

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALINY KELY ANTONELLO JOÃO

FERRAMENTA DIAGNÓSTICA DA PRONTIDÃO EM ECONOMIA CIRCULAR:
DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO VOLTADA A INDÚSTRIA DE MANUFATURA

CURITIBA

2025

ALINY KELY ANTONELO JOÃO

FERRAMENTA DIAGNÓSTICA DA PRONTIDÃO EM ECONOMIA CIRCULAR:
DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO VOLTADA A INDÚSTRIA DE MANUFATURA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em 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

2025

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

João, Aliny Kely Antonelo

Ferramenta diagnóstica da prontidão em economia circular:
desenvolvimento e aplicação voltada a indústria de manufatura. / Aliny
Kely Antonelo João. – Curitiba, 2025.

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. Sustentabilidade. 2. Indústria de transformação. 3. Economia circular.
I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção. III. Maceno, Marcell Mariano Corrêa. IV. Título.

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585

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 **ALINY KELY ANTONELLO JOÃO**, intitulada: **FERRAMENTA DIAGNÓSTICA DA PRONTIDÃO EM ECONOMIA CIRCULAR: DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO VOLTADA A INDÚSTRIA DE MANUFATURA**, sob orientação do Prof. Dr. MARCELL MARIANO CORREA MACENO, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra 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, 27 de Agosto de 2025.

Assinatura Eletrônica

05/09/2025 11:39:35.0

MARCELL MARIANO CORREA MACENO

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

05/09/2025 14:41:00.0

NICOLLE CHRISTINE SOTSEK RAMOS

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

09/09/2025 07:52:44.0

MAICON GONÇALVES SILVA

Avaliador Externo (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL URBANA - UTFPR)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sustentar meus passos e renovar minhas forças. À minha família, por sempre acreditar em mim.

A meu esposo, Samuel João, pelo amor, apoio incondicional e por caminhar ao meu lado em cada etapa desta jornada. Às minhas filhas, Cecília e Helena, fonte diária de inspiração, esperança e alegria.

Agradeço profundamente ao professor orientador Marcell Mariano Correa Maceno, cuja sabedoria, paciência e orientação foram fundamentais para a realização deste estudo.

Agradeço a todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Agradeço, ainda, aos membros da banca avaliadora pelas valiosas contribuições e por enriquecerem este trabalho com suas observações.

RESUMO

O compromisso com a sustentabilidade, assumido globalmente e expresso nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), motivou instituições a adotarem práticas mais sustentáveis ao redor do mundo. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo propor uma ferramenta de diagnóstico do nível de prontidão de uma indústria de manufatura para a adoção de práticas circulares, fornecendo subsídios técnicos que orientem a transição para um modelo produtivo mais regenerativo. A metodologia adotada compreendeu a realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para mapeamento e seleção das principais ferramentas de diagnóstico de prontidão circular; o desenvolvimento de um questionário robusto, com base em modelos como MATCHe, Ready2LOOP, ReSOLVE, ICEQ, SCSC, LCMM e abordagens baseadas em Lógica Fuzzy; a aplicação da ferramenta em uma empresa industrial do estado do Paraná; a análise dos dados por meio de indicadores quantitativos; e a formulação de recomendações específicas para cada subárea avaliada. O instrumento final contou com 123 questões distribuídas em 14 subáreas temáticas – como Operação/Gestão de Recursos, Sustentabilidade Ambiental, Design de Produtos, Inovação e Tecnologia, entre outras – e categorizadas por quatro níveis gerenciais: Alta Gestão, Industrial, Comercial e Suprimentos. A maior parte das perguntas foi estruturada em escala Likert de 5 pontos, possibilitando o cálculo de índices por subárea (IPs) e do Índice Global de Prontidão (IGP). A análise dos resultados permitiu identificar subáreas com maior e menor maturidade, desvios entre setores internos da indústria abordada, e pontos críticos para intervenção estratégica. Além do diagnóstico, o estudo gerou um conjunto de recomendações técnicas personalizadas para empresas com diferentes níveis de prontidão, permitindo direcionar ações práticas de melhoria. Os resultados também fornecem uma base sólida para o desenvolvimento de políticas públicas, capacitação de profissionais e desenho de estratégias setoriais que promovam a circularidade na indústria regional.

Palavras-chave: Economia Circular; Prontidão Organizacional; Ferramenta Diagnóstica; Indústria de Transformação; Sustentabilidade;

ABSTRACT

The global commitment to sustainability, as expressed in the United Nations (UN) Sustainable Development Goals (SDGs), has motivated institutions worldwide to adopt more sustainable practices. In this context, the present study aims to propose a diagnostic tool to assess the readiness level of a manufacturing industry for the adoption of circular practices, providing technical inputs to guide the transition toward a more regenerative production model. The methodology adopted involved: (i) conducting a Systematic Literature Review (SLR) to map and select the main tools used for assessing circular readiness; (ii) developing a robust questionnaire based on models such as MATCHe, Ready2LOOP, ReSOLVE, ICEQ, SCSC, LCMM, and fuzzy logic-based approaches; (iii) applying the tool in an industrial company located in the state of Paraná, Brazil; (iv) analyzing the data using quantitative indicators; and (v) formulating specific recommendations for each evaluated subarea. The final instrument consisted of 123 questions distributed across 14 thematic subareas — such as Operations/Resource Management, Environmental Sustainability, Product Design, Innovation and Technology, among others — and categorized into four managerial levels: Top Management, Industrial, Commercial, and Procurement. Most of the questions were structured using a 5-point Likert scale, enabling the calculation of Subarea Readiness Indexes (SRI) and a Global Readiness Index (GRI). The results analysis made it possible to identify subareas with higher and lower levels of maturity, internal discrepancies across the company's departments, and critical points for strategic intervention. In addition to the diagnostic, the study generated a set of personalized technical recommendations for companies with different levels of readiness, enabling the development of practical improvement actions. The results also provide a solid foundation for the design of public policies, workforce training programs, and sectoral strategies aimed at fostering circularity in the regional industrial landscape.

Keywords: Circular Economy; Organizational Readiness; Diagnostic Tool; Manufacturing Industry; Sustainability

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: LISTA DAS 20 DIVISÕES DE CNAE MAIS REPRESENTATIVAS NO ESTADO DO PARANÁ	24
TABELA 2: NÚMERO DE EMPRESAS POR REGIÃO DO ESTADO DO PARANÁ..	24
TABELA 3: REPRESENTATIVIDADE DAS INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO POR PORTE DE EMPRESA	25
TABELA 4: CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS NÍVEL MESO MAIS CITADOS NA BASE SCOPUS.	49
TABELA 5: NÚMERO DE QUESTÕES POR SUBÁREA	72
TABELA 6: SÍNTESE DO QUESTIONÁRIO: SUBÁREAS, GERÊNCIAS E TIPOS DE QUESTÕES.....	72
TABELA 7: FAIXAS QUALI-QUANTITATIVA DE PRONTIDÃO	74
TABELA 8: RESULTADOS DO ÍNDICE DE PRONTIDÃO POR SUBÁREA.....	101
TABELA 9: RESULTADOS DA VARIÂNCIA.....	102

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: NÍVEIS MICRO, MESO E MACRO	29
FIGURA 2: CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	30
FIGURA 3: ETAPAS DO PROCESSO	31
FIGURA 4: ETAPAS DO PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	33
FIGURA 5: MODELO DE ESCALA LIKERT DE 5 PONTOS.....	35

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	32
QUADRO 2: LISTA DE ARTIGOS QUANTO A ABORDAGEM DE NÍVEL MESO.....	43
QUADRO 3: IDENTIFICAÇÃO DOS PASSOS COMUNS ÀS FERRAMENTAS DE NÍVEL MESO.....	66
QUADRO 4: DESCRIÇÃO DAS SUBÁREAS QUE COMPREENDEM O QUESTIONÁRIO	69
QUADRO 5: DESCRIÇÃO DAS GERÊNCIAS QUE COMPREENDEM O QUESTIONÁRIO	71
QUADRO 6: RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS POR SUBÁREA E ÍNDICE DE PRONTIDÃO	77

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ACV – Análise do Ciclo de Vida

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

EEE – Equipamentos Eletroeletrônicos

FANPI – Ferramenta de Avaliação de Nível de Prontidão para a Economia Circular nas Indústrias

ICEQ – Industrial Circular Economy Questionnaire

IGP – Índice Global de Prontidão

IPs - Índice de Prontidão por Subárea

LCMM – Life Cycle Maturity Model

MATChE – Maturity and Transformation for Circular Economy

ONU – Organização das Nações Unidas

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

RSL – Revisão Sistemática da Literatura

SCSC – Supply Chain Sustainability Circularity

UN – United Nations

LISTA DE SÍMBOLOS

$\bar{x}$ – Média aritmética das respostas

σ^2 – Desvio padrão

σ – Variância

n – Número de respostas

% – Percentual

i – Identificador da i -ésima subárea ou questão

Σ – Somatório

$\geq$ – Maior ou igual

$\leq$ – Menor ou igual

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
1.3 DELIMITAÇÃO.....	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 PACTO GLOBAL E OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS).....	20
2.2 ECONOMIA CIRCULAR E A INDÚSTRIA PARANAENSE.....	22
2.3 FERRAMENTAS PARA EXAME DA ECONOMIA CIRCULAR NAS INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO.....	26
2.4 TERMINOLOGIA DOS NÍVEIS MICRO, MESO E MACRO.....	27
3 METODOLOGIA.....	30
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	30
3.2 MÉTODO DA PESQUISA.....	31
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA X.....	37
4 ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DO NÍVEL DE PRONTIDÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA (FANPI).....	41
4.1 ARTIGOS QUE ABORDARAM AVALIAÇÃO DE CIRCULARIDADE NÍVEL MESO.....	41
4.2 FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NÍVEL DE EMPRESA (MESO).....	46
4.3 ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DO NÍVEL DE PRONTIDÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA (FANPI).....	67
4.4 GERAÇÃO DE RECOMENDAÇÃO TÉCNICA.....	75
5 O ESTUDO DE CASO DA EMPRESA X.....	101
5.1 CÁLCULO DO ÍNDICADOR DE PRONTIDÃO POR SUBÁREA (IPs).....	101
6 DISCUSSÕES FINAIS.....	107
6.1 ELABORAÇÃO DA FERRAMENTA DIAGNÓSTICA.....	107
6.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO.....	108

7 CONCLUSÕES DA PESQUISA.....	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
APPENDICE 1.....	118

1 INTRODUÇÃO

A sociedade sofre pressão para manter os recursos naturais e o bem-estar humano em meio ao crescimento populacional, tecnológico e econômico (Hammer e Lewis, 2023). Entre esses desafios estão as mudanças climáticas, a gestão do uso dos recursos naturais e a poluição dos ecossistemas (UN, 2023).

Com o objetivo de apoiar o enfrentamento desses desafios, surge o termo Desenvolvimento Sustentável, cunhado em 1987 no relatório “Nosso Futuro Comum” pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMA). Desenvolvimento Sustentável foi então definido como a utilização dos recursos de forma que atenda as necessidades das gerações presentes sem comprometer a utilização destes recursos para as futuras gerações (ONU, 2023).

De 1987 até os dias atuais, com o objetivo de estabelecer compromissos globais entre os países, importantes agendas globais abordaram o tema, como em 1992 na RIO-92, que adotou a agenda 21; em 2000 com os Objetivos do Milênio (ODM); em 2010 com a RIO+20; em 2015 com o COP 21-Acordo de Paris, e, finalmente, a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável (PNUD, 2023).

Todas estas agendas promoveram um apelo global à sociedade, sensibilizando países, instituições e a sociedade a apoiarem ações conjuntas que promovam a adoção de estratégias sustentáveis em seus negócios e processos (ONU, 2023a).

Diante desse contexto global de crescente conscientização, a busca por modelos de desenvolvimento mais sustentáveis tornou-se uma prioridade. A Economia Circular (EC) tem emergido como uma abordagem fundamental para repensar e remodelar os sistemas econômicos atuais, reduzindo desperdícios, minimizando a exploração de recursos naturais e promovendo a sustentabilidade a longo prazo (Hartini et al., 2022). Em contraste com o modelo linear tradicional de “extrair, produzir, consumir e descartar”, a Economia Circular propõe um ciclo contínuo de produção, consumo e reciclagem, em que os recursos são reutilizados e regenerados (Niu; Yüksel; Dinçer, 2023).

De acordo com essas constatações, o exame do nível de prontidão para a Economia Circular nas indústrias de transformação assume um papel importante.

A compreensão do atual panorama e as práticas adotadas pelas empresas, permite identificar as lacunas, desafios e oportunidades para promover uma transição

eficaz para um modelo mais circular. O exame do nível de prontidão não apenas oferecerá insights valiosos para as empresas individualmente, mas também servirá como base para a formulação de políticas públicas e ações concretas por parte da sociedade, governo e setor privado.

No entanto, a implementação de políticas públicas voltadas para a promoção da Economia Circular requer uma compreensão detalhada das necessidades e realidades das indústrias locais. O exame do nível de prontidão permite que os formuladores de políticas identifiquem áreas-chave em que intervenções são necessárias e desenvolvam estratégias adaptadas para impulsionar a adoção de práticas circulares (Pigosso, 2023). Além disso, fornece uma base sólida para a colaboração entre diferentes partes interessadas, incluindo empresas, instituições acadêmicas, organizações não governamentais e comunidades locais, na busca por soluções inovadoras e sustentáveis (Kayikci et al., 2022e).

Diante do cenário de esgotamento de recursos e necessidade urgente de transformação dos modelos produtivos, iniciativas que permitam diagnosticar o grau de prontidão das organizações para adotar a Economia Circular tornam-se cada vez mais relevantes. Ao oferecer um instrumento estruturado e adaptado à realidade brasileira, este estudo contribui não apenas para o avanço acadêmico sobre o tema, mas também para a prática empresarial, ao apoiar gestores e formuladores de políticas públicas na identificação de caminhos viáveis rumo a uma economia mais regenerativa, resiliente e alinhada aos compromissos globais de desenvolvimento sustentável.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho objetiva propor uma ferramenta diagnóstica para avaliar o nível de prontidão de indústrias de manufatura no Brasil para a Economia Circular.

