens para transporte, armazenamento ou conservação, até que seja, finalmente, aproveitados e descartados pelo usuário final.

A área de Engenharia/P&D não faz pesquisas para análise de tendências e desenvolvimento de novos produtos para lançamento no mercado. Possui um PDP denominado *Make to Order* (MTO), que compreende as atividades iniciais do planejamento ao acionar a equipe de Engenharia/P&D para analisar a viabilidade técnica, comercial e preparar uma proposta comercial, atendendo as necessidades específicas do cliente. Em outras palavras, o cliente solicita um produto de conceito já definido, a partir do envio de amostras fabricadas por concorrentes, desenhos, produtos similares e especificações. Isso explica a ausência da fase de LP.

Finalmente, conclui-se que o MDPC proposto nesta pesquisa está alinhado à realidade das práticas da empresa, principalmente devido à presença do fluxo de MTO e por compreender, inclusive, as práticas circulares já adotadas pela empresa. O MDPC proposto apresenta elevada abrangência e adaptabilidade de atividades, permitindo a aplicação para outros produtos e segmentos, incluindo embalagens.

Devido à existência do fluxo alternativo, orientado para inovação e com a aplicação do *Design Thinking* (DT), oportuniza a execução de práticas circulares desde as etapas iniciais do desenvolvimento, indicando o momento exato a ser empregada. Ademais, o MDPC teórico objetiva integrar e descrever as práticas circulares a um nível operacional de atividades e para cada uma das fases do processo de desenvolvimento de produto, propiciando a formalização que faltou no PDP da empresa estudada.

Contudo, o MDPC ainda é teórico, precisa ser adaptado considerando a

realidade de cada aplicação e, principalmente, testado.

6 DISCUSSÕES

Este capítulo tem o objetivo de apresentar discussões e uma análise das contribuições da pesquisa, a partir da análise dos objetivos específicos propostos, apresentados no capítulo 1.

Com o primeiro objetivo específico, foi possível abordar os princípios e definições da Economia Circular. Uma pesquisa documental exploratória permitiu conhecer as definições, características, estratégias empregadas, barreiras, oportunidades e a importância deste, que é considerado um modelo de economia que integra as organizações e o meio ambiente para alcançar a sustentabilidade.

Com isso, observou-se a relação e a importância da adoção da EC como estratégia para alcançar os ODS. Isso se deve a uma relação direta, identificada nesta pesquisa, entre os princípios da EC e 12 dos 17 ODS, que ficam mais evidentes quando são considerados os esforços, que diversas instituições ao redor do mundo, como a Organização das Nações Unidas (ONU), União Europeia (EU), Ellen MacArthur Foundation, o Circ It Nord, e entre outras, dedicam ao tema.

No segundo e terceiro objetivo específico foram identificados modelos de desenvolvimento circulares para produtos físicos, além de práticas e iniciativas circulares voltadas para o processo de desenvolvimento de produtos.

A revisão da literatura abordou as terminologias adotadas para o tema desenvolvimento de produtos, os conceitos, definições e a importância do processo dentro do contexto de economia circular.

Essa revisão considerou as publicações mais recentes sobre o tema e importantes documentos da Europa, considerada referência da EC no mundo. Entre eles, destaca-se os modelos de desenvolvimento de produtos circulares proposto por Oliveira, França e Rangel (2019), o Guia Circit Nord, para desenvolvimento de produtos e o Plano de Ação da União Europeia.

Percebeu-se que os conjuntos de normas ISO/TC 323 e ISO WD 59004, que visam padronizar aspectos da EC e apoiar os 17 ODS estabelecidos pela ONU, encontram-se em elaboração por comitês formados por especialistas de 65 países organizados.

A RSL permitiu identificar os modelos de desenvolvimento circulares para produtos físicos, já desenvolvidos, práticas e iniciativas circulares adotadas pelos

modelos, normas e documentos relacionados ao tema Desenvolvimento de Produtos Circulares.

A RSL compreendeu ainda buscas nas bases científicas no portal da CAPES, no caso, a *Scopus*, tendo como resultado inicial 1128 artigos, sendo necessário a aplicação de critérios de inclusão e exclusão para identificação dos artigos mais aderentes ao tema de pesquisa, resultando na seleção de 81 artigos.

A análise dos artigos revelou que organizações ao redor do mundo têm explorado maneiras de integrar práticas e iniciativas sustentáveis aos seus processos. Uma delas é por meio dos Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDP), (SELVEFORS et al., 2019). São esforços para adoção de métodos que viabilizem a integração de estratégias, ferramentas e indicadores, que podem elevar o desempenho ambiental e aproveitar os benefícios da transição para a uma EC. (SELVEFORS et al., 2019).

Predominantemente, os autores abordaram, isoladamente, as práticas e iniciativas circulares em algumas das fases e etapas iniciais do desenvolvimento de produto com foco no projeto. O foco dessas abordagens se justifica, pois, as etapas iniciais do PDP podem definir até 80% de todo o impacto ambiental e, conforme o processo avança e as soluções técnicas são estabelecidas, fica mais difícil incluir soluções sustentáveis. Outro fator é que, por definição, a EC tem forte ligação com o *Design* (ABNT, 2004; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021; SHAHBAZI et al., 2020).

No entanto, essas abordagens revelaram a oportunidade de desenvolvimento de um modelo mais abrangente no que compete às etapas do PDP, permitindo examinar a viabilidade de expandir a aplicação das práticas e iniciativas de EC a todo o processo de desenvolvimento, sem limitar somente às etapas iniciais.

Considerando ainda o foco deste trabalho, uma nova RSL foi empregada. O termo relacionado a embalagem foi adicionado a estratégia da RSL anterior, com o objetivo de identificar práticas e iniciativas empregadas para integração dos aspectos da EC no desenvolvimento de embalagens circulares. A busca inicial resultou em 33 artigos e após a aplicação de critério de inclusão e exclusão, 12 artigos foram selecionados.

As estratégias de reciclagem, reutilização, reuso e atualização com foco nas diretrizes de redução do uso de recursos naturais, uso de resíduos e materiais reciclados como recursos foram adotadas para o desenvolvimento de embalagens

circulares. A estratégias de reciclagem e a diretriz redução de recursos foram as mais citadas.

As fases de Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento, e Pós- desenvolvimento foram abordadas nos estudos, concentrando-se nas etapas de projeto informacional, conceitual e detalhado, seleção de materiais e revisão do produto.

Ao encontro do que Koeijer, Wever e Henseler (2017) afirmaram, não há um grande número de modelos que abordam as considerações de sustentabilidade e/ou circularidade no desenvolvimento de embalagens na literatura atual (DE KOEIJER; WEVER; HENSELER, 2017).

Além de limitado, observou-se diferentes abordagens e modelos de desenvolvimento, elaborados caso a caso, conforme as aplicações do produto. O motivo é porque, em geral, os produtos, como embalagens, podem ser projetados para atender as necessidades do mercado, adequar-se a diferentes funções, ou, ainda, atenderem estratégias específicas, como a reciclagem, por exemplo. Assim, as soluções mais relevantes para o projeto e desenvolvimento, são específicas de cada organização e produto (ABNT, 2004).

O quarto objetivo específico era propor a integração das práticas e iniciativas circulares em um modelo desenvolvimento de produtos tradicional, de referência.

Essas práticas, que estão relacionadas com todas as estratégias circulares, identificadas na literatura como reutilizar, remanufaturar, reciclar, reparar/manter, cascadear, recondicionar, reaproveitar, reciclar e incinerar foram integradas ao modelo de referência proposto por Rozenfeld et al. (2006).

Tendo sua origem e abrangência na Engenharia de Produção, o modelo de Rozenfeld et. al. (2006) se mostrou amplamente empregado na literatura de desenvolvimento de produtos. Abordado por Oliveira, França e Rangel (2019), que propuseram um modelo de desenvolvimento de produtos circulares para arranjos produtivos locais (APLs), apresentou forte similaridade com os modelos que foram apresentados por Ulrich e Eppinger (2018), e a norma ABNT ISO/TR 14062/2012, abordada no capítulo 2 deste trabalho, além de atender aos requisitos de gerenciamento e garantia da qualidade de produto e processo do conjunto de normas da ISO 9000.

O modelo proposto considera o maior número possível de práticas circulares para todas as etapas do desenvolvimento de produtos, compreendendo as macrofases de desenvolvimento, pré e pós-desenvolvimento, que vão desde o

Planejamento Estratégico de Produtos (PEP) até a Descontinuar Produto no Mercado (DPM). Argumenta-se que, desta maneira, é possível que diferentes proposições de conceitos e soluções circulares possam ser geradas, aumentando as oportunidades de circularidade.

Gerado o maior número possível de alternativas, nas etapas de definição de conceito do PC, é possível avaliar os impactos ambientais e as circularidades através das ferramentas de análise e da avaliação de ciclo de vida (ACV), respectivamente. Ferramentas amplamente empregadas na literatura para apoiar a decisão e escolha do melhor conceito (ACERBI; TAISCH, 2020); (ALBÆK et al., 2020); (LONGO et al., 2021); (POLVERINI; MIRETTI, 2019) (TALENS PEIRÓ et al., 2020); (RIO et al., 2020); (SCHULZ et al., 2021); (SHOAIB-UL-HASAN et al., 2021); (VIMAL; KANDASAMY; GITE, 2021); (WAGNER; BOLOGNA PAVLIK, 2020)..