1.1.2 Objetivos específicos

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

- a. Realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para identificar ferramentas existentes que avaliem a prontidão de empresas em Economia Circular;
- b. Avaliar criticamente essas ferramentas quanto à sua aplicabilidade, relevância e robustez metodológica;
- c. Estruturar uma ferramenta de nível de prontidão para aplicação em indústrias de manufatura do Brasil;
- d. Aplicar a ferramenta em uma indústria de manufatura localizada no estado do Paraná, como estudo de caso;
- e. Propor recomendações técnicas para orientar a empresa quanto às ações prioritárias, mantendo boas práticas e aprimorando os pontos frágeis relacionados à circularidade.

1.2 JUSTIFICATIVA

Nas últimas cinco décadas, o consumo global de materiais quadruplicou, ultrapassando os limites do crescimento populacional. Em 1972, o consumo era de 29 bilhões de toneladas; em 2000, 55 bilhões; e em 2019, ultrapassou 100 bilhões de toneladas, com projeções que apontam para 184 bilhões até 2050 (CGR, 2022). Alarmantemente, cerca de 90% desses recursos não são reutilizados, e o atual modelo linear de produção e consumo tornou-se ambientalmente insustentável. Projeções do Banco Mundial indicam que, caso o ritmo atual continue, seriam necessários três planetas Terra para sustentar o padrão de vida global até 2050.

Nesse contexto, a Economia Circular se apresenta como alternativa viável e urgente, ao propor a desacoplagem entre crescimento econômico e extração de recursos finitos, priorizando o reaproveitamento, a regeneração e a eliminação de resíduos desde a origem (EMF, 2023). Além dos benefícios ambientais, esse modelo pode gerar vantagens econômicas expressivas — como a economia de até €630 bilhões anuais em materiais na União Europeia — e sociais, com geração de empregos e novos mercados (EMF, 2023; Brito et al., 2021).

No Brasil, estudos indicam que a adoção de práticas circulares pode trazer benefícios econômicos da ordem de R\$ 310 bilhões por ano até 2030 (CEBDS, 2020). O estado do Paraná, por sua vez, se destaca como um dos principais polos industriais do país, com PIB estimado em R\$ 665 bilhões em 2023, dos quais R\$ 145 bilhões são

atribuídos ao setor industrial (IPARDES, 2024). As indústrias de manufatura, responsáveis por parte significativa da geração de resíduos e consumo de insumos, têm papel central na transição para uma economia circular mais eficiente e sustentável.

Compreender o grau de prontidão dessas indústrias para essa transição é crucial para guiar investimentos, políticas públicas e estratégias empresariais eficazes. Nesse sentido, avaliar o nível de maturidade circular por meio de ferramentas estruturadas permite identificar barreiras (como lacunas tecnológicas e normativas), bem como apontar oportunidades e práticas já consolidadas (Kayikci et al., 2022; Mendoza e Pigosso, 2023). Este trabalho se propõe, portanto, oferecer uma ferramenta aplicável, baseada na literatura científica e validada por meio de um estudo de caso concreto.

1.3 DELIMITAÇÃO

Segmento: Indústria de Transformação/Manufatura

Delimitação geográfica: Estado do Paraná

O presente estudo concentra-se na proposição e aplicação de uma ferramenta de avaliação do nível de prontidão para a Economia Circular focada na indústria de transformação. A escolha pelo segmento industrial justifica-se pela sua importância estratégica na transição para modelos produtivos mais sustentáveis, dada a sua elevada demanda por recursos, geração de resíduos e capacidade de inovação. A delimitação geográfica no Paraná decorre de sua relevância econômica no cenário nacional e da viabilidade de acesso à empresa participante por parte da equipe de pesquisa. Embora o foco não esteja em analisar uma amostra representativa das indústrias do estado, a aplicação da ferramenta em uma empresa localizada na região permite testar a robustez do instrumento e gerar aprendizados que poderão ser adaptados e replicados em outras realidades produtivas similares.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para começar, são apresentados, no capítulo 1, a introdução, o objetivo geral e os específicos, a justificativa, a delimitação e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo, exploram-se os conceitos-chave do Pacto Global, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs) da Agenda 2030, os princípios da Economia Circular (EC), as práticas e estratégias circulares e as Indústrias de Transformação. Ainda neste capítulo, apresenta-se o processo de identificação das empresas e segmentos mais relevantes para o exame do nível de prontidão da Economia Circular no estado do Paraná. Por meio de análises de documentos e relatórios públicos, observam-se dados econômicos, como o porte, a quantidade, a distribuição nas regiões do estado e o número de funcionários das empresas para direcionar o foco do estudo no estado do Paraná.

No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia, a classificação da pesquisa quanto a sua natureza, abordagem, processo de raciocínio, tipos de investigação, instrumentos, além do detalhamento dos passos ou etapas do processo de construção da pesquisa.

No capítulo quarto, apresenta-se o desenvolvimento e resultados da pesquisa, uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que compreende as Ferramentas de Avaliação da Prontidão de Indústrias, além do processo de seleção da ferramenta que será empregada no estudo. Serão discutidos os métodos, a coleta e a análise dos dados obtidos por meio da ferramenta de exame do nível de prontidão. Foram consolidadas as informações coletadas em uma base de dados centralizada, e aplicadas técnicas estatísticas e análises qualitativas para identificar padrões, lacunas e oportunidades relacionadas à Economia Circular nas indústrias paranaenses. Também discutiu-se o processo de análise e interpretação dos dados, destacando os principais resultados.

Finalmente, são apresentados os resultados e as recomendações específicas para promover ações que facilitem a transição da indústria para um modelo mais circular. Com base nos resultados da análise de dados, são propostas estratégias e iniciativas adaptadas às necessidades e realidades de cada empresa e segmento industrial. São discutidas ainda a importância da colaboração entre diferentes partes interessadas na implementação das recomendações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica que compreende os temas Pacto Global, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, a Economia Circular e as Indústrias de Transformação Paranaenses.

2.1 PACTO GLOBAL E OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

O Pacto Global foi instituído em 2000 pela Organização das Nações Unidas (ONU) como uma iniciativa voluntária para engajar empresas e instituições ao redor do mundo no alinhamento de suas estratégias e operações a princípios universais nas áreas de direitos humanos, trabalho, meio ambiente e combate à corrupção. Trata-se da maior iniciativa de sustentabilidade corporativa do mundo, que visa mobilizar o setor privado em torno de valores fundamentais e fomentar ações que contribuam com o enfrentamento dos desafios sociais e ambientais contemporâneos (ONU, 2023b).

Os Dez Princípios Universais do Pacto Global são derivados de importantes marcos internacionais: a Declaração Universal de Direitos Humanos, a Declaração da Organização Internacional do Trabalho (OIT) sobre Princípios e Direitos Fundamentais no Trabalho, a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992), e a Convenção das Nações Unidas contra a Corrupção. A adesão a esses princípios representa um compromisso das organizações signatárias com práticas empresariais responsáveis e sustentáveis (ONU, 2023a).

Em complemento a essa base ética, o Pacto Global estimula que empresas e organizações contribuam ativamente para o cumprimento da Agenda 2030 da ONU, lançada em 2015. Essa agenda estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas que abordam dimensões econômicas, sociais e ambientais, com horizonte de implementação até 2030 (Pacto Global, 2023). A proposta dos ODS é ambiciosa e interconectada, abrangendo desde a erradicação da pobreza até o combate às mudanças climáticas, a promoção de igualdade de gênero, educação de qualidade, crescimento econômico inclusivo, entre outras prioridades.

O compromisso com os ODS representa uma mudança de paradigma na atuação do setor produtivo. Cada vez mais, empresas são chamadas a incorporar os ODS em seus modelos de negócios, promovendo cadeias de valor sustentáveis e

resilientes, inovando em produtos e serviços sustentáveis e influenciando positivamente consumidores, fornecedores e comunidades. Essa transformação exige repensar o papel das organizações e buscar formas de gerar valor compartilhado entre empresa, sociedade e meio ambiente (Carvalho et al., 2020; Bocken et al., 2016).

Entre os 17 objetivos, destacam-se especialmente três para o contexto da economia circular:

ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura): que visa construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação;

ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis): que busca tornar os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;

ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima): que demanda ações urgentes para combater as alterações climáticas e seus impactos.

A economia circular (EC), neste contexto, aparece como um conceito-chave para operacionalizar a sustentabilidade e os ODS nas empresas. Através da EC, promove-se a otimização do uso de recursos, o fechamento de ciclos produtivos, a eliminação de resíduos e a regeneração de sistemas naturais (Bocken et al., 2016; Geissdoerfer et al., 2017). Práticas como design circular, reuso, reciclagem, manutenção, servitização e logística reversa ajudam a reduzir a pressão sobre os recursos naturais e favorecem uma transição rumo a um modelo econômico mais regenerativo e eficiente.

Além disso, a EC está alinhada aos princípios do Pacto Global, especialmente no que tange à promoção de um meio ambiente saudável, à inovação responsável e à construção de cadeias de suprimento éticas e sustentáveis. Como destacam Sehnem et al. (2021), empresas que adotam modelos circulares demonstram maior capacidade de resposta às exigências regulatórias e de mercado ligadas à sustentabilidade, além de contribuir para um desenvolvimento econômico mais inclusivo e resiliente.

Dessa forma, incorporar os ODS e os princípios do Pacto Global ao planejamento e às práticas empresariais, especialmente por meio da economia circular, não é apenas uma exigência ética e institucional, mas uma oportunidade estratégica para gerar valor, aumentar a competitividade e construir um futuro sustentável para todos.

2.2 ECONOMIA CIRCULAR E A INDÚSTRIA PARANAENSE

A economia circular aplicada na indústria promove a eficiência de recursos ao minimizar o desperdício e fomentar a reutilização, reciclagem e recuperação de materiais, o que reduz os custos associados à extração e produção de produtos acabados e matérias-primas (Scandurra et al., 2023a). Além disso, ao adotar práticas circulares, as empresas podem cortar gastos de produção, melhorar a eficiência operacional e até gerar novas fontes de receita com produtos recuperados ou reconicionados, o que aumenta sua competitividade no mercado (Kazancoglu et al, 2021). Essa abordagem também contribui para a resiliência das empresas diante da escassez de recursos naturais, pois reduz sua dependência de recursos finitos (Aguilar; Jugend, 2022a). Outro ponto é que a economia circular atende às demandas crescentes dos consumidores por práticas empresariais sustentáveis, ajudando a atrair e reter clientes preocupados com o meio ambiente. Por fim, a adoção de práticas circulares auxilia as empresas a cumprirem regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas, evitando multas e penalidades (Dawson; Lewandowska; Kolejnik, 2021a). Em resumo, a economia circular é essencial para a indústria, pois promove sustentabilidade, reduz custos, aumenta a competitividade e atende às demandas dos consumidores e reguladores ambientais (Dawson; Lewandowska; Olejnik, 2021b).

Exposto a importância da adoção da EC para as indústrias, faz-se importante que estudos relacionados ao tema sejam desenvolvidos no estado do Paraná, uma região em destaque no cenário brasileiro (IPARDES, 2024). Em 2023, o Produto Interno Bruto do estado cresceu o dobro da média nacional, registrando o maior crescimento do país (IPARDES, 2024). A Economia Paranaense cresceu quase 6% contra 2,8% da média brasileira. Todos os setores registraram alta, com destaque para o Setor da Agropecuária (27%) (IPARDES, 2024) . Só o Setor da Indústria movimentou quase 146 bilhões dos 665 bilhões gerados pelo estado (IPARDES, 2024).

O número de empresas ativas no estado do Paraná soma mais de 871 mil, compreendendo as indústrias de transformação, construção civil, comércio, serviços e agropecuária (MTE, 2024). Dessas, pouco mais de 73 mil, ou 10%, são classificadas como indústrias de transformação de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e o Relatório Anual de Informações Sociais do Governo Federal (RAIS) (MTE, 2024) (IBGE, 2024).

As indústrias de transformação do Paraná podem ser ainda divididas conforme o CNAE, destacando-se que quase 80% das indústrias são dos setores de fabricação de produtos alimentícios; fabricação de produtos de metais; artigos de vestuário; manutenção e reparo de máquinas e equipamentos; fabricação de móveis; fabricação de produtos de minerais não-metálicos; fabricação de produtos de madeira; e de máquinas e equipamentos (MTE, 2024). A tabela 1 apresenta as 20 maiores divisões de CNAE em número de empresas do estado do Paraná (IBGE, 2024).

No entanto, em menor número, outros setores ou divisões, igualmente importantes, também fazem parte dessa grande categoria de indústrias de transformação, são eles: impressão e reprodução de gravações; edição e edição integrada à impressão; fabricação de produtos de borracha e de material plástico; fabricação de produtos químicos, coleta, tratamento e disposição de resíduos; recuperação de materiais; fabricação de produtos têxteis; fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias, eletricidade, gás e outras utilidades; extração de minerais não-metálicos; fabricação de celulose, papel e produtos de papel; fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos; preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados; fabricação de bebidas; fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores, metalurgia, esgoto e atividades relacionadas, captação, tratamento e distribuição de água, fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis, fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos, extração de minerais metálicos, atividades de apoio à extração de minerais, fabricação de produtos do fumo, descontaminação e outros serviços de gestão de resíduos, extração de carvão mineral, extração de petróleo e gás natural (MTE, 2024).

As regiões Noroeste, Norte, Região Metropolitana de Curitiba (RMC) e Curitiba concentram o maior número de empresas (Tabela 2). Destaca-se a proporção muito similar da distribuição do número de empresa entre as regiões, o que indica uma descentralização da indústria de transformação no estado. Percebe-se que a maior parte das empresas (74,4%) estão localizada nas regiões de Curitiba, RMC, Noroeste e Norte.