As práticas e exemplos foram detalhadas como atividades, apresentando caráter operacional, em um nível além da gestão, compreendendo entradas, processamento e saídas. Esse nível de detalhamento permitiu que as práticas circulares fossem endereçadas nas etapas e atividades do modelo de referência, a partir da análise do seu conteúdo, e que facilitará a aplicação, a análise crítica e a identificação de futuras melhorias no modelo proposto.

Entre os trabalhos correlatos, destaca-se o documento Guide Circ It Nord, para desenvolvimento de produtos, abordado nesta pesquisa, que apresenta uma lista de práticas, já vinculadas às devidas estratégias circulares e que podem ser consultadas durante o desenvolvimento (SHAHBAZI et al., 2020). No entanto, o documento sugere aplicação nas etapas iniciais, mas não aborda em profundidade o momento específico que estas práticas poderiam ser adotadas no processo.

Outro trabalho correlato é o de Oliveira, França e Rangel (2019) que, apresentando um *framework*, também baseado no modelo de Rozenfeld et al. (2006), destacou a importância dos arranjos produtivos locais, a adoção dos aspectos da economia circular e do pensamento do ciclo de vida durante o desenvolvimento de produtos.

Finalmente, o quinto, e último, objetivo específico era apresentar o modelo de desenvolvimento circular e o estudo de caso.

O modelo foi apresentado em três etapas. A etapa 1, que abordou os objetivos e escopo das macrofases, fases, etapas e atividades do modelo de referência proposto Rozenfeld (2006). A etapa 2, que detalhou a proposta de integração das

práticas circulares em cada uma das fases do MDP de referência. Ou seja, foi apresentado o momento em que cada prática circular deveria ser adotada no modelo de referência e a justificativa para tal integração. E a etapa 3, que apresentou as práticas circulares propostas, seu escopo, objetivos e exemplos.

Visando aproveitar o *know-how* de uma organização especialista no desenvolvimento de embalagens e avaliar o modelo circular proposto, analisou-se o processo de desenvolvimento de produtos existente em uma empresa de manufatura.

Foram realizadas visitas técnicas e reuniões com gestores e representantes da empresa, que forneceram procedimentos e instruções de trabalho sobre o processo de desenvolvimento de produtos. Na ocasião, os objetivos propostos foram devidamente atendidos. São eles: (i) apresentar o projeto; (ii) apresentar a proposta do modelo de desenvolvimento de produtos circulares; (iii) entender o processo de desenvolvimento de produtos da organização e esclarecer algumas dúvidas que surgiram a partir da análise dos documentos.

A análise de documentos relacionados ao processo de desenvolvimento de produtos da organização permitiu a coleta de informações de como era realizado o DP de uma embalagem real, ou seja, como era a sequência de atividades, informações para chegar a um produto final e a proposição de melhorias no processo de desenvolvimento de produtos da organização.

7 CONCLUSÃO

Em suma, o objetivo geral, que era propor um modelo de desenvolvimento de produtos circulares, foi alcançado através do estudo e pesquisa apresentados com a entrega deste trabalho.

O modelo compreende duas alternativas de fluxo. A primeira alternativa adere as etapas do desenvolvimento de produtos tradicional, o *make-to-order*, utilizado pela indústria manufatureira de embalagens, abordada no estudo de caso, e que inicia a partir de um conceito já definido. A segunda alternativa utiliza ferramentas do *design thinking* como método criativo para proposição de novas ideias e soluções desde as primeiras etapas do desenvolvimento.

A escolha entre as alternativas de fluxo é uma decisão da equipe de desenvolvimento, baseado na realidade de cada organização e produto, mas argumenta-se que as oportunidades de maximizar as práticas circulares são maiores na adoção do fluxo com o *design thinking*.

O modelo de referência, proposto por Rozenfeld et al (2006), foi o ponto de partida e a base do modelo circular apontado nesta pesquisa.

O modelo de referência não contempla etapas e atividades relacionadas às práticas da economia circular. Isto porque, o tema EC, sequer havia surgido quando Rozenfeld et al. (2006) propuseram o modelo. No entanto, é amplamente utilizado na literatura, abrangente no número de etapas e atividades e adaptável para diversas aplicações e, por este motivo, foi selecionado.

As estratégias e práticas circulares, que surgiram de maneira expressiva a partir de 2016 e que crescem ao longo dos anos, foram depreendidas dos artigos científicos e de documentos da literatura relacionados ao tema. Logo, as práticas circulares voltadas para o desenvolvimento de produtos e resultantes da revisão da literatura, foram identificadas e endereçadas nas fases e etapas do modelo de referência, a partir do que indicavam os documentos examinados.

Ao todo, 27 práticas circulares foram integradas às fases e etapas previstas nas macrofases do modelo de referência. A maior parte delas foram endereçadas nas etapas iniciais do desenvolvimento, ou seja, na macrofase de pré-desenvolvimento e desenvolvimento. Isto se justifica, pois, as etapas iniciais do PDP podem definir até 80% de todo o impacto ambiental e conforme o processo avança e as soluções técnicas são estabelecidas, fica mais difícil incluir soluções sustentáveis. (ABNT,

2004; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021; SHAHBAZI et al., 2020). No entanto, todas as etapas do modelo foram abordadas e apresentarem práticas circulares.

Considerando ainda a importância de aproveitar o *know-how* do mercado, um estudo de caso, aplicado em uma indústria manufatureira, desenvolvedora de embalagens, evidenciou a afinidades e oportunidades quando o processo de desenvolvimento de organização foi confrontado com o modelo circular proposto.

Pode-se destacar que a afinidade ocorreu pelo fluxo *make-to order* e as oportunidades pela adoção de práticas e iniciativas circulares relacionadas as fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos, exploradas através do fluxo de *design thinking*. Um exemplo é a adoção de pesquisas de mercado de produtos circulares, prática indicada nas etapas de Planejamento do produto e projeto e não adotada pela organização.

7.1 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou o uso da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e Avaliação de Circularidade, ferramentas amplamente empregadas na literatura, como práticas circulares a serem adotadas durante o projeto conceitual (ACERBI; TAISCH, 2020; ALBÆK et al., 2020; LONGO et al., 2021; POLVERINI; MIRETTI, 2019; TALENS PEIRÓ et al., 2020; RIO et al., 2020; SCHULZ et al., 2021; SHOAIB-UL-HASAN et al., 2021; VIMAL; KANDASAMY; GITE, 202; WAGNER; BOLOGNA PAVLIK, 2020). No entanto, outras ferramentas derivadas ou não destas duas foram desenvolvidas e poderiam ser explorados como possíveis alternativas às ferramentas citadas no modelo circular apresentado.

Este trabalho apresenta a prática de *Product-Service Systems* (PSS), tida na literatura como uma maneira de apoiar a transição para uma economia verde. Entre os modelos possíveis de PSS, o modelo de orientado para resultado é citado como o mais sustentável (SCHEEPENS; VOGTLÄNDER; BREZET, 2016). No entanto, alguns estudos sugerem que esta prática deve ser aplicada com cautela e alimentam importantes discussões sobre o tema (BECH et al., 2019).

Esta pesquisa foi realizada durante o contexto da pandemia do COVID-19, que iniciou em 2019 e estendeu-se até a presente data em que esta dissertação foi escrita. Por este motivo, houveram implicações nas trocas de informações e envio de

documentos da empresa abordada no estudo de caso. Os acessos às instalações da empresa ficaram bastante restritos e por vezes foram proibidos, isto impediu de acompanhar a produção, aplicar o modelo e desenvolver um produto real, o que permitiria a avaliação e possíveis melhorias no modelo. A pandemia também restringiu a possibilidade de reunir pessoas em um mesmo espaço físico para promover *workshops* e aplicar os métodos criativos de resolução de problemas, como *Design Thinking* (DT), propostos nesta pesquisa. Logo, a aplicação do modelo proposto para o desenvolvimento de uma embalagem real na própria empresa é sugerida como forma de complementar a avaliação e validar o modelo.

Ainda no âmbito do estudo de caso, apresentado como uma limitação desta pesquisa, não houve por parte dos pesquisadores uma devolutiva do diagnóstico para a empresa estudada.

O tempo estimado de duração de cada atividade/prática circular não foi verificado e observou-se que alguns trabalhos apresentam extenso estudo sobre uma prática e etapa de desenvolvimento. Ou seja, a conclusão das atividades propostas no modelo pode levar dias, semanas e até meses o que pode não atender determinados produtos e organizações. Um exemplo é a prática de simbiose industrial, que pode requer o desenvolvimento de parcerias externas e mapeamentos do ciclo de vida do produto para construção de portfólio de resíduos reaproveitáveis. Ressalta-se, no entanto, que após definido este portfólio, os materiais podem ser selecionados durante as fases de projeto conceitual e detalhamento de forma mais rápida.