TABELA 1: LISTA DAS 20 DIVISÕES DE CNAE MAIS REPRESENTATIVAS NO ESTADO DO PARANÁ

Classificação CNAE - Divisão	Número Empresas	% Empresas
10. Fabricação de produtos alimentícios	9.309	12,7%
25. Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	8.827	12,1%
14. Confeção de artigos do vestuário e acessórios	7.811	10,7%
33. Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	6.941	9,5%
31. Fabricação de móveis	5.782	7,9%
23. Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	4.510	6,2%
16. Fabricação de produtos de madeira	3.863	5,3%
32. Fabricação de produtos diversos	2.897	4,0%
28. Fabricação de máquinas e equipamentos	2.867	3,9%
18. Impressão e reprodução de gravações	2.386	3,3%
58. Edição e edição integrada à impressão	2.287	3,1%
22. Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	2.107	2,9%
20. Fabricação de produtos químicos	1.765	2,4%
38. Coleta, tratamento e disposição de resíduos; recuperação de materiais	1.717	2,4%
13. Fabricação de produtos têxteis	1.420	1,9%
29. Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	1.145	1,6%
35. Eletricidade, gás e outras utilidades	1.095	1,5%
08. Extração de minerais não-metálicos	1.091	1,5%
17. Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	833	1,1%
27. Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	825	1,1%
15. Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	714	1,0%

Fonte: MTE (2024)

TABELA 2: NÚMERO DE EMPRESAS POR REGIÃO DO ESTADO DO PARANÁ

Região	Número de empresas
RMC e Curitiba	24716
Noroeste	13501
Norte	13219
Oeste	8476
Campos Gerais	8340
Sudoeste	4793
Total	73045

Fonte: IBGE (2024)

A nível de microrregião, destaca-se que as cidades com maior concentração de indústrias de transformação são: Curitiba, Maringá, Londrina, São José dos Pinhais, Cascavel, Apucarana, Ponta Grossa, Pinhais, Colombo e Toledo. Juntas, representam quase 50% do volume total. Este número indica que, potencialmente, as empresas dessas cidades podem ser selecionadas para fazer parte da pesquisa.

Sobre o porte das empresas, a maior parcela é microempresas (até 19 empregados), seguida por pequenas empresas (de 20 a 99), médio porte (100 a 499) e grandes empresas (500 ou mais) (Tabela 3).

TABELA 3: REPRESENTATIVIDADE DAS INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO POR PORTE DE EMPRESA

Porte da empresa	Representatividade
1. Microempresa	67%
2. Pequena empresa	25%
3. Média empresa	4%
4. Grande empresa	3%

Fonte: MTE (2024)

Esses dados revelam a força da indústria do Paraná e a importância de avaliar o nível de prontidão das empresas paranaenses para a EC, de forma que estes resultados se mantenham sustentáveis ao longo dos anos.

No entanto, percebe-se que alguns estudos relacionados ao tema já foram conduzidos no estado. É o caso do relatório ROADMAP-Rotas estratégicas para o Futuro da Indústria Paranaense, um estudo desenvolvido pela Federação das Indústrias do Estado do Paraná (FIEP, 2023). O estudo desenvolveu uma pesquisa com 95 especialistas de 63 instituições públicas e privadas do estado, que se desdobrou em plano ação de curto, médio e longo prazo, para viabilizar a transição verde no estado (FIEP, 2023). A pesquisa apontou algumas lacunas e barreiras que impedem o estado de alcançar a sustentabilidade e produtividade industrial (FIEP, 2023).

O documento aponta a inexistência de incentivos fiscais e políticas públicas que fomentem a adoção de uma economia verde, a existência de bitributação sobre produtos reciclados, carência de pesquisas e desenvolvimentos relacionados ao tema, escassez de mão-de-obra, desenvolvimento de produtos sem a preocupação da extensão da vida útil, entre outros (FIEP, 2023).

2.3 FERRAMENTAS PARA EXAME DA ECONOMIA CIRCULAR NAS INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO

A transição para uma economia circular é fundamental para enfrentar os desafios ambientais atuais, promovendo a adoção de práticas sustentáveis como a reutilização, reparo, remanufatura, recuperação de energia e reciclagem de materiais e produtos (Ellen MacArthur Foundation, 2023).

A economia circular visa eliminar o desperdício e manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor (Ellen MacArthur Foundation, 2023). A circularidade refere-se ao grau em que um processo, produto ou serviço pode ser integrado neste sistema. Neste contexto, temas como “pegada ambiental” e cadeia de valor circular são mais recorrentes e contribuem para medição do impacto ambiental de uma empresa, produto ou serviço, objetivos das Ferramentas de Circularidade.

Com isso, as ferramentas de circularidade surgem como instrumentos importantes para ajudar as empresas a avaliarem a sua maturidade e onde ela se encontra nesta transição quando comparada com outras (Val; Forés; Bovea, 2021) . As ferramentas de circularidade têm, ainda, como principais objetivos:

- a) Exame da Prontidão: determinar quão preparada está uma empresa ou produto para adotar as práticas circulares.
- b) Identificação de Oportunidades de Melhoria: fornecer *insights* sobre como implementar ou aprimorar práticas circulares.
- c) Monitoramento e *Feedback* em Tempo Real: permitir o acompanhamento contínuo do progresso em direção à circularidade.
- d) Por fim, os Relatórios: ajudam na geração de relatórios de sustentabilidade, cumprindo regulamentações ambientais.

Como exemplo de ferramentas, pode-se citar a Circulytics, da Fundação Ellen MacArthur, que mede a circularidade das operações de uma empresa, oferecendo análises detalhadas (Ellen MacArthur Foundation, 2023). Já o Material Circularity Indicator (MCI) avalia a circularidade dos materiais em produtos, enquanto os auxilia na gestão da transição para a economia circular (Ellen MacArthur Foundation, 2023).

A implementação dessas ferramentas envolve várias etapas: diagnóstico inicial, definição de metas, coleta e análise de dados, desenvolvimento de ações, capacitação de funcionários e comunicação de resultados (Val; Forés; Bovea, 2021) .

Apesar dos desafios, como a complexidade da coleta de dados e o custo inicial, os benefícios esperados são (i) Eficiência de Recursos: redução de custos operacionais e melhoria na eficiência (Trubina; Pešta; Lupíšek, 2024) ; (ii) Inovação e Competitividade: estímulo à inovação no design de produtos e processos (WIPRÄCHTIGER et al., 2023).; (iii) Redução de Riscos: mitigação de riscos regulatórios e reputacionais (Kayikci et al., 2022a).; (iv) Engajamento de Stakeholders: melhoria no engajamento e na confiança de investidores e consumidores (Gordan et al., 2023a); e (v) Novas Oportunidades de Negócios: criação de novos modelos de negócio sustentáveis (WIPRÄCHTIGER et al., 2023).

As ferramentas que examinam a circularidade apresentam tendências emergentes, como a automatização e a inteligência artificial, que podem melhorar a precisão das análises (Gordan et al., 2023a). A economia de serviços, tecnologias de manufatura avançada e plataformas digitais são outras inovações que prometem transformar as práticas circulares (Agarwal; Tyagi; Garg, 2022).

As ferramentas de circularidade são cruciais para a transformação empresarial rumo a uma economia circular, oferecendo uma maneira estruturada de avaliar, monitorar e melhorar as práticas sustentáveis (Trubina; Pešta; Lupíšek, 2024). A adoção dessas ferramentas proporciona benefícios significativos, como a eficiência de recursos, inovação e vantagem competitiva. Com o avanço das tecnologias e a crescente conscientização sobre sustentabilidade, as ferramentas de circularidade continuarão a evoluir, proporcionando novas oportunidades e contribuindo para um futuro mais sustentável e resiliente (Wiprächtiger et al., 2023).

2.4 TERMINOLOGIA DOS NÍVEIS MICRO, MESO E MACRO

Considerando ainda o objetivo da pesquisa em examinar a prontidão das empresas para a Economia Circular a nível de empresas, faz-se necessária a definição dos conceitos de níveis micro, meso e macro. Esta definição é empregada para categorizar e analisar fenômenos em diferentes escalas, proporcionando uma compreensão mais abrangente das dinâmicas sociais e organizacionais (FIGURA 1).

O nível micro refere-se aos aspectos mais específicos de uma entidade, seja uma organização, produto ou consumidor. Esse nível foca nas operações internas, processos, produtos de uma empresa, ou nas atividades individuais de um consumidor. No contexto da economia circular, envolve práticas como reciclagem,

reutilização e design de produtos para otimizar a utilização de recursos e a criação de valor. Autores como Kazancoglu et al., (2021) enfatizam os processos e atividades operacionais dentro das organizações, enquanto De Pascale et al., (2023) e Elia et al., (2022) destacam a importância da avaliação de estratégias de circularidade a nível individual.

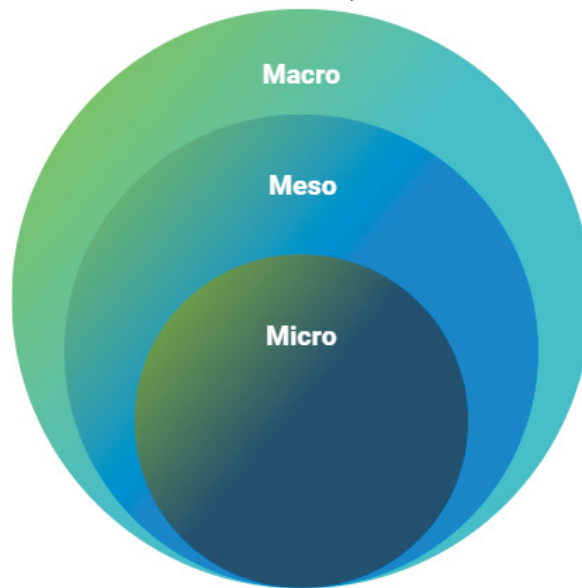
O nível meso abrange uma perspectiva intermediária, focando em grupos maiores, como comunidades, organizações ou setores específicos. Esse nível envolve a colaboração entre empresas e a interação entre diferentes entidades dentro de uma indústria. Na economia circular, o nível meso é exemplificado pela simbiose industrial e parques eco industriais, na qual empresas trocam subprodutos, energia e água para aumentar a eficiência dos recursos e promover a sustentabilidade (Kayikci et al., 2022a).

O nível macro aborda as estruturas e processos em larga escala, considerando sistemas econômicos, políticos e culturais. Analisa tendências gerais da sociedade, políticas públicas e mudanças estruturais que impactam regiões inteiras, países ou até mesmo o mundo. No contexto da economia circular, o nível macro envolve a implementação de estratégias e políticas em grande escala para promover a sustentabilidade, considerando leis, normas e diretivas a nível nacional e internacional. Os autores Kayikci et al., (2022a) falam sobre o alinhamento estratégico setorial, enquanto De Pascale et al., (2023) exploram o impacto de práticas sustentáveis em cidades, países e regiões inteiras.

Percebe-se que os níveis, citados acima, estão interligados e influenciam um ao outro. As práticas e interações no nível micro, podem ser moldadas por normas e estruturas no nível meso, que por sua vez são influenciadas por políticas e tendências no nível macro. Uma abordagem integrada que considere esses três níveis é essencial para implementar estratégias eficazes de economia circular e promover a sustentabilidade em diversos contextos.

Considerando que o foco deste trabalho está no desenvolvimento de uma ferramenta para avaliação do nível de prontidão de empresas em relação à economia circular, com aplicação prática em uma empresa do setor de transformação no estado do Paraná, torna-se necessária a realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL).

FIGURA 1: NÍVEIS MICRO, MESO E MACRO



Fonte: Adaptado de Bertassini (2022)

Essa revisão teve como objetivo mapear as ferramentas de avaliação de circularidade existentes, identificar suas estruturas, dimensões avaliadas e níveis de aplicação, com ênfase no nível meso — aquele que contempla processos organizacionais, gestão, pessoas, produtos e inovação no âmbito empresarial. A RSL, apresentada nos capítulos 3 e 4, possibilitou a identificação de modelos já aplicados na prática e suas contribuições metodológicas, servindo como base para o desenvolvimento e estruturação da ferramenta proposta neste estudo.

Também no presente trabalho, os termos indústria de manufatura e indústria de transformação são utilizados como sinônimos, conforme adotado por diversas fontes institucionais e acadêmicas. Ambos os termos se referem ao setor industrial responsável por transformar matérias-primas em produtos acabados ou semiacabados, sendo o foco principal deste estudo.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia para o desenvolvimento da pesquisa, que compreende a classificação quanto à sua natureza, abordagem, objetivos, e os estágios propostos para o projeto de pesquisa.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente projeto é classificado, a seguir, quanto ao tipo de pesquisa (Figura 2).

FIGURA 2: CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA



FONTE: A Autora (2025)

A pesquisa é de natureza aplicada, pois tem como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta prática para avaliação do nível de prontidão em economia circular, com aplicação real em uma empresa paranaense do setor de transformação. Busca-se, com isso, gerar resultados concretos que contribuam para melhorias organizacionais e estratégias sustentáveis alinhadas aos princípios da economia circular.

A abordagem é quali-quantitativa (mista), uma vez que a ferramenta envolve tanto análises descritivas abertas quanto a quantificação de respostas por meio de escalas do tipo Likert, permitindo compreender percepções e mensurar o grau de prontidão da empresa em múltiplas dimensões da circularidade.

O raciocínio é indutivo, pois parte da coleta e observação dos dados de uma organização específica para gerar conclusões sobre práticas, barreiras, oportunidades e caminhos possíveis rumo à circularidade.

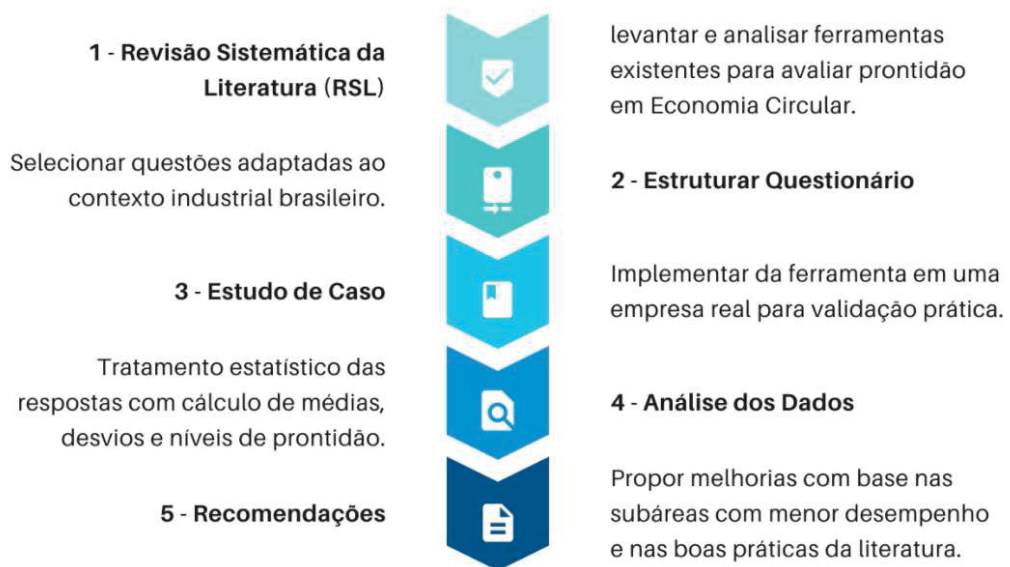
A pesquisa é exploratória, tendo em vista que o tema da economia circular, embora já discutido na literatura, ainda carece de aprofundamento metodológico específico quando se trata da avaliação de prontidão em contextos organizacionais reais, sobretudo no setor industrial brasileiro.

Por fim, trata-se de um estudo de caso, por se debruçar sobre uma empresa específica do setor de transformação do estado do Paraná, possibilitando uma análise aprofundada, contextualizada e aplicada sobre as práticas de economia circular adotadas e os fatores que influenciam sua maturidade.

3.2 MÉTODO DA PESQUISA

O método aplicado nesta pesquisa compreende cinco passos, que são detalhados na Figura 3.

FIGURA 3: ETAPAS DO PROCESSO



FONTE: A Autora (2025)

3.2.1 Protocolo da Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

A primeira etapa consistiu na realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com o objetivo de identificar, analisar e extrair ferramentas e instrumentos existentes que avaliam o nível de prontidão das empresas frente à Economia Circular. Essa etapa forneceu a base teórica e metodológica necessária para a estruturação da ferramenta proposta neste estudo.

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL), conforme a proposta de Conforto e Amaral (2011), foi empregada para identificar os artigos que abordaram ferramentas que examinam a prontidão das empresas para a Economia Circular.

Foram estabelecidas as perguntas de pesquisa e as estratégias de busca, considerando termos relacionados ao tema, presentes no título, resumo e palavras-chaves, além das bases de periódicos, idioma, período das publicações, critérios de inclusão e exclusão de artigos. O Quadro 2 apresenta o protocolo da RSL.

Por meio da combinação de palavras-chave, foi considerado o maior número possível de combinações de strings relacionadas ao tema EC, ferramentas que examinam o nível de prontidão, diagnóstico, nível de maturidade e suas possíveis variações (Quadro 1).

QUADRO 1: PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Pergunta de pesquisa: Quais artigos abordam ferramentas de exame das empresas para a Economia Circular (EC)?					
Estratégia de busca:	Circular economy OR Circular assessment OR Circular Evaluation OR Circular tools	AND	Maturity level OR readiness OR level of readiness OR Evaluation OR diagnosis* OR readiness indicator OR Maturity level	AND/ OR	Industry*
Período: Artigos em inglês publicados entre 2000 e 2025.					
Base de periódicos: Scopus.					
Idioma: Inglês.					
Crítérios de inclusão: artigos que apresentaram ferramentas ou métodos para determinação da prontidão ou nível prontidão de circularidade de empresas ou indústrias de transformação; artigos disponíveis publicados em periódicos de acesso aberto ou por assinatura.					
Crítérios de exclusão: artigos nos quais o diagnóstico ou nível de prontidão de empresas não eram os temas centrais; artigos indisponíveis ou duplicados; e artigos publicados em idiomas diferentes do inglês.					

FONTE: A Autora (2025)

A busca inicial resultou em 2.395 artigos (Figura 4). Considerando o objetivo deste trabalho de avaliar o nível de prontidão das empresas, especificamente das indústrias de transformação para a EC, optou-se por adicionar a terceira palavra-chave, relacionada a string, “Industry”. Desta maneira, a nova busca resultou em 1.203 artigos.

FIGURA 4: ETAPAS DO PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA



FONTE: A Autora (2025)

Na sequência, os títulos, resumos e palavras-chave dos artigos foram avaliados e 105 artigos foram selecionados. Estes artigos abordaram os temas da pesquisa, ou seja, examinaram a economia circular, no entanto, compreenderam abordagens de nível Micro (produto e processos), Meso (empresas) e Macro (região ou país).

Com o objetivo de abordar o exame de EC a nível meso, de empresa, estes 105 artigos foram analisados e classificados em três categorias de acordo com sua abordagem: o nível Micro (Produto/Processo), Meso (Empresas) e Macro (País/Região). Esta classificação será detalhada na sequência. (Quadro 4).

Esta classificação permitiu separar os artigos, compreender como cada autor abordou os níveis e separar os artigos que abordaram o nível meso (empresas), objeto da pesquisa, dos demais artigos que abordaram os níveis micro e macro. Na sequência, será apresentada uma análise das abordagens de cada autor por nível.

Por fim, excluindo os artigos duplicados, indisponíveis e após a leitura dinâmica dos 105 artigos, foram selecionados 41, ou seja, estes artigos abordaram métodos ou ferramentas que examinaram o nível de prontidão em EC de empresas, o nível meso.

3.2.2 Estruturação do Questionário de Diagnóstico

Com base nas ferramentas identificadas na RSL, foi construída uma matriz comparativa em planilhas do Microsoft Excel, contendo um banco inicial com 394 questões obtidas das ferramentas selecionadas na RSL e relacionadas à prontidão para a Economia Circular. As questões passaram por um processo de curadoria conduzida pela autora, com apoio do orientador e de um especialista, abrangendo as seguintes ações: Eliminação de duplicidades; Análise de similaridade semântica; Avaliação da relevância prática e da adequação ao contexto das indústrias de manufatura brasileiras. Como resultado, foi obtido o questionário com 123 questões, correspondendo a ferramenta proposta, sendo estas questões categorizadas em 14 subáreas temáticas (como Gestão e Estratégia, Operações, Cadeia de Valor, Inovação, Clientes e Sustentabilidade) e associadas a quatro gerências organizacionais: Alta Gestão, Industrial, Comercial e Suprimentos.

A maior parte das perguntas do questionário utiliza escala Likert de 5 pontos. Algumas questões possuem padrão binário, e outras são abertas, permitindo análises qualitativas e sugestões de melhoria. O questionário foi então cadastrado no Google Forms, viabilizando seu preenchimento remoto e posterior integração com o Google Sheets para tratamento estatístico. Esse tratamento estatístico envolve a organização das respostas em planilhas, a categorização por subárea temática e por gerência organizacional, além do cálculo de indicadores descritivos, como média, desvio padrão, variância e frequências relativas. Esses dados permitiram identificar padrões de prontidão para a economia circular nas diferentes áreas avaliadas, fornecendo subsídios para análise formulação de recomendações específicas.

3.2.3 Escala Likert

A escala Likert empregada no desenvolvimento deste trabalho, foi desenvolvida pelo historiador Rensis Likert, em 1932. É amplamente utilizada em

questionários e considerada uma maneira confiável de medir a opinião, satisfação e comportamentos (BAKER, 1995). Essa abordagem é coerente com estudos anteriores na área de economia circular, como MATChE (Sehnm et al., 2019), Ready2LOOP (Moraga et al., 2019), LCMM (Niero et al., 2022) e SCSC (Batista et al., 2018), que também utilizaram escalas Likert para avaliar maturidade organizacional.

Diferentemente de uma pesquisa com respostas binárias, como sim e não, a escala Likert oferece um conjunto de opções de múltipla escolha, numéricas ou verbais, subdivididas em níveis de concordâncias que variam progressivamente (LIKERT, 1932). Por exemplo, as opções de respostas podem variar de 1-Discordo plenamente até 5-Concordo totalmente ou 1-Muito insatisfeito até 5-Muito satisfeito. Desta forma, propicia uma análise mais detalhada e comparação dos diferentes níveis de respostas às questões abordada na pesquisa (CAMPOS, 2009).

A quantidade de níveis e opções de respostas são chamados de pontos da escala Likert. A figura 5 apresenta uma escala Likert de 5 pontos.



Fonte: Adaptado de LIKERT (1932)

O sucesso na elaboração da escala compreende a clareza, objetividade, precisão e especificidade da variável ou critério abordado, além da continuidade e clareza dos níveis e legendas empregadas. Testes e simulações de aplicação são boas práticas a serem consideradas.(Campos, 2009).

As respostas do questionário desenvolvido nesta pesquisa, foram ainda obtidas por meio de uma escala Likert de 5 pontos, sendo o valor 3 interpretado como um posicionamento neutro ou de maturidade intermediária. Todas as respostas, inclusive as neutras, foram consideradas válidas e computadas, uma vez que representam percepções reais e contribuem para o posicionamento do grau de maturidade da empresa. Ou seja, não foram utilizadas opções de 'Não se aplica' ou

‘Sem resposta’. Assim, o valor 3, ainda que neutro, representa uma posição válida na escala de percepção dos respondentes e foi mantido nos cálculos.”

3.2.4 Aplicação do Estudo de Caso em uma Indústria Paranaense

A terceira etapa consistiu na aplicação da ferramenta desenvolvida em uma empresa do setor de transformação localizada no estado do Paraná. A escolha da organização baseou-se em critérios como relevância econômica regional, disponibilidade para participação e localização geográfica estratégica.

A aplicação iniciou-se com uma reunião de apresentação e alinhamento metodológico, realizada no dia 17 de abril de 2025, de forma remota, com a participação da autora, do orientador e do gestor da empresa. Durante a reunião, apresentaram-se os objetivos da pesquisa, a estrutura da ferramenta, as formas de preenchimento e a distribuição das questões por área gerencial, conforme as subáreas temáticas.

Em seguida, o questionário foi disponibilizado via Google Forms, com prazo de 20 dias corridos para preenchimento. A autora manteve acompanhamento técnico contínuo, prestando suporte aos respondentes. As respostas foram então fornecidas por profissionais de diferentes áreas da empresa, garantindo consistência e precisão nos dados coletados.

3.2.5 Análise dos Dados Coletados

Após o encerramento do prazo de resposta, os dados foram extraídos da plataforma *Google Sheets* e tratados em planilhas Microsoft Excel, garantindo organização, padronização e integridade das informações.

A análise foi conduzida por meio de estatística descritiva, utilizando-se principalmente as seguintes medidas:

Média Aritmética: Utilizada para calcular o Indicador de Prontidão por Subárea (IP), representando o desempenho médio da empresa em cada subárea temática avaliada. Também serve de base para o Indicador Global de Prontidão (IGP), que expressa o nível médio geral da empresa em relação à Economia Circular. Trata-se

de uma medida simples e eficaz para resumir os dados e compará-los entre dimensões.

Desvio Padrão: Permite avaliar a dispersão das respostas em torno da média. Um desvio padrão reduzido indica homogeneidade nas percepções dos respondentes; por outro lado, um valor elevado sugere variabilidade significativa, apontando possíveis incertezas ou desalinhamentos internos.

Variância: Utilizada como base para o cálculo do desvio padrão, mede o grau de dispersão dos dados em relação à média. Embora seja menos interpretável diretamente, é importante para quantificar a variabilidade interna dos dados e aprofundar a análise da consistência nas respostas.

A adoção dessas métricas estatísticas se justifica por sua capacidade de oferecer uma leitura objetiva, comparável e confiável entre empresas, subáreas e dimensões avaliadas. Além disso, possibilita identificar pontos fortes (altas médias e baixa dispersão) e áreas críticas (baixas médias e/ou alta variabilidade), o que fundamenta a formulação de recomendações específicas, alinhadas ao contexto e maturidade de cada organização.

3.2.6 Formulação das Recomendações

A última etapa consistiu na elaboração de recomendações específicas para cada subárea temática avaliada. As áreas com maior desempenho são destacadas como boas práticas, com recomendações para sua manutenção e disseminação interna. Já as áreas com menores pontuações recebem propostas de ações de melhoria, fundamentadas nas melhores práticas identificadas na literatura internacional, especialmente nos modelos analisados na RSL.

Essas recomendações buscam fornecer orientações estratégicas e operacionais que contribuam para a adoção mais ampla da Economia Circular e o aumento do grau de maturidade organizacional da empresa avaliada.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA X

O presente estudo foi realizado em uma empresa especializada no desenvolvimento de soluções em embalagens industriais, com foco na criação de

produtos personalizados para múltiplos setores da indústria. Para preservar a confidencialidade, a organização será denominada "Empresa X" ao longo deste trabalho.

Fundada em 2001, localizada em São José dos Pinhais/PR, a Empresa X possui um parque fabril com cerca de 13.000 m² e conta com aproximadamente 80 colaboradores. Atua nos segmentos de alimentos e bebidas, automotivo, metalmecânico, construção civil, papel e celulose, farmacêutico, têxtil, agronegócio, siderurgia, linha branca, cerâmica e moveleiro, oferecendo soluções voltadas à proteção, armazenamento e transporte de produtos.

Seu portfólio inclui uma ampla variedade de itens como filmes plásticos com ou sem impressão, filmes termoencolhíveis, stretch técnico, sacos plásticos, cantoneiras, itens com inibidor de corrosão (VCI), termoformados, estrados metálicos, fitas adesivas e diversos outros, adaptados conforme a necessidade do cliente. Os materiais são produzidos com polietileno de baixa e alta densidade (PEBD e PEAD), podendo ser pigmentados, impressos ou transparentes.