O modelo proposto pode ser adaptado para outros produtos físicos, uma vez que, conforme o estudo de caso apresentado, no processo de “*make to order*” é que as embalagens ganham ênfase. Isso pode expandir as oportunidades de aplicação e ser melhor explorado. Logo, para estudos futuros, sugere-se a aplicação em outras organizações, fabricantes de embalagens e outros produtos físicos.

REFERÊNCIAS

2030, Agenda. **Plataforma Agenda 2030**. 2021. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/sobre/>. Acesso em: 8 jun. 2021.

ABNT. **ABNT ISO_TR 14062 - Gestão ambiental - Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto**. 2004. Disponível em: https://kupdf.net/download/abnt-iso-tr-14062-gest-atilde-o-ambiental-integra-ccedil-atilde-o-de-aspectos-ambientais-no-projeto-e-desenvolvimento-do-produto_5afa584ee2b6f5e25b596c28_pdf. Acesso em: 27 maio. 2021.

ACERBI, F.; TAISCH, M. **Towards a Data Classification Model for Circular Product Life Cycle Management**. [s.l.: s.n.]. v. 594 DOI: 10.1007/978-3-030-62807-9_38.

ACKERMANN, L. Design for Product Care: Enhancing Consumers' Repair and Maintenance Activities. **Design Journal**, [S. l.], v. 21, n. 4, p. 543–551, 2018. DOI: 10.1080/14606925.2018.1469331.

ADISORN, T.; THOLEN, L.; GÖTZ, T. Towards a digital product passport fit for contributing to a circular economy. **Energies**, [S. l.], v. 14, n. 8, 2021. DOI: 10.3390/en14082289.

AGUIAR, M. F.; FRASCARELI, FERNANDA C. O.; PINHEIRO, MARCO A. P.; DEUS, R. M.; JUGEND, D. Indicadores da Economia Circular e o Desenvolvimento de Produtos Circulares: uma revisão sistemática de literatura. In: 2020, **Anais [...]**. : ENEGEP 2020 - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2020. DOI: 10.14488/ENEPEP2020_TN_STO_346_1777_40290. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/publicacoes/artigo.asp?e=enegep&a=2020&c=40290>. Acesso em: 26 maio. 2021.

ALBÆK, J. K.; SHAHBAZI, S.; MCALOONE, T. C.; PIGOSSO, D. C. A. Circularity evaluation of alternative concepts during early product design and development. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 12, n. 22, p. 1–25, 2020. DOI: 10.3390/su12229353.

ALCAYAGA, A.; WIENER, M.; HANSEN, E. G. Towards a framework of smart-circular systems: An integrative literature review. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 221, p. 622–634, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.085.

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 and Recycling**, [S. l.], v. 140, p. 246–258, 2019. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.02.031.

ANDLER, R.; VALDÉS, C.; URTUVIA, V.; ANDREESSEN, C.; DÍAZ-BARRERA, A. Fruit residues as a sustainable feedstock for the production of bacterial polyhydroxyalkanoates. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 307, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127236.

ASKNATURE. **The Biomimicry Institute**. 2022. Disponível em: <https://asknature.org/about/>. Acesso em: 30 maio. 2022.

BANK, World. **Vamos mesmo precisar de dois novos planetas?** 2018. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/news/feature/2016/08/09/objetivo-desarrollo-sostenible-ods-12-consumo>. Acesso em: 10 jul. 2021.

BECCI, A.; KARAJ, D.; MERLI, G.; BEOLCHINI, F. Biotechnology for metal recovery from end-of-life printed circuit boards with *Aspergillus niger*. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 12, n. 16, 2020. DOI: 10.3390/su12166482.

BECH, N. M.; BIRKVED, M.; CHARNLEY, F.; KJAER, L. L.; PIGOSSO, D. C. A.; HAUSCHILD, M. Z.; MCALOONE, T. C.; MORENO, M. Evaluating the environmental performance of a product/service-system business model for Merino Wool Next-to-Skin Garments: The case of Armadillo Merino®. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 11, n. 20, 2019. DOI: 10.3390/su11205854.

BOCKEN, N. M. P.; DE PAUW, I.; BAKKER, C.; VAN DER GRINTEN, B. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, [S. l.], v. 33, n. 5, p. 308–320, 2016. DOI: 10.1080/21681015.2016.1172124.

BOCKEN, N.; STRUPEIT, L.; WHALEN, K.; NUSSHOLZ, J. A review and evaluation of circular business model innovation tools. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 11, n. 8, 2019. DOI: 10.3390/su11082210.

BONINI, Luiz Alberto; SBAGIA, Roberto. O Modelo de Design Thinking como Indutor da Inovação nas Empresas: Um Estudo Empírico. **Revista de Gestão e Projetos**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 03–25, 2011. DOI: 10.5585/GEP.V2I1.36.

BOORSMA, N.; BALKENENDE, R.; BAKKER, C.; TSUI, T.; PECK, D. Incorporating design for remanufacturing in the early design stage: a design management perspective. **Journal of Remanufacturing**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 25–48, 2021. DOI: 10.1007/s13243-020-00090-y.

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**, [S. l.], v. 228, p. 483–494, 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.08.014.

BOYER, R. H. W.; HUNKA, A. D.; LINDER, M.; WHALEN, K. A.; HABIBI, S. Product Labels for the Circular Economy: Are Customers Willing to Pay for Circular? **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 27, p. 61–71, 2021. DOI: 10.1016/j.spc.2020.10.010.

BRASKEM. **Braskem I'm Green.** 2020. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/imgreen>. Acesso em: 3 jan. 2022.

BRESSANELLI, G.; SACCANI, N.; PERONA, M.; BACCANELLI, I. Towards circular economy in the household appliance industry: An overview of cases. **Resources**, [S. l.], v. 9, n. 11, p. 1–23, 2020. DOI: 10.3390/resources9110128.

BUYLE, M.; GALLE, W.; DEBACKER, W.; AUDENAERT, A. Consequential LCA of demountable and reusable internal wall assemblies: A case study in a Belgian context.

In: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE 2019, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] DOI: 10.1088/1755-1315/323/1/012057.

CHAMBERLIN, L.; BOKS, C. Marketing approaches for a circular economy: Using design frameworks to interpret online communications. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 10, n. 6, 2018. DOI: 10.3390/su10062070.

CIVANCIK-USLU, D.; PUIG, R.; VOIGT, S.; WALTER, D.; FULLANA-I-PALMER, P. Improving the production chain with LCA and eco-design: application to cosmetic packaging. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 151, 2019. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104475.

CONFORTO; AMARAL. (PDF) **Roteiro para Revisão Bibliográfica Sistemática: Aplicação no Desenvolvimento de Produtos e Gerenciamento de Projetos**. [s.d.]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267380020_Roteiro_para_Revisao_Bibliografica_Sistemática_Aplicacao_no_Developolvimento_de_Produtos_e_Gerenciamento_de_Projetos. Acesso em: 2 jul. 2021.

COTTAFAVA, D.; RITZEN, M. Circularity indicator for residential buildings: Addressing the gap between embodied impacts and design aspects. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 164, 2021. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105120.

CZARNECKA-KOMOROWSKA, D.; WISZUMIRSKA, K. Sustainability design of plastic packaging for the Circular Economy | Zrównoważone projektowanie opakowań z tworzyw sztucznych w gospodarce cyrkularnej. **Polimery/Polymers**, [S. l.], v. 65, n. 1, p. 8–17, 2020. DOI: 10.14314/POLIMERY.2020.1.2.

DA SILVA, R. C.; PUGLIERI, F. N.; DE GENARO CHIROLI, D. M.; BARTMEYER, G. A.; KUBASKI, E. T.; TEBCHERANI, S. M. Recycling of glass waste into foam glass boards: A comparison of cradle-to-gate life cycles of boards with different foaming agents. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 771, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145276.

DE KOEIJER, B.; WEVER, R.; HENSELER, J. Realizing Product-Packaging Combinations in Circular Systems: Shaping the Research Agenda. **Packaging Technology and Science**, [S. l.], v. 30, n. 8, p. 443–460, 2017. DOI: 10.1002/pts.2219.

DE OLIVEIRA, F. R.; DOS SANTOS, R. F.; FRANÇA, S. L. B.; RANGEL, L. A. D. Strategies and challenges for the circular economy: A case study in Portugal and a panorama for Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [S. l.], v. 63, 2020. DOI: 10.1590/1678-4324-2020180646.

DE WOLF, C.; HOXHA, E.; FIVET, C. Comparison of environmental assessment methods when reusing building components: A case study. **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], v. 61, 2020. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102322.

DEN 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**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 517–525, 2017. DOI: 10.1111/jiec.12610.

DESING, H.; BRAUN, G.; HISCHIER, R. Resource pressure – A circular design method. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 164, 2021. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105179.

DESING, H.; WIDMER, R.; BELOIN-SAINT-PIERRE, D.; HISCHIER, R.; WÄGER, P. Powering a sustainable and circular economy—an engineering approach to estimating renewable energy potentials within earth system boundaries. **Energies**, [S. l.], v. 12, n. 24, 2019. DOI: 10.3390/en12244723.

DIAS, VERUSKA MAZZA RODRIGUES. **PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR APLICÁVEIS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS AERONÁUTICOS: PROPOSIÇÃO TEÓRICA E AVALIAÇÕES EM EMPRESAS**. 2019. [S. l.], 2019.