A empresa opera com um Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) certificado segundo a ISO 9000/2008, com processos auditados periodicamente.

Em 2022, a Empresa X foi adquirida e passou a fazer parte de uma organização multinacional de grande porte, reconhecida globalmente por seu protagonismo em soluções sustentáveis e por integrar a economia circular em sua estratégia corporativa. Essa multinacional possui operações em diversos países e atua em toda a cadeia de valor da sustentabilidade, promovendo práticas como gestão integrada de resíduos, logística reversa, valorização de materiais, e desenvolvimento de soluções ambientais inovadoras voltadas à circularidade.

Embora a nova controladora já apresente um nível de maturidade notadamente maior que a subsidiária em práticas de economia circular, a Empresa X, agora integrante desse grupo, está em fase de adaptação e busca diagnosticar o seu estágio atual de prontidão para a transição circular. O objetivo da empresa, com os resultados desta pesquisa, é identificar o alinhamento entre as práticas já existentes e os referenciais da nova controladora, bem como mapear lacunas e oportunidades de melhoria.

3.3.1 Reuniões na empresa X

A primeira reunião ocorreu em 04.12.2024, por videoconferência na qual participaram o professor orientador, a autora desta pesquisa e o diretor da planta da empresa.

O objetivo do encontro foi apresentar o projeto e a proposta desta presente pesquisa. Na ocasião, foram apresentados ainda os princípios da EC, os objetivos, detalhes do projeto, prazos e discutidos 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).

Por meio do relato da empresa, observou-se que esta 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).

Ao término da reunião, uma próxima foi agendada, também por videochamada, utilizando a ferramenta da Microsoft Teams, mas agora com o objetivo de apresentar a ferramenta/questionário que deveria ser respondido pelos responsáveis por cada gerência da empresa.

A interação com a empresa foi conduzida de forma estruturada e em estreita colaboração com a gerência de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), responsável pelo preenchimento das respostas. No dia 09/04/2025, foi realizado outro contato técnico para esclarecimento de dúvidas relacionadas à interpretação e ao preenchimento

adequado do questionário. Durante este contato, foram discutidos pontos sobre a semântica de algumas questões, a aplicação da escala *Likert* e a expectativa em relação às respostas abertas, de modo a garantir maior consistência e validade às respostas obtidas.

Nos dias subsequentes, entre 09/05 e 13/06/2025, foi conduzido um processo de *follow-up*, com o objetivo de monitorar o andamento do preenchimento e oferecer suporte adicional, reforçando a importância do prazo de entrega das respostas e a aderência metodológica do estudo.

A empresa concluiu o preenchimento e submeteu as respostas finais no dia 17/06/2025. O processo foi marcado por uma participação ativa e comprometida da equipe da empresa, resultando em um conjunto de respostas com elevado nível de detalhamento técnico, o que contribui de maneira significativa para a qualidade e profundidade das análises que serão realizadas no capítulo de resultados.

4 ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DO NÍVEL DE PRONTIDÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA (FANPI)

Este capítulo apresenta o desenvolvimento da pesquisa com base nos resultados da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a qual teve como objetivo identificar modelos e instrumentos utilizados para avaliar a prontidão das empresas em relação à Economia Circular. A análise contemplou estudos aplicados em nível meso (empresa). Com base nesse levantamento, são descritos a estruturação da ferramenta diagnóstica FANPI (Ferramenta de Avaliação de Nível de Prontidão para a Economia Circular nas Indústrias), o processo de construção e categorização do questionário aplicado, bem como o tratamento estatístico das respostas coletadas. Além disso, o capítulo aborda o processo de geração das recomendações técnicas personalizadas, formuladas a partir dos resultados obtidos, com foco na orientação prática para a transição das empresas em direção a modelos mais circulares.

4.1 ARTIGOS QUE ABORDARAM AVALIAÇÃO DE CIRCULARIDADE NÍVEL MESO

Embora os três níveis, micro (produto/processo), meso (empresa) e macro (setor/sociedade) tenham sido considerados na RSL, o foco central desta pesquisa está no nível meso, que corresponde à avaliação da prontidão para a Economia Circular no âmbito das empresas industriais. Este recorte é justificado pela aderência prática ao objetivo do estudo, que visa à construção de uma ferramenta diagnóstica aplicável diretamente ao contexto organizacional. Os artigos que abordam esse nível estão listados no Quadro 2, que apresenta os principais estudos utilizados como base para essa etapa da pesquisa.

Ao todo, 24 autores abordaram o nível micro, 47 autores o nível meso e 9 autores o nível macro. Outros 25 autores apresentaram concomitantemente uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Vale destacar que o número total ultrapassa o total de artigos investigados, visto que alguns estudos contemplam mais de um nível, sendo classificados em múltiplas categorias.

Observou-se que alguns autores contribuíram em mais de um nível de análise, demonstrando uma abordagem multidisciplinar em suas pesquisas. Este é o caso de

Ferreira; Matias (2021c), bem como Scandura, Aguiar; Jugend (2022b), e Silva; Sehnem (2022a), que aparecem em diversas colaborações e faixas de análise.

Na sequência, os artigos são discutidos em detalhe, com ênfase nos que tratam do nível meso, conforme apresentados no Quadro 3, considerando suas abordagens metodológicas, objetivos, escopo e resultados. Essa análise crítica subsidiará a seleção das ferramentas mais relevantes que fundamentarão a construção da proposta diagnóstica FANPI.

Entre as pesquisas resultantes da RSL, que focaram o nível meso, ou seja, concentraram-se na avaliação da economia circular das empresas, destacou-se a análise do nível de maturidade.

Os artigos fornecem uma visão abrangente sobre as diferentes abordagens, setores e segmentos, metodologias e achados relacionados à avaliação da economia circular nas empresas. Eles destacam a complexidade e a diversidade desse campo emergente e oferecem insights valiosos para empresas, pesquisadores e formuladores de políticas interessados em promover práticas mais sustentáveis e circulares.

Autores como Brendzel, (2021), Scandurra et al., (2023a) e Uhrenholt et al (2022) exploraram modelos de maturidade organizacional para entender como as empresas estão se adaptando aos princípios da economia circular. Eles utilizam diferentes abordagens, desde a adaptação de modelos existentes até o desenvolvimento de novos indicadores de maturidade.

Os setores e segmentos analisados variam, refletindo a diversidade da economia circular e evidenciando como é possível analisar o nível de maturidade em empresas de diferentes segmentos. Enquanto alguns artigos, como o de Kayikci et al. (2022), concentram-se em segmentos específicos, como a indústria têxtil, outros, como os de Simone Sehnem et al. (2022) e Federica Scandurra et al. (2023), exploram a economia circular em cadeias de suprimentos sustentáveis e no setor agroalimentar, respectivamente. Essa diversidade de setores evidencia a aplicabilidade dos princípios da economia circular em diferentes contextos empresariais.

QUADRO 2: LISTA DE ARTIGOS QUANTO A ABORDAGEM DE NÍVEL MESO

Autores	Título	Meso
(Kaplyuk; Rudneva, 2023a)	Strategic Diagnostics of Directions Circular Transformation Industrial Complex	X
(Ruiter; De Feijter; Wagensveld, 2022)	Management Control and Business Model Innovation in the Context of a Circular Economy in the Dutch Construction Industry	X
(Albertsen et al.(2022)	Circular business models for electric vehicle lithium-ion batteries: An analysis of current practices of vehicle manufacturers and policies in the EU	X
(Hernandes De Paula E Silva et al., 2024a)	Lean-circular maturity model (LCMM) for companies' self-assessment in terms of process, product and life cycle thinking	X
(Sehnem et al., 2019a)	Circular business models and the environment: Maturity levels of the circular economy and innovation in greener craft breweries	X
(Kühl et al., 2023)	The circularity of product-service systems: the role of macro-, meso- and micro-level contextual factors	X
(Kayikci et al., 2022)	Assessing smart circular supply chain readiness and maturity level of small and medium-sized enterprises	X
(Uhrenholt et al., 2022a)	Maturity Model as a Driver for Circular Economy Transformation	X
Skowera et al. (2021)	Circular Economy Business Models in the SME Sector	X
(Haezendonck; Berghe, 2020a)	Patterns of Circular Transition: What Is the Circular Economy Maturity of Belgian Ports?	X
(Sehnem et al., 2019b)	Improving sustainable supply chains performance through operational excellence: circular economy approach	X
(Scandurra et al., 2023b)	Modelo de maturidade circular enxuta (LCMM) para autoavaliação das empresas em termos de pensamento de processo, produto e ciclo de vida	X
(Scandurra et al., 2023c)	The maturity level of the agri-food sector in the circular economy domain: A systematic literature review	X
(Kayikci et al., 2022)	Assessing smart circular supply chain readiness and maturity level of small and medium-sized enterprises	X
(Uhrenholt et al., 2022a)	Maturity Model as a Driver for Circular Economy Transformation	X
Bertassini et al. (2022)	CE-oriented culture readiness: An assessment approach based on maturity models and fuzzy set theories	X
(Paula e Silva et al., 2024b)	Lean-circular maturity model (LCMM) for companies' self-assessment in terms of process, product and life cycle thinking	X
(Mesa; Quiroga, 2023)	Development of a diagnostic tool for product circularity: a redesign approach	
(Urain; Eguren; Justel, 2022)	Development and validation of a tool for the integration of the circular economy in industrial companies: Case study of 30 companies	X

Autores	Título	Meso
(Sandoval et al., 2021A)	Beyond the circular economy theory: Implementation methodology for industrial SMEs	X
Thayla Zomer et al. (2024)	Categorization of manufacturing companies' readiness profiles for the transition to the circular economy: A multidimensional cluster analysis	X
Chloe Ki et al.(2023)	Assessing Chinese fashion organizations' change readiness for the circular economy (FashionReady4CE): Development and validation of FashionReady4CE scales	X
Adlin et al. (2022)	The Circular Economy Competence of the Manufacturing Sector — A Case Study	X
(Kayikci et al., 2022a)	Assessing smart circular supply chain readiness and maturity level of small and medium-sized enterprises	X
Thorley et al. (2024)	Circular economy: a conceptual model to measure readiness for manufacturing SMEs	X
Pigosso et al. (2021)	Making the transition to a Circular Economy within manufacturing companies: the development and implementation of a self-assessment readiness tool	X
Vinit Parida et al. (2019)	Orchestrating industrial ecosystem in circular economy: A two-stage transformation model for large manufacturing companies	X
(Silva et al., 2024b)	Lean-circular maturity model (LCMM) for companies' self-assessment in terms of process, product and life cycle thinking	X
(Corsini et al., 2024)	Introducing the circular assessment of suppliers (CAoS) tool: A Kraljic matrix-based tool to facilitate circular procurement in private organizations	X
(Bashynska et al., 2024)	Performance Assessment of Sustainable Leadership of Enterprise's Circular Economy-Driven Innovative Activities	X
(Silva et al., 2024a)	Lean-circular maturity model (LCMM) for companies' self-assessment in terms of process, product and life cycle thinking	X
(LI, 2023b)	Evaluating the Development Path of Manufacturing Industry Under Carbon Neutralisation	X
(Yang; Ma; Yuan, 2023)	Measuring circularity potential for medical waste management – a dynamic circularity performance analysis	X
(Baumer-Cardoso; Ashton; Campos, 2023)	Measuring the Adoption of Circular Economy in Manufacturing Companies: the Proposal of the Overall Circularity Effectiveness (OCE) Index	X
(Wiprächtiger et al., 2023)	Combining industrial ecology tools to assess potential greenhouse gas reductions of a circular economy: Method development and application to Switzerland	X
(Chiarot; Cooper Ordoñez; Lahura, 2022)	Evaluation of the Applicability of the Circular Economy and the Product-Service System Model in a Bearing Supplier Company	X
(Lanaras-Mamounis et al., 2022)	A Framework for Assessing the Contribution of Firms to Circular Economy: a Triple-Level Approach	X
(Tedesco et al., 2022)	Assessment of the circular economy in the Brazilian planted tree sector using the ReSOLVE framework	X

Autores	Título	Meso
Arnau González et al. (2021)	Methodology to assess the circularity in building construction and refurbishment activities	X
(Josimović et al., 2021)	Multi-criteria Evaluation in Strategic Environmental Assessment in the Creation of a Sustainable Agricultural Waste Management Plan for wineries: Case Study: Oplenac Vineyard	X
(Vimal et al., 2021)	Application of multi grade fuzzy approach to compute the circularity index of manufacturing organizations	X

FONTE: A Autora (2025)

As metodologias utilizadas também variam entre as pesquisas. Algumas, como a de Elvira Haezendonck et al (2022)., combinam análise documental com entrevistas para mapear iniciativas circulares em portos marítimos, enquanto Vimal et al. (2021), desenvolvem ferramentas de avaliação específicas, como modelos fuzzy, para medir a circularidade das organizações.

Esses estudos revelam, ainda, uma série de desafios e oportunidades na transição para a economia circular. Por exemplo, enquanto alguns autores identificam lacunas de competências e limitações na implementação de modelos circulares, Brendzel-Skowera et al. (2022), outros acentuam a falta de sustentabilidade financeira e informações sobre novos modelos de negócio, Haezendonck et al. (2023). No entanto, também são apontadas iniciativas promissoras e áreas de melhoria, como a integração de práticas circulares na cadeia de abastecimento e o desenvolvimento de uma cultura organizacional orientada para a economia circular (Silva; Sehnem, 2022b).

4.2 FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NÍVEL DE EMPRESA (MESO)

A Tabela 4 apresenta os artigos que abordaram ferramentas de prontidão em Economia Circular em nível meso, apresentando o número de citações na base Scopus, já ordenados pelos artigos com maior número de citações.

Os artigos foram submetidos a uma análise e a uma classificação quanto a aderência pela própria autora, utilizando uma escala Likert de três pontos para cada um dos seguintes critérios extraídos da leitura dos artigos.

Uma metodologia de classificação por aderência foi desenvolvida com o objetivo de avaliar e selecionar, de forma sistemática, as ferramentas mais adequadas para medir a prontidão das empresas frente à Economia Circular no nível meso. A proposta surgiu diante da diversidade de modelos encontrados na literatura, que variavam quanto à aplicabilidade, escopo, método e profundidade conceitual. Como apontam Sehnem et al. (2019) e Pigosso et al. (2020), não há um modelo único amplamente aceito para esse fim, o que justifica a adoção de uma metodologia própria, desde que técnica e bem estruturada.

A classificação foi realizada pela autora, com apoio do orientador e de um especialista, com base em seis critérios: (1) Relevância para a Economia Circular, (2) Aplicabilidade Industrial, (3) Abordagem Metodológica, (4) Facilidade de Implementação, (5) Número de Citações e (6) Disponibilidade da Ferramenta/Dados. Cada critério foi avaliado por uma escala Likert de 3 pontos. A nota final foi obtida pela média aritmética simples das pontuações.

Esse tipo de avaliação multicritério é coerente com práticas adotadas em estudos semelhantes (Lewandowski, 2016; Kirchherr et al., 2018; López et al., 2021) e garante maior objetividade na análise. Além disso, os critérios foram definidos com base em atributos recorrentes nas ferramentas reconhecidas na literatura, como MATChE, Ready2LOOP e ReSOLVE.

A metodologia, mesmo sendo autoral, possui fundamentação teórica sólida, promove transparência no processo de seleção e permite replicabilidade em outras pesquisas. Seu uso garantiu uma triagem rigorosa e alinhada com os objetivos do estudo, servindo de base confiável para o desenvolvimento da ferramenta final de diagnóstico aplicada no estudo de caso.

Primeiramente, a Relevância para a Economia Circular foi avaliada com base na profundidade com que os artigos abordaram os princípios essenciais da economia circular, como a extensão da vida útil, redução de desperdícios, uso eficiente de recursos, reutilização, remanufatura, reciclagem e recuperação de materiais. A pontuação variou de 1 (não aborda) a 3 (discute extensivamente).

A Aplicabilidade Industrial foi considerada para verificar se as ferramentas propostas eram genéricas o suficiente para serem aplicadas em diferentes setores e empresas, sem necessidade de modificações significativas. Os escores variaram de 1 (limitada a um setor específico) a 3 (genérica e amplamente aplicável).

A Abordagem Metodológica considerou a robustez da metodologia utilizada nos artigos, incluindo a qualidade da coleta e análise de dados, modelagem estatística e interpretação dos resultados. As classificações variaram de 1 (metodologia superficial) a 3 (metodologia robusta e bem estruturada).

A Facilidade de Implementação considerou a praticidade e viabilidade de adoção das ferramentas propostas para as empresas. Os artigos foram

classificados de acordo com a complexidade da implementação, variando de 1 (complexa e pouco viável) a 3 (prática e facilmente implementável).

O número de citações refletiu a aceitação e adoção das ferramentas pela comunidade acadêmica e/ou empresarial, indicando sua relevância prática. Os artigos receberam pontuações de 1 (pouco citado) a 3 (amplamente citado e reconhecido).

Finalmente, a Disponibilidade da Ferramenta e dos Dados considerou se as ferramentas estavam publicamente disponíveis ou se exigiam acesso controlado ou alguma restrição a base de dados, sendo avaliadas de 1 (não disponível publicamente) a 3 (amplamente acessível, possivelmente via cadastro online).

Cada artigo foi avaliado de acordo com esses critérios utilizando uma escala Likert de 3 pontos. A aderência final de cada artigo foi determinada calculando a média aritmética das pontuações atribuídas a cada critério. Essa metodologia proporciona uma avaliação detalhada e objetiva da adequação dos artigos aos princípios da economia circular e à sua aplicabilidade prática. Os artigos sinalizados com aderência “NA” significam que não foi possível atribuir a classificação pela indisponibilidade da ferramenta.

O resultado desta classificação, compreendendo o arredondamento matemático das primeiras casas decimais, é apresentado na Tabela 4. Ao final, as ferramentas de maior pontuação, consideradas mais aderentes foram: a ferramenta Making the Transition to a Circular Economy (MATchE), Readiness and Maturity Index Scores of Cadeia de Abastecimento Circular Inteligente (SCSC), Maturity Model to Circular Economy, O Framework ReSOLVE, O Questionário de Economia Circular Industrial (QECI), Ferramenta Ready2LOOP e a Abordagem baseada na lógica Fuzzy para avaliar a prontidão das organizações. Estas ferramentas são detalhadas nas seções 4.4.1 a 4.4.7.

TABELA 4: CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS NÍVEL MESO MAIS CITADOS NA BASE SCOPUS.

Autores	Título	Ferramenta	Citações	Aderência
Parida, et al. (2019)	Orchestrating industrial ecosystem in circular economy: A two-stage transformation model for large manufacturing companies	“Quatro alavancas de controle” (a estrutura LoC).	216	1
(Sehnem et al., 2019c)	Improving sustainable supply chains performance through operational excellence: circular economy approach	(SEHNEM et al., 2019c)	114	2
Albertsen, et al (2021)	Circular business models for electric vehicle lithium-ion batteries: An analysis of current practices of vehicle manufacturers and policies in the EU	Albertsen,et al	60	1
(Vimal et al., 2021)	Application of multi grade fuzzy approach to compute the circularity index of manufacturing organizations	VIMAL et al., 2021	56	1
Pigosso, et al (2023)	Making the transition to a Circular Economy within manufacturing companies: the development and implementation of a self-assessment readiness tool	MATCHE (Making the Transition to a Circular Economy)	49	3
Skowera, et al (2021)	Circular Economy Business Models in the SME Sector	R2Pi (programa Horizonte 2020) e CMMI - Capability Maturity Model Integration	28	2
(González et al., 2021)	Methodology to assess the circularity in building construction and refurbishment activities	Metodologia de avaliação de CE	24	1
(Sandoval et al., 2021B)	Beyond the circular economy theory: Implementation methodology for industrial SMEs	Indisponível	22	NA
(kayikci et al., 2022A)	Assessing smart circular supply chain readiness and maturity level of small and medium-sized enterprises	Readiness and Maturity Index Scores of Cadeia de Abastecimento Circular Inteligente (SCSC)	20	3
(Haezendonck; Berghe, 2020b)	Patterns of Circular Transition: What Is the Circular Economy Maturity of Belgian Ports?	Sem nome	19	1
(Uhrenholt et al., 2022A)	Maturity Model as a Driver for Circular Economy Transformation	Modelo de maturidade	13	3
(Tedesco et al, 2022)	Assessment of the circular economy in the Brazilian planted tree sector using the ReSOLVE framework	Framework ReSOLVE (Como referência/base)	13	3

Autores	Título	Ferramenta	Citações	Aderência
(Wiprächtiger et al., 2023)	Combining industrial ecology tools to assess potential greenhouse gas reductions of a circular economy: Method development and application to Switzerland	The industrial ecology tools for assessing the sustainable circular economy potential approach (IE4CE).	12	1
KÜHL, et al (2023)	The circularity of product-service systems: the role of macro-, meso- and micro-level contextual factors	Indisponível	11	NA
Thorley, et al (2021)	Circular economy: a conceptual model to measure readiness for manufacturing SMEs	Indisponível	11	NA
(Urain; Eguren; Justel, 2022)	Development and validation of a tool for the integration of the circular economy in industrial companies: Case study of 30 companies	Questionário de Economia Circular Industrial (ICEQ)	9	3
Bertassini, et al (2022)	CE-oriented culture readiness: An assessment approach based on maturity models and fuzzy set theories	Metodologia integrada de Fuzzy Delphi (FDM) e Sistema de Inferência Fuzzy (FIS) e Modelo de Maturidade (Sem nome)	8	3
(Josimović et al., 2021)	Multi-criteria Evaluation in Strategic Environmental Assessment in the Creation of a Sustainable Agricultural Waste Management Plan for wineries: Case Study: Oplenac Vineyard	Método de avaliação multicritério (MCE)	7	1
(Scandurra et al., 2023A)	The maturity level of the agri-food sector in the circular economy domain: A systematic literature review	Revisão Sistemática da Literatura	6	1
(Ruiter; Feijter; Wagenveld, 2022)	Management Control and Business Model Innovation in the Context of a Circular Economy in the Dutch Construction Industry	Alavancas de controle (Estrutura LoC de Simons).	5	1
Julkovski, et al AL	Circular business models and the environment: Maturity levels of the circular economy and innovation in greener craft breweries	Indisponível	5	NA
(Lanaras-Mamounis et al., 2022)	A Framework for Assessing the Contribution of Firms to Circular Economy: a Triple-Level Approach	Indisponível	5	NA

Autores	Título	Ferramenta	Citações	Aderência
(Baumer, Cardoso; Ashton; Campos, 2023)	Measuring the Adoption of Circular Economy in Manufacturing Companies: the Proposal of the Overall Circularity Effectiveness (OCE) Index	Indisponível	3	NA
(Chiarot; Cooper Ordoñez; Lahura, 2022)	Evaluation of the Applicability of the Circular Economy and the Product-Service System Model in a Bearing Supplier Company	Framework ReSOLVE + Barquet Sistem Service-Product (PSS)	3	2
Adlin, et al (2021)	The Circular Economy Competence of the Manufacturing Sector — A Case Study	Perfil regional da economia circular	2	1
(Diez-Cañamero; Mendoza, 2023)	How ready is the wind energy industry for the circular economy?	Ready2LOOP	1	3
(Li, 2023)	Evaluating the Development Path of Manufacturing Industry Under Carbon Neutralisation	Indisponível	1	2
(Kaplyuk; Rudneva, 2023A)	Strategic Diagnostics of Directions Circular Transformation Industrial Complex	Indisponível	0	NA
(De Paula e Silva et al., 2024A)	Lean-circular maturity model (LCMM) for companies' self-assessment in terms of process, product and life cycle thinking	Modelo de Maturidade Lean-Circular (LCMM)	0	2
(Scandurra et al., 2023A)	The maturity level of the agri-food sector in the circular economy domain: A systematic literature review	Revisão Sistemática da Literatura	0	1
(De Paula e Silva et al., 2024b)	Lean-circular maturity model (LCMM) for companies' self-assessment in terms of process, product and life cycle thinking	Modelo de Maturidade Lean-Circular (LCMM)	0	2
(Bawab; Marenco, 2023)	Industrial perspective regarding circular economy activities in Atlantico-colombia	Indisponível	0	NA
Zomer, et al (2022)	Categorization of manufacturing companies' readiness profiles for the transition to the circular economy: A multidimensional cluster analysis	Indisponível	0	NA
KI, et al (2022)	Assessing Chinese fashion organizations' change readiness for the circular economy (FashionReady4CE): Development and validation of FashionReady4CE scales	FashionReady4CE	0	1

Autores	Título	Ferramenta	Citações	Aderência
(Corsini et al., 2024)	Introducing the circular assessment of suppliers (CAoS) tool: A Kraljic matrix-based tool to facilitate circular procurement in private organizations	Ferramenta de Avaliação Circular de Fornecedores (CAoS) e Matriz Kraljic	0	2
(Bashynska et al., 2024)	Performance Assessment of Sustainable Leadership of Enterprise's Circular Economy-Driven Innovative Activities	BASHYNSKA et al., 2024	0	1

Fonte: A Autora (2025)

4.2.1 A ferramenta Making the Transition to a Circular Economy (MATchE)

O artigo de Pigosso e McAloone (2023) aborda a ferramenta denominada de *Making the Transition to a Circular Economy* (MATchE). MATchE permite a autoavaliação de prontidão desenvolvida para apoiar as empresas transformadoras na transição para um modelo de Economia Circular, direcionada para indústria de transformação de bens e serviços, permitindo o benchmarking interno e externo, a priorização de estratégias e o desenvolvimento de caminhos para uma transição circular.

Compreende desde a identificação do atual perfil de prontidão para o planejamento da implementação e do processo de transição EC até o apontamento das potencialidades para o sucesso da implementação da EC nas indústrias. Um processo que envolveu tanto o desenvolvimento teórico como a colaboração prática com profissionais da área de sustentabilidade, estabelecendo, ao final, uma plataforma web de autoavaliação dentro da transição das empresas transformadoras para um modelo de Economia Circular.

Esta ferramenta foi especificamente concebida para avaliar a prontidão em oito dimensões críticas, incluindo estratégia e inovação no modelo de negócio, permitindo estudos de benchmarking internos e externos, a priorização de áreas de foco com base em impulsionadores estratégicos e a formulação de caminhos de transição apoiados por ferramentas e métodos.

O protótipo disponível na web compreendeu os conteúdos relacionados com as dimensões e aspectos da Economia Circular, mas também incorporou a lógica subjacente para a pontuação dos níveis de prontidão individuais e agregação dos níveis de prontidão de múltiplos colaboradores dentro da mesma organização, assegurando o acesso e a análise de dados.

A ferramenta apoia-se em quatro pilares: (i) compreender os pontos fortes e fracos da empresa relacionados a implantação da EC; (ii) oferecer benchmarking entre setores internos e empresas; (iii) ajudar a priorizar e focar as ações em determinadas áreas da organização; e (iv) planejamento da estratégia de implementação fornecendo ferramentas, métodos e abordagens para a transição.

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi desenvolvida, para, inicialmente, determinar importantes fatores de sucesso, motivadores e barreiras

para a transição da empresa para a EC. A RSL teve o objetivo de compreender: (i) quais os artigos abordam a avaliação da prontidão, para identificar as etapas da avaliação; e (ii) identificar os aspectos necessários que as empresas de manufatura precisam dominar, para uma transição verde.

Ao final, a busca resultou em 61 artigos relevantes, a partir dos quais foram definidas cinco dimensões iniciais de prontidão para a Economia Circular (EC): a prontidão organizacional, o modelo de negócios, o mercado, ofertas (produtos e serviços) e operacional. Essas dimensões foram abertas e detalhadas em resultando em 25 questões para o protótipo inicial da ferramenta de avaliação.