DOKMAI, B. Switching the behaviour of consumers to circular products and services with particular reference to the appeal of green batteries: An econometric analysis of evidence from Thailand. **International Journal of Technology Management and Sustainable Development**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 25–47, 2018. DOI: 10.1386/tmsd.17.1.25_1.

DOKTER, G.; VAN STIJN, A.; THUVANDER, L.; RAHE, U. Cards for circularity: Towards circular design in practice. *In*: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE 2020, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] DOI: 10.1088/1755-1315/588/4/042043.

DOMINGUEZ, S.; LASO, J.; MARGALLO, M.; ALDACO, R.; RIVERO, M. J.; IRABIEN, Á.; ORTIZ, I. LCA of greywater management within a water circular economy restorative thinking framework. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 621, p. 1047–1056, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.122.

DUGO, G.; MANCUSO, T.; MASSA, C.; ZERBO, A.; GATTO, S. Recycling of plastic materials obtaining second raw materials in a circular economy PERSPECTIVE*. **Procedia Environmental Science, Engineering and Management**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 167–174, 2020.

EBERHARDT, L. C. M.; BIRGISDOTTIR, H.; BIRKVED, M. Potential of Circular Economy in Sustainable Buildings. *In*: IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 2019, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] DOI: 10.1088/1757-899X/471/9/092051.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **What Is the circular economy?** 2021. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>. Acesso em: 4 jun. 2021.

ELLEN MACARTHUR FUNDAÇÃO; (SUN), Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit. **GROWTH WITHIN: A CIRCULAR ECONOMY VISION FOR A COMPETITIVE EUROPE**. [s.l.: s.n.].

EMF. **Circularity indicators: An Approach to Measuring Circularity Methodology**. 2015.

EUROPÉIA, União. **Eco-3e**. 2016. Disponível em: <http://eco3e.eu/base/plastics/?lang=en>. Acesso em: 28 set. 2021.

FAVI, C.; MARCONI, M.; GERMANI, M.; MANDOLINI, M. A design for disassembly tool oriented to mechatronic product de-manufacturing and recycling. **Advanced Engineering Informatics**, [S. l.], v. 39, p. 62–79, 2019. DOI: 10.1016/j.aei.2018.11.008.

FAVI, C.; MARCONI, M.; MANDOLINI, M.; GERMANI, M. Big data analysis for the estimation of disassembly time and de-manufacturing activity. *In*: **PROCEDIA CIRP** 2020, **Anais** [...]. [s.l: s.n.] p. 617–622. DOI: 10.1016/j.procir.2020.01.072.

FERNANDES, S. D. C.; PIGOSSO, D. C. A.; MCALOONE, T. C.; ROZENFELD, H. Towards product-service system oriented to circular economy: A systematic review of value proposition design approaches. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 257, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120507.

FERNANDEZ DE ARROYABE, J. C.; ARRANZ, N.; SCHUMANN, M.; ARROYABE, M. F. The development of CE business models in firms: The role of circular economy capabilities. **Technovation**, [S. l.], v. 106, 2021. DOI: 10.1016/j.technovation.2021.102292.

FLOOD, M.; FENNESSY, L.; LOCKREY, S.; AVENDANO, A.; GLOVER, J.; KANDARE, E.; BHAT, T. Glass Fines: A review of cleaning and up-cycling possibilities. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 267, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121875.

FOGARASSY, C.; FINGER, D. Theoretical and practical approaches of circular economy for business models and technological solutions. **Resources**, [S. l.], v. 9, n. 6, p. 1–9, 2020. DOI: 10.3390/resources9060076.

FRANCO, M. A. A system dynamics approach to product design and business model strategies for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 241, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118327.

GALLAGHER, J.; BASU, B.; BROWNE, M.; KENNA, A.; MCCORMACK, S.; PILLA, F.; STYLES, D. Adapting Stand-Alone Renewable Energy Technologies for the Circular Economy through Eco-Design and Recycling. **Journal of Industrial Ecology**, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 133–140, 2019. DOI: 10.1111/jiec.12703.

GHISELLINI, P.; ULGIATI, S. Circular economy transition in Italy. Achievements, perspectives and constraints. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 243, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118360.

GHOREISHI, M.; HAPPONEN, A. Key enablers for deploying artificial intelligence for circular economy embracing sustainable product design: Three case studies. *In*: **AIP CONFERENCE PROCEEDINGS** 2020, **Anais** [...]. [s.l: s.n.] DOI: 10.1063/5.0001339.

GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ, J.; SÁNCHEZ-BARROSO, G.; ZAMORA-POLO, F.; GARCÍA-SANZ-CALCEDO, J. Application of circular economy techniques for design and development of products through collaborative project-based learning for industrial

engineer teaching. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 12, n. 11, 2020. DOI: 10.3390/su12114368.

GORECKI, J. Circular Economy Maturity in Construction Companies. In: IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 2019, **Anais [...]**. [s.l.: s.n.] DOI: 10.1088/1757-899X/471/11/112090.

HARTLEY, K.; VAN SANTEN, R.; KIRCHHERR, J. Policies for transitioning towards a circular economy: Expectations from the European Union (EU). **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 155, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104634.

HAYES, M.; GALLAGHER, M. Processing and recovery of valuable components from pelagic blood-water waste streams: A review and recommendations. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 215, p. 410–422, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.028.

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 (Switzerland)**, [S. l.], v. 13, n. 6, 2021. DOI: 10.3390/su13063407.

HERNANDEZ, R. J.; MIRANDA, C.; GOÑI, J. Empowering sustainable consumption by giving back to consumers the “right to repair”. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 12, n. 3, 2020. DOI: 10.3390/su12030850.

HEYES, G.; SHARMINA, M.; MENDOZA, J. M. F.; GALLEGOS-SCHMID, A.; AZAPAGIC, A. Developing and implementing circular economy business models in service-oriented technology companies. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 177, p. 621–632, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.168.

HOSSEINIAN, A.; YLÄ-MELLA, J.; PONGRÁCZ, E. Current status of circular economy research in finland. **Resources**, [S. l.], v. 10, n. 5, 2021. DOI: 10.3390/resources10050040.

HUNKA, A. D.; LINDER, M.; HABIBI, S. Determinants of consumer demand for circular economy products. A case for reuse and remanufacturing for sustainable development. **Business Strategy and the Environment**, [S. l.], v. 30, n. 1, p. 535–550, 2021. DOI: 10.1002/bse.2636.

INNOVATION, Board Of. **Pensamento oposto - Conselho de Inovação**. 2021. Disponível em: <https://www.boardofinnovation.com/tools/opposite-thinking/>. Acesso em: 10 jul. 2021.

ISO. **ISO - ISO / TC 323 - Economia circular**. 2021. Disponível em: <https://www.iso.org/committee/7203984.html>. Acesso em: 23 jun. 2021.

JULIANELLI, V.; CAIADO, R. G. G.; SCAVARDA, L. F.; CRUZ, S. P. D. M. F. Interplay between reverse logistics and circular economy: Critical success factors-based taxonomy and framework. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 158, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104784.

KRYSTOFIK, M.; GAUSTAD, G. Tying product reuse into tying arrangements to achieve competitive advantage and environmental improvement. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 135, p. 235–245, 2018. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.08.028.

KURILOVA-PALISAITIENE, J.; LINDKVIST, L.; SUNDIN, E. Towards facilitating circular product life-cycle information flow via remanufacturing. *In*: PROCEDIA CIRP 2015, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] p. 780–785. DOI: 10.1016/j.procir.2015.02.162.

LANDI, D.; CICONI, P.; GERMANI, M. Analyzing the environmental sustainability of packaging for household appliances: A test case. *In*: PROCEDIA CIRP 2020, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] p. 355–360. DOI: 10.1016/j.procir.2020.01.106.

LAVAGNA, M.; DALLA VALLE, A.; GIORGI, S.; CAROLI, T.; CAMPIOLI, A. **Circular processes and life cycle design for sustainable buildings**. [s.l.: s.n.]. v. 178 SIST DOI: 10.1007/978-3-030-48279-4_135.

LEAL, J. M.; POMPIDOU, S.; CHARBUILLET, C.; PERRY, N. Design for and from recycling: A circular ecodesign approach to improve the circular economy. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 12, n. 23, p. 1–30, 2020. DOI: 10.3390/su12239861.

LEKAN, A.; CLINTON, A.; JAMES, O. The disruptive adaptations of construction 4.0 and industry 4.0 as a pathway to a sustainable innovation and inclusive industrial technological development. **Buildings**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 1–28, 2021. DOI: 10.3390/buildings11030079.

LEPELAAR, M.; NACKENHORST, K.; OSKAM, I. Exploring unique material characteristics by combining textile waste with biobased plastics. *In*: ALIVE. ACTIVE. ADAPTIVE: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXPERIENTIAL KNOWLEDGE AND EMERGING MATERIALS, EKSIG 2017 2017, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] p. 156–167.

LIEDER, M.; ASIF, F. M. A.; RASHID, A. A choice behavior experiment with circular business models using machine learning and simulation modeling. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 258, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120894.