Na sequência, o protótipo foi testado por meio de quatro (4) workshop formados por trinta e cinco (35) diretores ligados a setores ambientais das indústrias de transformação da Dinamarca. O protótipo, desenvolvido em papel, foi criado para ser testado por especialistas. A escolha do material, visou focar no conteúdo e na lógica da autoavaliação, sem se preocupar com a interface do usuário ou funcionalidades técnicas.

O protótipo inicial evoluiu para uma ferramenta de avaliação de prontidão para a Economia Circular (EC), que foi iterada e validada várias vezes. Ao final, esta ferramenta inclui 8 dimensões e 30 questões. Nesta etapa do processo, foram definidas características-chave para o desenvolvimento da ferramenta MATchE, sendo elas:

Avaliação em Diferentes Níveis da Organização: a ferramenta avalia a preparação para EC tanto no nível da empresa quanto no nível das unidades de negócios, sendo útil especialmente para grandes organizações com diferentes níveis de preparação em diversas unidades.

Avaliação Multifunção: permite a participação de colaboradores de diferentes funções, garantindo uma visão mais ampla e colaborativa da prontidão da empresa e evitando a limitação de uma perspectiva única.

Benchmarking: facilita a comparação interna (entre as áreas e unidades de negócios) e externa (com outras empresas de setores, regiões e tamanhos similares), promovendo um senso de urgência e alinhamento para a transição para EC.

Suporte ao Desenvolvimento de Caminhos de Transição: ajuda as empresas a priorizarem as dimensões e aspectos mais relevantes e a identificar as ferramentas e métodos mais adequados para apoiar a transição.

No terceiro e último ciclo, foi desenvolvido um protótipo digital da ferramenta de autoavaliação de prontidão para Economia Circular (EC). Esta versão web, baseou-se na linguagem PHP, integrando a lógica completa para pontuar os níveis de prontidão de diferentes colaboradores na organização.

Para garantir a qualidade e confiabilidade, a ferramenta foi projetada para coletar informações robustas e transparentes, e na sequência, um estudo de usabilidade e design de experiência do usuário (UX) também foi realizado. O protótipo passou por três iterações, sendo elas: (i) teste inicial com avaliação de 22 profissionais de pesquisa para verificar a confiabilidade, usabilidade e experiência do usuário; e (ii) teste de volume com grupos de 40 a 70 alunos de mestrado para avaliar a usabilidade em diferentes cenários, a capacidade de agregar múltiplas entradas e a integridade do servidor, indicando a necessidade de simplificação e melhorias no processo de registro e finalmente, (iii) teste com 15 especialistas em ACV e Ecodesign sobre a digitalização da ferramenta, também testada nas empresas dos especialistas para obter feedback adicional.

Quanto ao uso da ferramenta MATchE é compreendido em 10 passos:

Passo 1 - Criação do Perfil. O usuário cria um perfil na ferramenta MATchE, disponível em www.matche.dk. O domínio do e-mail identifica a empresa. O primeiro usuário de um novo domínio deve fornecer detalhes básicos da empresa, que são verificados e aprimorados pela equipe de pesquisa. Outros usuários com o mesmo domínio são automaticamente associados.

Passo 2 - Seleção do Escopo. O usuário escolhe se a avaliação será para a empresa inteira ou uma unidade de negócios específica. A ferramenta permite criar várias unidades de negócios, com pontuações agregadas para um perfil geral da empresa.

Passo 3 - Responder as Perguntas. O usuário responde a 30 perguntas sobre prontidão para EC, divididas em oito dimensões, usando uma escala Likert de 1 a 5.

Passo 4 - Definir Habilidades. O usuário define suas áreas de especialização, contribuindo para uma visão geral das competências na empresa, o que melhora a confiabilidade dos dados.

Passo 5 - Análise dos Resultados. A ferramenta fornece uma análise dos resultados, incluindo indicadores de prontidão, número de avaliações, concordância das respostas, cobertura de competências e robustez.

Passo 6 - Identificação de Melhorias. Com base na pontuação de prontidão, são identificados pontos fortes e áreas de melhoria. Um relatório PDF é gerado com recomendações específicas.

Passo 7 – Benchmarking. Compara os resultados internamente entre unidades de negócios e externamente com outras empresas semelhantes. Filtros ajudam a manter o anonimato dos dados.

Passo 8 – Priorização. O usuário prioriza as dimensões de EC com base na importância e no prazo de implementação, criando um caminho de transição com recomendações.

Passo 9 - Seleção de Ferramentas. A ferramenta sugere métodos e ferramentas de EC adequadas para a situação específica da empresa ou unidade de negócios, disponíveis para download.

Passo 10 – Reavaliação. Pode-se reavaliar a prontidão a qualquer momento para identificar novas oportunidades de melhoria e documentar a evolução ao longo do tempo.

4.2.2 Readiness and Maturity Index Scores of Supply Chain (SCSC)

A ferramenta desenvolvida por Kayikci et al. (2022a) mede os níveis de prontidão e maturidade das Pequenas e Médias Empresas (PME) em relação à Indústria 4.0 (I4.0) e à Economia Circular (CE) na cadeia de abastecimento. Baseada em uma revisão de modelos existentes, como os de Sheen Yang (2018), Castelo-Branco et al. (2019), Chonsawat Sopadang (2019) e Schumacher et al. (2019), a ferramenta assegura que as PME estejam prontas, amadurecidas e alinhadas com outras partes interessadas na cadeia de abastecimento. O desenvolvimento da ferramenta compreendeu os seguintes passos:

Passo 1: A Revisão da Literatura. Realizou-se uma revisão abrangente sobre sustentabilidade da cadeia de abastecimento e economia circular, analisando modelos existentes de prontidão e maturidade.

Passo 2: O Estudo Delphi. Conduziu-se o estudo com seis especialistas sêniores para definir as principais dimensões e subdimensões para PME em transição para I4.0 e CE. Todos tinham vasta experiência em áreas como cadeia de fornecimento verde, engenharia industrial, consultoria, gestão de projetos e manufatura industrial, com uma média de dezessete anos de experiência.

Passo 3: Aplicação em Estudo de Caso. Aplicou-se a ferramenta em um estudo de caso prático, avaliando as dimensões e subdimensões identificadas.

As dimensões e subdimensões foram conceitualizadas especificamente para PME com base no conceito de Supply Chain e Smart Circular Supply Chain (SCSC), incluindo: aspectos econômicos (finanças e investimentos), considerações ambientais (ecossistemas digitais e ciclo de vida do produto) e dimensões sociais (cultura). Essas dimensões são consideradas cruciais para avaliar a prontidão das PME para adotar tecnologias I4.0, implementar práticas de economia circular e potenciar a sustentabilidade dentro da cadeia de abastecimento.

4.2.3 Maturity Model to Circular Economy

O Modelo de Maturidade da Economia Circular (EC), desenvolvido por Uhrenholt et al., (2022b) serve para orientar as organizações transformadoras na sua transição para uma economia circular. Apresenta seis níveis de maturidade em seis dimensões organizacionais: Criação de Valor, Governança, Pessoas e Competências, Cadeia de Abastecimento e Parceria, Operações e Tecnologia, Produto e Material (Uhrenholt et al., 2022b).

Criação de Valor: envolve modelos de geração e captação de valor a partir de atividades de economia circular, tais como modelos de venda, programas de take-back e serviços de extensão de vida (Uhrenholt et al., 2022b).

Governança: engloba estratégias e planos de transformação circular, incluindo alocação de recursos, consciência circular e engajamento em diferentes níveis hierárquicos (Uhrenholt et al., 2022b)

Pessoas e Competências: foca nas competências e mentalidades necessárias para viabilizar e atuar na transformação circular, tais como

competências circulares, cultura de aprendizagem e formação (Uhrenholt et al., 2022b) .

Cadeia de Abastecimento e Parceria: lida com engajamento externo e colaboração operacional para criar valor e adquirir conhecimento para atividades de economia circular (Uhrenholt et al., 2022b) .

Operações e Tecnologia: envolve os aspectos operacionais e os avanços tecnológicos necessários para apoiar as práticas de economia circular dentro da organização (Uhrenholt et al., 2022b).

Produto e Material: preocupa-se com a gestão e transformação de produtos e materiais para alinhar com os princípios da economia circular (Uhrenholt et al., 2022b).

O modelo baseia-se na perspectiva da capacidade cumulativa e explica a progressão da maturidade circular por meio dos princípios da perícia e da perspectiva de sistemas. Serve como um objeto de fronteira para as organizações, fornecendo uma estrutura adequada para avançar na sua jornada de economia circular. Atua como uma ferramenta de andaime, apresentando um percurso de evolução que ajuda as organizações definirem estratégias viáveis e desejáveis para o envolvimento efetivo com a economia circular (Uhrenholt et al., 2022b).

O Modelo de Maturidade da Economia Circular (EC), compreende os seguintes passos:

Passo 1: Revisão da literatura. Foi desenvolvido como um modelo conceitual baseado em outras ferramentas já existentes que abordaram o tema EC. Isto permitiu identificar as dimensões organizacionais da economia circular para orientar a transformação da CE utilizando ferramentas de avaliação como o modelo de maturidade.

Passo 2: considerou as limitações do estudo, tais como a falta de fundamentação empírica, ajustando potencialmente o modelo para relevância industrial e aplicabilidade

Passo 3: considerou métodos quantitativos como análise multicritério com a ajuda de especialistas para auxiliar no processo de avaliação do modelo de maturidade.

4.2.4 O Framework ReSOLVE

Por meio de pesquisas realizadas em estudos de caso e entrevistas com especialistas, a Fundação Ellen MacArthur (EMF) identificou um conjunto de seis ações que as empresas e os governos podem tomar para fazer a transição para uma economia circular: Regenerar, Compartilhe, Otimizar, Loop, virtualizar e Substituir (Tedesco et al., 2022) (EMF, 2024) .

A estrutura ReSOLVE, nome dado a esse conjunto de ações, oferece às empresas e aos governos uma ferramenta que gera estratégias circulares e iniciativas de crescimento. De maneiras diferentes, essas aumentam a utilização de ativos físicos, prolongam sua vida útil e transferem recursos de fontes finitas para fontes renováveis. Cada ação reforça e acelera a execução das demais (Tedesco et al., 2022) (EMF, 2024).

O Framework categoriza o grau de implementação das práticas circulares em quatro níveis: inexistente, em implementação, estabelecido, estabelecido e otimizado, atribuindo pontuações proporcionais a cada nível para quantificar a adoção de práticas. Por meio desta estrutura, as empresas podem analisar os impactos das práticas de economia circular em aspectos como fatores socioeconômicos e ambientais, auxiliando na tomada de decisão e desenvolvimento de estratégias (Tedesco et al., 2022) (EMF, 2024).

O framework ReSOLVE consiste nas práticas de regeneração, partilha, otimização, ciclagem, virtualização e intercâmbio de práticas (Tedesco et al., 2022) (EMF, 2024) .

A ferramenta pode ser detalhada da seguinte forma:

Passo 1: Definição de Metas e Escopo. As empresas precisam definir suas metas específicas em termos de economia circular, como redução de resíduos, aumento da reciclabilidade de produtos, entre outros. O escopo do projeto também é determinado nesta fase.

Passo 2: Avaliação de Inputs e Outputs. São analisados os inputs de materiais, energia e recursos naturais necessários para a produção de produtos e serviços da empresa. Também são identificados os outputs, como resíduos e emissões geradas durante o processo.

Passo 3: Aplicação dos Indicadores de Circularidade. Refere-se a utilização dos indicadores desenvolvidos pela Fundação Ellen MacArthur para avaliar a circularidade dos produtos ou operações da empresa. Estes indicadores incluem métricas para medir a reciclabilidade, o uso de materiais reciclados, a durabilidade e a facilidade de manutenção dos produtos, entre outros aspectos.

Passo 4: Análise e Interpretação dos Resultados. Os dados coletados são analisados para avaliar o desempenho atual em relação aos objetivos de economia circular estabelecidos. Isso ajuda a identificar áreas de melhoria e oportunidades para otimizar processos ou redesenhar produtos.

Passo 5: Implementação de Melhorias e Monitoramento Contínuo. Com base nos resultados da análise, a empresa implementa medidas corretivas e estratégias para aumentar a circularidade de seus produtos e operações. O progresso é monitorado continuamente para garantir que as metas de economia circular sejam alcançadas e mantidas ao longo do tempo.

4.2.5 O Questionário de Economia Circular Industrial (QECI)

A ferramenta desenvolvida por Urain, Eguren e Justel (2022) auxilia a implementação da Economia Circular (EC) na indústria, reconhecendo-a como uma estratégia para alcançar metas globais de recursos, energia e mitigação climática, incluindo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2030. A ferramenta é um Questionário de Economia Circular Industrial (QECI), um instrumento de autodiagnóstico construído com base na revisão da literatura acadêmica sobre ferramentas de avaliação de EC, em nível empresarial. O QECI foi aplicado a 30 empresas industriais em 17 setores econômicos na Comunidade Autônoma Basca, na Espanha. A construção da ferramenta compreendeu os seguintes passos:

Passo 1: Revisão da Literatura sobre ferramentas de avaliação de EC a nível empresarial.

Passo 2: Análise de normas e revisões bibliográficas sobre diagnóstico de Economia Circular.

Passo 3: Criação de um questionário de autodiagnóstico com 165 perguntas para avaliar a circularidade das empresas. Esta etapa compreendeu ainda Integração de itens com estratégias e soluções de EC, utilizando exemplos de questionários e ferramentas de diagnóstico encontrados na literatura.

Passo 4: Aplicação do questionário em 30 empresas industriais de 17 setores econômicos na Comunidade Autônoma Basca, Espanha. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas durante workshops com as empresas participantes para obter feedback sobre a ferramenta.

Passo 5: Avaliação do questionário com base no feedback recebido e Implementação de melhorias para garantir a utilidade e eficácia da ferramenta.