LOFTHOUSE, V.; TRIMINGHAM, R.; BHAMRA, T. Reinventing refills: guidelines for design. **Packaging Technology and Science**, [S. l.], v. 30, n. 12, p. 809–818, 2017. DOI: 10.1002/pts.2337.

LONCA, Geoffrey; MUGGÉO, Romain; IMBEAULT-TÉTREAU, Hugues; BERNARD, Sophie; MARGNI, Manuele. Does material circularity rhyme with environmental efficiency? Case studies on used tires. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 183, p. 424–435, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.108.

LONGO, S. et al. Life cycle assessment for supporting eco-design: The case study of sodium–nickel chloride cells. **Energies**, [S. l.], v. 14, n. 7, 2021. DOI: 10.3390/en14071897.

LUGNET, J.; ERICSON, Å.; LARSSON, T. Design of product–service systems: Toward an updated discourse. **Systems**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 1–14, 2020. DOI: 10.3390/systems8040045.

MALABI EBERHARDT, L. C.; STIJN, A. V.; RASMUSSEN, F. N.; BIRKVED, M.; BIRGISDOTTIR, H. Towards circular life cycle assessment for the built environment: A comparison of allocation approaches. *In: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE* 2020, **Anais** [...]. [s.l: s.n.] DOI: 10.1088/1755-1315/588/3/032026.

MARIANO, Marcell; MACENO, Corrêa; JOÃO, Samuel; RAPHAELA, Danielle; ZATTAR, Izabel Cristina. Life cycle assessment and circularity evaluation of the non - medical masks in the Covid - 19 pandemic: a Brazilian case. **Environment, Development and Sustainability**, [S. l.], n. 0123456789, 2022. DOI: 10.1007/s10668-022-02388-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02388-2>.

MARRUCCI, L.; DADDI, T.; IRALDO, F. The integration of circular economy with sustainable consumption and production tools: Systematic review and future research agenda. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 240, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118268.

MARTINS, F.; CASTRO, H. Significance ranking method applied to some EU critical raw materials in a circular economy – Priorities for achieving sustainability. *In: PROCEDIA CIRP* 2019, **Anais** [...]. [s.l: s.n.] p. 1059–1062. DOI: 10.1016/j.procir.2019.04.281.

MATHIEUX, F.; ARDENTE, F.; BOBBA, S. Ten years of scientific support for integrating circular economy requirements in the EU ecodesign directive: Overview and lessons learnt. *In: PROCEDIA CIRP* 2020, **Anais** [...]. [s.l: s.n.] p. 137–142. DOI: 10.1016/j.procir.2020.02.121.

MESA, J.; GONZÁLEZ-QUIROGA, A.; MAURY, H. Developing an indicator for material selection based on durability and environmental footprint: A Circular Economy perspective. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 160, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104887.

MINGUEZ, R.; LIZUNDIA, E.; ITURRONDOBEITIA, M.; AKIZU-GARDOKI, O.; SAEZ-DE-CAMARA, E. **Education in Circular Economy: Focusing on Life Cycle Thinking at the University of the Basque Country**. [s.l: s.n.]. DOI: 10.1007/978-3-030-70566-4_57.

MINUNNO, R.; O'GRADY, T.; MORRISON, G. M.; GRUNER, R. L. Exploring environmental benefits of reuse and recycle practices: A circular economy case study of a modular building. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 160, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104855.

MORENO, M.; DE LOS RIOS, C.; ROWE, Z.; CHARNLEY, F. A conceptual framework for circular design. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 8, n. 9, 2016. DOI: 10.3390/su8090937.

MULVANEY, D.; RICHARDS, R. M.; BAZILIAN, M. D.; HENSLEY, E.; CLOUGH, G.; SRIDHAR, S. Progress towards a circular economy in materials to decarbonize electricity and mobility. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 137, 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110604.

MURANKO, Ž.; TASSELL, C.; VAN DER LAAN, A. Z.; AURISICCHIO, M. Characterisation and environmental value proposition of reuse models for fast-moving consumer goods: Reusable packaging and products. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 1–35, 2021. DOI: 10.3390/su13052609.

NERAMBALLI, A.; SAKAO, T.; WILLISKYTT, S.; TILLMAN, A. M. A design navigator to guide the transition towards environmentally benign product/service systems based on LCA results. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 277, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124074.

NORD, CIRCit. **Guidelines for circular product design and development Table of Content**. [s.l.: s.n.].

NORD, CIRCit. **CIRCit Nord**. 2021. Disponível em: <https://circitnord.com/background/>. Acesso em: 19 jun. 2021.

OLIVEIRA, Fábio Ribeiro De; FRANÇA, Sergio Luiz Braga; RANGEL, Luís Alberto Duncan. Princípios de economia circular para o desenvolvimento de produtos em arranjos produtivos locais. **Interações (Campo Grande)**, [S. l.], v. 20, p. 1179–1193, 2019. DOI: 10.20435/inter.v20i4.1921. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v20i4.1921>. Acesso em: 16 jun. 2021.

OLIVEIRA, MICHELE MARCOS DE. Proposta de metodologia para desenvolvimento de produto inovador. [S. l.], 2014. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/handle/1884/35910>.

OLIVEIRA, F. R. D.; FRANÇA, S. L. B.; RANGEL, L. A. D. Challenges and opportunities in a circular economy for a local productive arrangement of furniture in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 135, p. 202–209, 2018. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.031.

ONU-BRASIL. **Sustainable Development Goal 12: Consumo e produção responsáveis | As Nações Unidas no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>. Acesso em: 2 jun. 2021.

ONU. **Fórum Econômico Mundial | ONU News**. 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/tags/forum-economico-mundial>. Acesso em: 5 jun. 2021.

PAIANO, A.; GALLUCCI, T.; PONTRANDOLFO, A.; LAGIOIA, G.; PICCINNO, P.; LACALAMITA, A. Sustainable options for paints through a life cycle assessment method. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 295, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126464.

PAMMINGER, R.; GLASER, S.; WIMMER, W. Modelling of different circular end-of-use scenarios for smartphones. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 26, n. 3, p. 470–482, 2021. DOI: 10.1007/s11367-021-01869-2.

PANAROTTO, M.; WALL, J.; LARSSON, T. Simulation-driven Design for Assessing Strategic Decisions in the Conceptual Design of Circular PSS Business Models. In: **PROCEDIA CIRP 2017, Anais** [...]. [s.l.: s.n.] p. 25–30. DOI: 10.1016/j.procir.2017.03.026.

PINHEIRO, Marco Antonio Paula; SELES, Bruno Michel Roman Pais; DE CAMARGO FIORINI, Paula; JUGEND, Daniel; LOPES DE SOUSA JABBOUR, Ana Beatriz; DA SILVA, Hermes Moretti Ribeiro; LATAN, Hengky. **The role of new product development in underpinning the circular economy: A systematic review and integrative framework** Management Decision Emerald Group Publishing Ltd., , 2019. DOI: 10.1108/MD-07-2018-0782.

POLVERINI, D. Regulating the circular economy within the ecodesign directive: Progress so far, methodological challenges and outlook. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 27, p. 1113–1123, 2021. DOI: 10.1016/j.spc.2021.02.023.

POLVERINI, D.; MIRETTI, U. An approach for the techno-economic assessment of circular economy requirements under the Ecodesign Directive. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 150, 2019. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104425.

REXFELT, O.; SELVEFORS, A. **A Toolkit for Designing Products and Services Fit for Circular Consumption**. [s.l.: s.n.]. DOI: 10.1007/978-981-15-6775-9_3.

RIO, M.; KHANNOUSSI, K.; CREBIER, J. C.; LEMBEYE, Y. Addressing Circularity to Product Designers: Application to a Multi-Cell Power Electronics Converter. *In*: PROCEDIA CIRP 2020, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] p. 134–139. DOI: 10.1016/j.procir.2020.02.158.

ROMNÉE, A.; VANDERVAEREN, C.; BRED, O.; DE TEMMERMAN, N. A greenhouse that reduces greenhouse effect: How to create a circular activity with construction waste? *In*: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE 2019, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.] DOI: 10.1088/1755-1315/225/1/012035.

ROZENFELD, Henrique; DANIEL CAPALDO AMARAL, DÁRIO HENRIQUE ALLIPRANDINI, FERNANDO ANTÔNIO FORCELLINI, JOSÉ CARLOS DE TOLEDO, RÉGIS KOVACS SCALICE, Sergio Luis da Silva. **GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS - Google Books**. 2006. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/GESTÃO_DE_DESENVOLVIMENTO_DE_PRODUTOS/JyprDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=rozenfeld+2006+desenvolvimento+de+produtos&printsec=frontcover. Acesso em: 9 jul. 2021.

SAN-FRANCISCO, A.; SOPELANA, N.; FERNANDEZ, J. M.; OTEGI, J. R.; MINGUEZ, R. Analysis about the incorporation of remanufacturing concept into life cycle assessment theories. **Journal of Remanufacturing**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 127–139, 2020. DOI: 10.1007/s13243-019-00078-3.

SANTAGATA, R.; ZUCARO, A.; VIGLIA, S.; RIPA, M.; TIAN, X.; ULGIATI, S. Assessing the sustainability of urban eco-systems through Emergy-based circular economy indicators. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 109, 2020. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105859.

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**, [S. l.], v. 226, p. 1138–1149, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.108.

SCHEEPENS, A. E.; VOGTLÄNDER, J. G.; BREZET, J. C. Two life cycle assessment (LCA) based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case: Making water tourism more sustainable. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 114, p. 257–268, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.05.075.

SCHULZ, M.; NIERO, M.; REHMANN, L. M.; GEORG, S. Exploration of decision-contexts for circular economy in automotive industry. In: **PROCEDIA CIRP 2021, Anais** [...]. [s.l.: s.n.] p. 19–24. DOI: 10.1016/j.procir.2020.11.005.

SELVEFORS, A.; REXFELT, O.; RENSTRÖM, S.; STRÖMBERG, H. Use to use – A user perspective on product circularity. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 223, p. 1014–1028, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.117.

SHAHBAZI, S. ; JÖNBRINK, A. K. ; JENSEN, T.; HJORT, ; PIGOSSO, D. C. A. ; MCALOONE, T. C. **General rights Circular Product Design and Development: CIRCit Workbook 3**. [s.l.: s.n.].

SHAHBAZI, S.; JÖNBRINK, A. K. Design guidelines to develop circular products: Action research on nordic industry. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 12, n. 9, 2020. DOI: 10.3390/su12093679.

SHOAIB-UL-HASAN, S.; ROCI, M.; ASIF, F. M. A.; SALEHI, N.; RASHID, A. Analyzing temporal variability in inventory data for life cycle assessment: Implications in the context of circular economy. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 1–12, 2021. DOI: 10.3390/su13010344.

SIMINELLI, C. Consumer behaviours and attitudes towards a circular economy: Knowledge and culture as determinants in a four-market analysis. **Economics and Policy of Energy and the Environment**, [S. l.], v. 2017, n. 1, p. 135–169, 2017. DOI: 10.3280/EFE2017-001008.

SINCLAIR, M.; SHELDRIK, L.; MORENO, M.; DEWBERRY, E. Consumer intervention mapping-A tool for designing future product strategies within circular product service systems. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 10, n. 6, 2018. DOI: 10.3390/su10062088.

STEENIS, N. D.; VAN DER LANS, I. A.; VAN HERPEN, E.; VAN TRIJP, H. C. M. Effects of sustainable design strategies on consumer preferences for redesigned packaging. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 205, p. 854–865, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.137.

SUMTER, D.; BAKKER, C.; BALKENENDE, R. The role of product design in creating circular business models: A case study on the lease and refurbishment of baby strollers. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 10, n. 7, 2018. DOI: 10.3390/su10072415.

SVENSSON-HOGLUND, S.; RICHTER, J. L.; MAITRE-EKERN, E.; RUSSELL, J. D.; PIHLAJARINNE, T.; DALHAMMAR, C. Barriers, enablers and market governance: A review of the policy landscape for repair of consumer electronics in the EU and the

U.S. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 288, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125488.

TALENS PEIRÓ, L.; POLVERINI, D.; ARDENTE, F.; MATHIEUX, F. Advances towards circular economy policies in the EU: The new Ecodesign regulation of enterprise servers. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 154, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104426.

TEN WOLDE, A. Briefing: Governments as drivers for a circular economy. **Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management**, [S. l.], v. 169, n. 4, p. 149–150, 2016. DOI: 10.1680/jwarm.16.00017.

UE. **Circular Economy | EPRS | European Parliament**. 2020a. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html>. Acesso em: 24 jun. 2021.

UE. **EUR-EN-Lex - 52020DC0098 - COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS**. 2020b. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN#footnote5>. Acesso em: 24 jun. 2021.

UE. **ISO TC / 323 - Plataforma de partes interessadas da economia circular europeia**. 2021. Disponível em: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/news-and-events/all-news/iso-tc323-connects-dots-circular-economy>. Acesso em: 23 jun. 2021.

UMEDA, Y.; KITAGAWA, K.; HIROSE, Y.; AKAHO, K.; SAKAI, Y.; OHTA, M. Potential impacts of the European Union's circular economy policy on Japanese manufacturers. **International Journal of Automation Technology**, [S. l.], v. 14, n. 6, p. 857–866, 2020. DOI: 10.20965/ijat.2020.p0857.

URBINATI, A.; CHIARONI, D.; TOLETTI, G. Managing the introduction of circular products: Evidence from the beverage industry. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 11, n. 13, 2019. DOI: 10.3390/su11133650.

VAN DAM, S.; SLEESWIJK VISSER, F.; BAKKER, C. The Impact of Co-Creation on the Design of Circular Product-Service Systems: Learnings from a Case Study with Washing Machines. **Design Journal**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 25–45, 2021. DOI: 10.1080/14606925.2020.1851427.

VAN LOON, P.; DIENER, D.; HARRIS, S. Circular products and business models and environmental impact reductions: Current knowledge and knowledge gaps. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 288, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125627.

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 and Recycling**, [S. l.], v. 135, p. 323–334, 2018. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.06.022.

VEHMAS, K.; RAUDASKOSKI, A.; HEIKKILÄ, P.; HARLIN, A.; MENSENEN, A. Consumer attitudes and communication in circular fashion. **Journal of Fashion Marketing and Management**, [S. l.], v. 22, n. 3, p. 286–300, 2018. DOI: 10.1108/JFMM-08-2017-0079.

VIMAL, K. E. K.; KANDASAMY, J.; GITE, V. A framework to assess circularity across product-life cycle stages-A case study. *In*: PROCDIA CIRP 2021, **Anais [...]**. [s.l.: s.n.] p. 442–447. DOI: 10.1016/j.procir.2021.01.131.

WAGNER, Gary A.; BOLOGNA PAVLIK, Jamie. Patent intensity and concentration: The effect of institutional quality on MSA patent activity. **Papers in Regional Science**, [S. l.], v. 99, n. 4, p. 857–898, 2020. DOI: 10.1111/pirs.12515. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/pirs.12515>. Acesso em: 28 fev. 2021.

WASTLING, T.; CHARNLEY, F.; MORENO, M. Design for circular behaviour: Considering users in a circular economy. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 10, n. 6, 2018. DOI: 10.3390/su10061743.

ZABANIOTOU, A.; KAMATEROU, P. Food waste valorization advocating Circular Bioeconomy - A critical review of potentialities and perspectives of spent coffee grounds biorefinery. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 211, p. 1553–1566, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.230.

APÊNDICE 1 – MODELO DE DESENVOLVIMENTO PRODUTOS PROPOSTO POR ROZENFELD ET AL., (2006)

O modelo de desenvolvimento de produtos é detalhado na sequência, conforme Rozenfeld et al.,(2006).

O Modelo é voltado para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis e de capital. Divide-se em macrofases, fases e atividades. As macrofases são o Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-desenvolvimento (FIGURA 48).

O Pré-desenvolvimento consiste no planejamento estratégico de produtos e planejamento do projeto. O Desenvolvimento consiste no projeto informacional, atualização do plano do projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado. O Pós-desenvolvimento consiste no acompanhamento do produto e processo, planejamento da descontinuidade do produto no mercado, desenvolvimento de processos de apoio, gerenciamento de mudanças de engenharia, melhoria (incremental) do PDP e transformação do PDP.

As macrofases Pré-desenvolvimento e Pós-desenvolvimento são mais gerais e podem ser utilizadas para outras empresas sem maiores alterações. Já as fases e atividades do Desenvolvimento são dependentes da tecnologia envolvida no produto.

O término e início de cada fase no processo é determinado por um conjunto de resultados entregáveis ou do inglês *deliverables*. Estando essas entregas aprovadas quanto a suas exigências, dá-se o fim daquela fase e início de uma nova. Para a avaliação e aprovação destas entregas dá-se o nome de transição de fase ou *gate*.

Ao término de cada fase, estes resultados não devem ser alterados sem que haja o gerenciamento destas alterações, pois como servem de subsídios para fases e atividades posteriores afetam aspectos importantes do desenvolvimento bem como podem influenciar os resultados das próximas entregas.

As fases são representadas de maneira sequencial, porém algumas atividades de uma determinada fase podem iniciar na fase anterior. É o caso do desenvolvimentos de produtos similares aos já existentes, onde uma parte considerável do projeto é conhecida e algumas adaptações são necessárias. Por exemplo, *facelift* de veículo, que consiste na atualização parcial no seu *design*, exige alterações parciais de projeto de determinadas partes, porém, outra parte do produto, sistemas e componentes estão prontos, podendo ser reaproveitados, ou necessitam

ser revisados e sofrerem alterações menores. Neste caso, algumas fases do processo podem ser antecipadas, reduzindo o tempo de desenvolvimento e produtos.

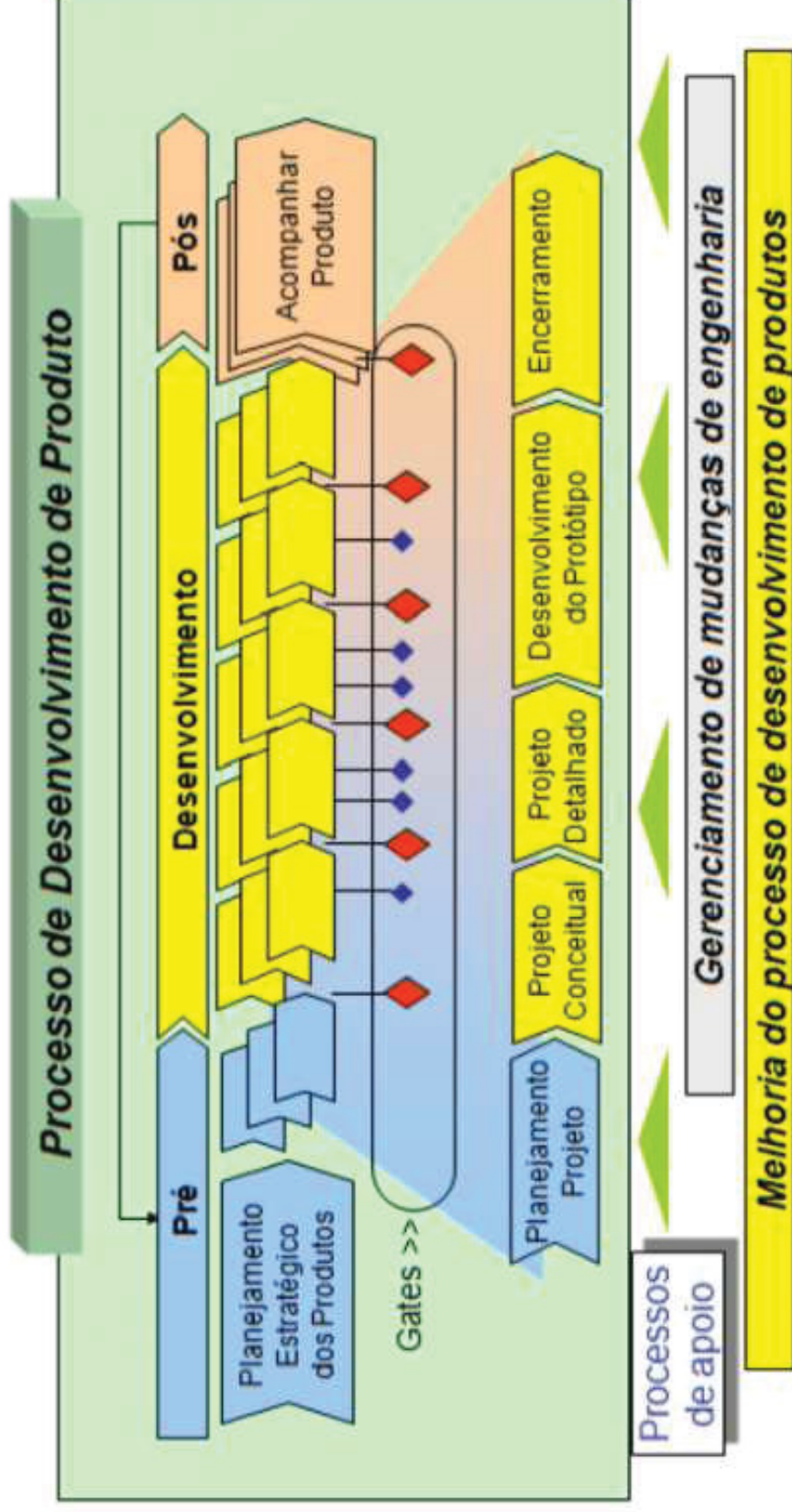
O planejamento estratégico, onde são considerados aspectos do mercado e as tecnologias existentes, envolve o conjunto de diferentes produtos de uma empresa e sua relação com objetivos de mercado que ela deseja atingir. Esse conjunto de produtos é conhecido como portfólio de produtos da empresa. Esse conjunto pode conter produtos desenvolvidos, em desenvolvimento e em prospecção. Logo, as fases do processo de desenvolvimento de produtos estarão ligadas a estes produtos, definidos como essenciais para que empresa atinja seus objetivos e satisfaça o mercado que atua.

O planejamento do projeto trata-se do desenvolvimento de um produtos em particular do portfólio. São definido, no detalhe, o escopo do produto e do projeto, os recursos necessários, o tempo e custo. Sendo este planejamento aprovado, inicia-se a fase subsequente.

Outro aspecto considerado no processo de desenvolvimento proposto é a temporalidade das fases no ciclo de vida dos produtos. Ou seja, o Pré-desenvolvimento pode levar dias, o Desenvolvimento, meses e o Pós desenvolvimento, anos.

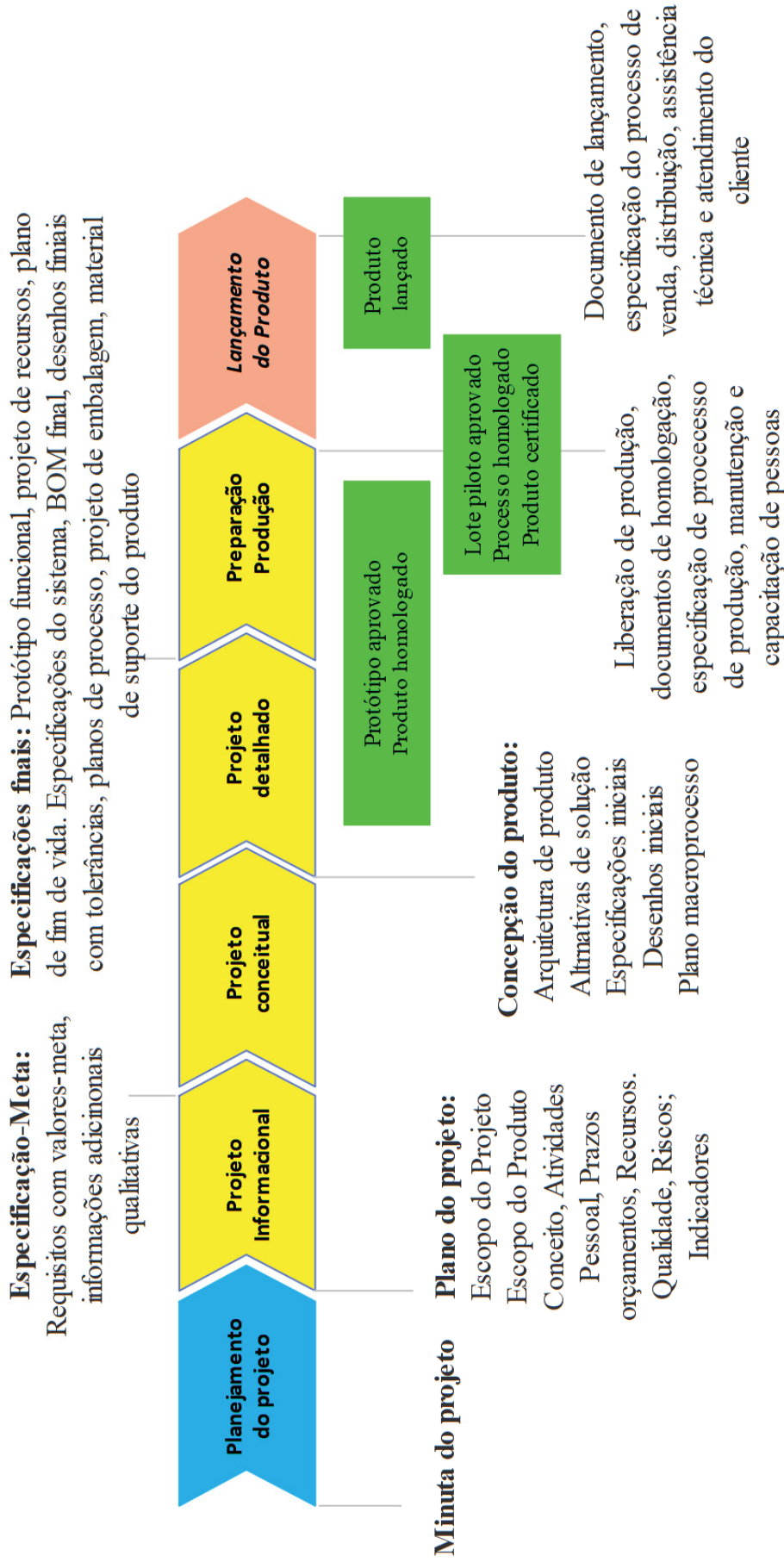
A FIGURA 49 apresenta as principais saídas e resultados de cada fase do modelo.

FIGURA 48: MDP DE ROZENFELD ET AL. (2006)



FONTE: Rozenfeld et al. (2006)

FIGURA 49: APRESENTA AS SAÍDAS E PRINCIPAIS RESULTADOS DE CADA FASE DO MDP DE ROZENFELD ET AL. (2006)



FONTE: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

APÊNDICE 2 – BRAINSTORMING, DARK SIDE E OPPOSITE THINKING: FERRAMENTAS DO DESIGN THINKING

O *Design thinking* é uma metodologia de inovação desenvolvida e implementada em 2003 por David Kelley, da consultoria em design IDEO, empresa vinculada a Universidade de Stanford localizada na região do Vale do Silício, California. É um método criativo e prático para o tratamento dos problemas de projeto, ou *design*, com o objetivo de implementar inovações nos processos e produtos de uma organização (BONINI; SBRAGIA, 2011).

Tem uma abordagem que estimula a forma de pensar e tratar os problemas com foco na empatia, colaboração e experimentação. Pode ser empregado em diversas áreas, na solução de problemas complexos e consiste ainda na formalização de novas ideias, sem pré-julgamentos (BONINI; SBRAGIA, 2011).

O processo de *Design think* apresenta três fases fundamentais, a Inspiração, ideação e implementação. Para auxiliar a implementação, cada uma dessas fases apresenta aborda algumas ferramentas. (BONINI; SBRAGIA, 2011). Entre elas estão o *Brainstorming* e *Opposite Thinking*, *Dark sinde*, entre outras.

O *Brainstorming* é uma técnica empregada para estimular a geração de um grande número de ideias em um curto espaço de tempo. Pode ser utilizado para diversos fins e aplicações e envolver a necessidade de uma equipe interessadas no tema.

Um encontro entre pessoas é organizado de forma criativa e interativa, que visa estimular a criatividade e colaboração para o fomento de novas ideias e soluções em torno de um problema ou um objetivo proposto.

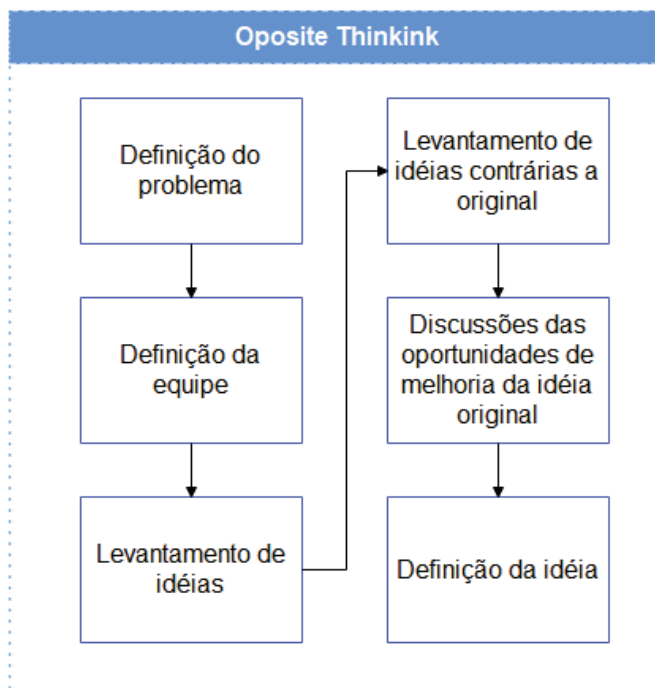
As ideias, bem como suas observações e desdobramentos são listadas e, assim, este portfólio de ideias, pode ser discutido e tratado posteriormente.

Oposite Thinking e Dark Side: Possuem diferentes estágios, mas em comum, consistem na definição do problema a ser solucionado, definição de uma equipe de participantes, a definição de uma ideia que oportunize uma solução do problema identificado, a obtenção de ideias contrários à ideia inicial, de forma a promover discussão e troca de informações para identificação e preenchimento de lacunas em relação a todas ideias levantadas (FIGURA 50). (INNOVATION, 2021).

O objetivo desta ferramenta é promover uma discussão ampla pela equipe, incluindo suas vantagens desvantagens de maneira a incrementar e melhorar a ideia

original, estimular novas ideias e consolidá-las através da discussão de ideias contrárias a ideia originalmente proposta. (INNOVATION, 2021).

Figura 50: ETAPAS *OPPOSITE THINKING*

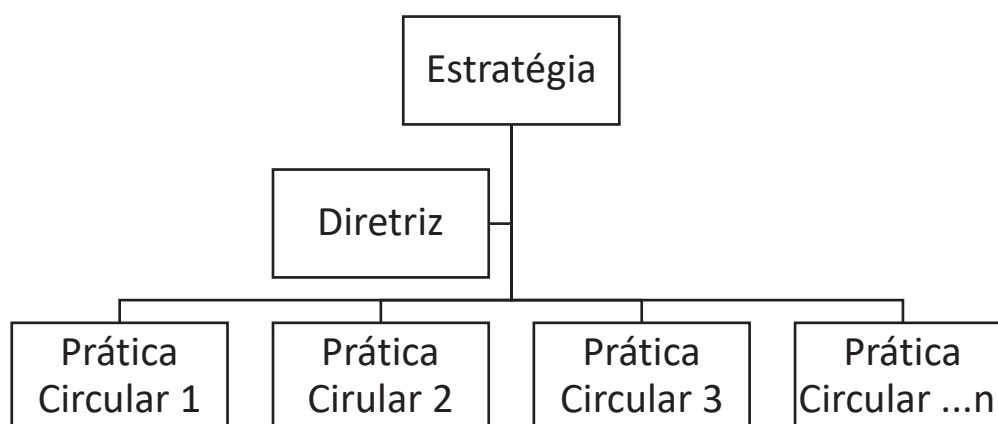


FONTE: Autor (2022)

APÊNDICE 3 – LISTA DE ESTRATÉGIAS, DIRETRIZES E PRÁTICAS CIRCULARES CONFORME O GUIDE CIRC IT NORD PARA PROJETOS E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

A figura 51 apresenta o relacionamento entre as estratégias, diretrizes e práticas circulares abordadas pelo Guide Circ It Nord para desenvolvimento de projeto e produto. As práticas circulares são propostas de atividades operacionais, norteadas por diretrizes que orientam o design para desenvolvimento de produtos e visam alcançar os objetivos da Economia Circular. As diretrizes circulares, bem como suas práticas relacionadas, estão sob conjuntos e podem ser classificadas de acordo com as estratégias. Por exemplo, a prática de uso de resíduos de um processo como recurso para outro (Simbiose) está sob a diretriz de redução do uso de recursos e que por sua vez está sob a estratégia de Cascadear.

FIGURA 51: RELACIONAMENTO ENTRE AS ESTRATÉGIAS, DIRETRIZES E PRÁTICAS CIRCULARES.



FONTE: O Autor (2022)

As estratégias circulares são aquelas apresentadas na revisão como sendo as estratégias de atualizar, cascadear, reaproveitar, reciclar, recondicionar/renovar, remanufaturar, reparar/manter e reutilizar. Estas estratégias são conhecidas na literatura como as estratégias circulares e estão representadas no ponto mais alto da hierarquia (FIGURA 52). Elas agrupam e classificam as diretrizes e práticas circulares formando o conjunto de 9 estratégias, onde diretrizes e práticas circulares são classificadas.

FIGURA 52: AS ESTRATÉGIAS CIRCULARES.



FONTE: O Autor (2022)

Cada estratégia integra um conjunto de diretrizes que norteiam boas práticas, iniciativas circulares relacionadas as atividades e que são integráveis ao PDP.

As diretrizes também já foram apresentadas na revisão da literatura. São mais amplas e servem de orientação para a reflexão e desenvolvimento de práticas circulares, ou seja, ajudam na identificação de práticas circulares já adotadas pela organização, bem como permitem o desenvolvimento de novas práticas

As diretrizes mapeadas nesta pesquisa são novamente apresentadas no quadro 27.

QUADRO 27: RELAÇÃO DAS DIRETRIZES

ID- Identificação	Diretrizes Circulares
1	Troca de componentes defeituosos facilmente acessíveis.
2	Fácil de desmontar de forma não destrutiva.
3	Foco principal na funcionalidade, qualidade e desempenho.
4	Fornecer manuais e documentações.
5	Projeto em construção modular.
6	Utilize soluções de digitalização, TICs e da Internet das coisas.
7	Use componentes e materiais duráveis e robustos.
8	Considere a toxicidade e outros aspectos ambientais dos materiais.
9	Facilite a identificação de materiais e outras informações relevantes.
10	Minimizar o número de diferentes materiais incompatíveis ou diferentes.
11	Projetar usando materiais recicláveis e reciclados.
12	Projetar com materiais renováveis.
13	Projeto para redução do consumo de energia e uso de energia renovável.
14	Faça peças sobressalentes e troca de componentes facilmente acessíveis.
15	Fácil de limpar o produto e componentes.
16	Investigar as leis e regulamentações atuais e futuras.
17	Projetar componentes padronizados em diferentes produtos e modelos.
18	Projetar ferramentas padronizadas exigidas em diferentes produtos e modelos.
19	Use juntas e conectores que podem ser facilmente abertos e fechados.
20	Componentes e peças sobressalentes disponíveis e fáceis de encontrar no mercado.
21	Fácil de inspecionar o produto e componentes.
22	Faça peças e componentes intercambiáveis e facilmente disponíveis.
23	Ferramentas padronizadas de design exigidas comuns a diferentes produtos e modelos.
24	Pense sobre atividades de suportes durante operação.

FONTE: O Autor (2022)

Uma planilha eletrônica com a lista completa das estratégias, diretrizes e práticas circulares pode ser acessada e baixada no computador, através do link< <https://drive.google.com/drive/folders/1peSZThxuwGa8VgQUpvhvXirNLZNsIZf?usp=sharing>>.