Quanto ao Sistema de Pontuação, a ferramenta considera a implementação de um sistema de pontuação de cinco níveis (Incipiente, Básico, Operacional, Comprometido e Estratégico) com base em uma escala de 1 a 5, sendo:

- Incipiente: abordagem limitada à EC, cumprindo apenas os requisitos legais.
- Básico: interesse em adotar a EC, dando os primeiros passos rumo à transição.
- Operacional: conhecimento sobre os princípios da EC, mas sem integração completa e sistematizada.
- Compromisso: alinhamento da oferta com os princípios da EC, foco em inovação de produtos e serviços.
- Estratégico: alinhamento completo das formas organizacionais, modelo de negócio e proposta de valor com a EC.

Esse sistema de pontuação fornece um guia para as organizações avaliarem seu nível de maturidade em relação à EC e identificarem áreas para melhoria e desenvolvimento.

4.2.6 Ferramenta Ready2LOOP

A ferramenta Ready2LOOP, desenvolvida por Mendoza e Pigosso (2023), auxilia na implementação da Economia Circular (EC) na indústria,

especificamente no setor de energias renováveis. A metodologia da ferramenta compreende oito dimensões de negócio: Organização; Estratégia e Inovação do Modelo de Negócios; Inovação de Produtos e Serviços; Fabricação e Cadeia de Valor; Tecnologia e Dados; Uso, Suporte e Manutenção; Gestão de Retoma e Fim de Vida; e Política e Mercado.

O desenvolvimento e aplicação da ferramenta incluem os seguintes passos:

Passo 1: Avaliação Preliminar. Avaliação da situação atual das empresas em relação à integração dos conceitos de EC, utilizando dados de sites e políticas de sustentabilidade.

Passo 2: Avaliação de Prontidão. Aplicação do questionário Ready2LOOP em workshops, onde empresas respondem a 30 perguntas distribuídas nas oito dimensões de negócio. Os participantes atribuem pontuações de 1 a 5 para cada pergunta, indicando a compreensão e implementação dos conceitos de EC.

Passo 3: A avaliação das competências dos profissionais em áreas específicas.

Passo 4: Geração de Relatório. Com base nas pontuações, a ferramenta gera-se um resumo do nível de preparação para a circularidade de cada empresa, incluindo recomendações específicas para melhorias.

Passo 5: Comparação dos níveis de preparação com outras unidades de negócios e empresas do setor (benchmarking interno e externo).

Passo 6: Priorização de Áreas para Melhoria. Profissionais priorizam as principais dimensões da EC para futuras melhorias com base nos resultados da avaliação.

Passo 7: Análise e Desenvolvimento de Diretrizes. Análise dos resultados das oficinas para desenvolver diretrizes que impulsionem a inovação sustentável da EC no setor Eólico. As diretrizes visam tornar os processos de fabricação e gestão de parques eólicos mais circulares e sustentáveis.

Passo 8: Recomendações Personalizadas. A ferramenta fornece recomendações e ferramentas personalizadas para auxiliar as empresas na transição para a EC. As recomendações são baseadas no perfil de prontidão atual da empresa, orientando o processo de transição para práticas mais circulares e sustentáveis.

Quanto aos benefícios da ferramenta, pode-se destacar que ela permite uma avaliação abrangente dos níveis de prontidão para a EC em empresas ou unidades de negócios, identifica pontos fortes e lacunas existentes em relação à EC, facilita o benchmarking para comparação da prontidão entre diferentes unidades de negócios ou com outras empresas, ajuda na identificação de áreas específicas que requerem maior foco e atenção para a inovação em EC e, finalmente, fornece orientações direcionadas para a transição para práticas mais circulares e sustentáveis.

4.2.7 Abordagem baseada na lógica Fuzzy para avaliar a prontidão das organizações

A ferramenta proposta por Bertassini et al., (2022) no trabalho de investigação, é uma abordagem baseada na lógica Fuzzy para avaliar a prontidão das organizações para implementar uma cultura orientada para a EC. A ferramenta ajuda as organizações a identificarem áreas de melhoria na implementação de uma cultura alinhada com os princípios da Economia Circular (BERTASSINI et al., 2022).

Esta ferramenta combina uma metodologia Delphi Fuzzy para seleção de elementos, um sistema de inferência Fuzzy para classificar organizações e uma aplicação para demonstrar a abordagem (BERTASSINI et al., 2022).

Fornece, às organizações, informações específicas sobre os níveis de prontidão, comparações de desempenho em pares e gráficos de radar mostrando o desempenho geral em relação a uma cultura orientada para EC (BERTASSINI et al., 2022)..

A ferramenta foi construída compreendendo os seguintes passos:

Passo 1: Revisão da literatura. Para identificar os elementos que caracterizam uma cultura orientada para a economia circular (EC) e as ferramentas de maturidade ou prontidão aplicadas ao tema. Foram observados 151 elementos e, para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura.

Passo 2: O Método Fuzzy. O conjunto inicial de elementos foi selecionado e classificado usando o Método Delphi Fuzzy (FDM). Em seguida, foram propostos e validados com especialistas o número de níveis de prontidão e a descrição de cada nível.

Passo 3: Construção do questionário eletrônico. Este passo inclui a construção do instrumento de avaliação (o questionário) e a definição das funções e regras do Sistema de Inferência Fuzzy. A primeira versão do questionário foi elaborada e discutida com especialistas em economia circular, resultando em alguns ajustes no questionário e na plataforma de aplicação, garantindo que os profissionais não tivessem dificuldades em respondê-lo.

Passo 4: O Estudo de caso. Este passo compreende a aplicação do instrumento de avaliação por meio de um estudo de caso, um piloto. Em seguida, analisou-se gaps de prontidão para uma cultura orientada para a economia circular do caso estudado e propôs-se um plano de ação para que a organização avançasse em direção a uma cultura mais circular.

4.2.8 Identificação dos passos comuns às ferramentas de nível meso

Esta subseção apresenta uma análise comparativa das ferramentas com o objetivo de compreender, se houver, um padrão empregado em sua construção. A avaliação ajudará a justificar a escolha da ferramenta que será empregada nesta pesquisa. O quadro 3 apresenta as etapas comuns de construção e relaciona as ferramentas.

A Revisão da Literatura mostrou-se presente em todas as ferramentas com o objetivo de identificar outras ou com modelos já existentes, além de coletar dados como critérios, fatores e dimensões relevantes para a análise da prontidão para a Economia Circular (EC). A partir da coleta de dados, os indicadores e questionários de avaliação foram desenvolvidos considerando dimensões do negócio, clusters de empresas, segmentos, entre outros. Posteriormente, foram

testados e validados por meio de workshops, estudos de caso e consulta a especialistas, o que permitiu, com iterações, ajustes e melhorias, garantir precisão e viabilidade de aplicação dos questionários.

As ferramentas, depois de aplicadas, permitiram gerar relatórios detalhados com as pontuações, além de possibilitar a realização de benchmarking dos resultados de prontidão entre empresas e unidades de negócio do mesmo e de diferentes segmentos. As ferramentas permitem reavaliações contínuas para monitorar o progresso.

QUADRO 3: IDENTIFICAÇÃO DOS PASSOS COMUNS ÀS FERRAMENTAS DE NÍVEL MESO

Passos comuns	MATchE	SCSC	Maturity Model	ReSOLVE	QECI	Ready2LOOP	Fuzzy-Based Approach
Revisão da Literatura	RSL	RSL	RSL	RSL	RSL	RSL	RSL
Desenvolvimento Teórico e Conceitual	Desenvolvimento Teórico	Estudo método <i>Delphi</i>	Modelo Conceitual	Desenvolvimento de Indicadores	Análise de normas e bibliografias	Avaliação de Prontidão	Seleção de Elementos via Método <i>Delphi</i>
Desenvolvimento do Questionário/Indicadores	30 perguntas em oito dimensões/subáreas	Dimensões e Subdimensões/subáreas definidas	Definição de subáreas e Indicadores	Definição de Indicadores de Circularidade	165 perguntas em cinco níveis de maturidade	Questionário Ready2LOOP	Construção de Questionário
Testes e Validação	Workshops e testes com especialistas	Estudo de Caso	Ajustes baseados em Feedback	Aplicação e Interpretação dos Resultados	Aplicação em empresas industriais	Workshops e geração de relatórios	Teste e Validação com Especialistas
Iteração e Melhoria	Iterações baseadas em feedback	Ajustes com base em feedback	Ajustes Baseados em Feedback	Implementação de Melhorias e Monitoramento	Implementação de melhorias com base em feedback	Desenvolvimento de diretrizes	Ajustes após Estudo de Caso
Geração de Relatórios	Relatórios de Pontuação e Benchmarking	Comparação e Benchmarking	Relatórios de Maturidade	Relatórios de Análise e Implementação	Relatórios com pontuações e recomendações	Relatórios e recomendações personalizadas	Gráficos de Radar e Comparações de Desempenho
Benchmarking	Comparação interna e externa	Comparação entre empresas	Comparação entre empresas	Comparação de Adoção de Práticas	Benchmarking entre setores e empresas	Comparação entre unidades de negócios	Comparações de Desempenho em Pares
Identificação de Melhorias e reavaliação Contínua	Identificação de pontos fortes e fracos	Identificação de melhorias baseados em Feedback	Identificação e monitoramento contínuo de áreas de melhoria	Identificação e monitoramento contínuo de Áreas de Melhoria	Identificação de lacunas de circularidade reavaliação contínua	Priorização de áreas melhorias reavaliação contínua	Monitoramento Contínuo com proposição de Plano de Ação

Fonte: A Autora (2025)

4.3 ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DO NÍVEL DE PRONTIDÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA (FANPI)

Com o objetivo de construir uma ferramenta diagnóstica prática e sistematizada para avaliar o nível de prontidão das empresas em relação à economia circular, foi conduzido um processo de desenvolvimento do questionário. A primeira etapa consistiu na realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que resultou na identificação de sete instrumentos já consolidados na literatura: MATChE, Ready2LOOP, ReSOLVE, ICEQ, SCSC, LCMM e abordagens integradas de lógica fuzzy. A partir dessas ferramentas, foram extraídas 394 questões originais, contemplando diversas dimensões e abordagens da economia circular.

Com base nesse material, iniciou-se uma etapa de curadoria criteriosa, orientada por critérios de relevância prática, clareza conceitual e coerência com a realidade das empresas brasileiras. Essa fase foi conduzida de forma colaborativa pelo autor da pesquisa, seu orientador e um especialista em economia circular, o que garantiu maior robustez ao processo.

As principais ações da curadoria incluíram a eliminação de duplicidades, harmonização semântica e adaptação das perguntas ao contexto organizacional brasileiro. Questões com conteúdo idêntico ou semanticamente equivalentes foram fundidas, enquanto outras, com abordagens complementares sobre o mesmo tema, foram ajustadas ou desmembradas. Todo o conteúdo foi uniformizado gramaticalmente, priorizando linguagem objetiva e aderente ao ambiente empresarial.

Como resultado, foi consolidado um questionário final composto por 123 questões. Para organizar e estruturar as informações, as questões foram classificadas em 14 subáreas. Neste trabalho, entende-se por subárea um agrupamento de questões que compartilham afinidade temática e que representam setores, funções ou divisões internas de uma organização produtiva. Assim, cada subárea corresponde a um domínio específico de análise — por exemplo, Design de Produtos, Produção, Serviços ou Cadeia de Suprimentos — permitindo que os resultados sejam interpretados de forma

estruturada e alinhada à realidade organizacional. O Quadro 4 apresenta essas subáreas acompanhadas de suas respectivas definições conceituais.

Adicionalmente, cada questão foi vinculada a uma das quatro gerências organizacionais predominantes na estrutura corporativa: Alta Gestão, Industrial, Suprimentos e Comercial (conforme Quadro 5 e Tabela 5). Essa categorização permite análises segmentadas por área de atuação, favorecendo diagnósticos mais precisos e direcionados.

Em termos de formato, a maioria das perguntas foi construída com base em uma escala Likert de 5 pontos, facilitando a análise estatística e a mensuração do grau de concordância ou aplicação de práticas circulares. Além disso, foram incluídas questões binárias (sim/não) e abertas, voltadas à coleta de percepções subjetivas, sugestões de melhoria e dados identificadores dos respondentes (quando consentido).

Por fim, o questionário foi implementado via Google Forms, o que facilitou a distribuição, a coleta automatizada e a integração com o Google Sheets, otimizando a tabulação e análise dos dados. Essa abordagem garantiu agilidade e acessibilidade, essenciais para o diagnóstico e a formulação de recomendações.

Na análise dos dados, utilizou-se a média aritmética para representar o desempenho médio da empresa em cada subárea temática, permitindo comparações claras entre diferentes áreas. Também foram calculados a variância e o desvio padrão para avaliar a dispersão das respostas, indicando o grau de consistência entre os respondentes.

Essas métricas estatísticas possibilitam identificar tanto os pontos fortes quanto as áreas críticas, apoiando uma análise mais precisa e fundamentando as recomendações técnicas conforme o perfil da empresa

QUADRO 4: DESCRIÇÃO DAS SUBÁREAS QUE COMPREENDEM O QUESTIONÁRIO

Subárea	Descrição
Clientes	Aborda a relação entre a empresa e seus consumidores, com foco em comportamentos de compra, percepção de valor e engajamento com práticas sustentáveis. Essa área avalia o quanto os clientes estão conscientes, engajados e colaborativos em relação às iniciativas de economia circular adotadas pela organização. Exemplos incluem: conhecimento sobre descarte adequado, valorização de produtos sustentáveis e colaboração em estratégias de reutilização e recondicionamento.
Comportamentos e Valores	Trata das atitudes e princípios que norteiam a cultura organizacional no contexto da economia circular. Ela examina como a empresa incentiva práticas sustentáveis entre stakeholders, colaboradores e lideranças. Questões envolvem ética, motivação, colaboração entre departamentos e o incentivo à adoção de práticas circulares por meio de ações proativas e exemplos positivos.
Compras e Cadeia de Valor	Refere-se à forma como a empresa se relaciona com fornecedores e parceiros. Avalia práticas de aquisição de materiais sustentáveis, certificações, logística reversa, e simbiose industrial. É fundamental para garantir que a circularidade não se restrinja à empresa, mas se expanda por toda a cadeia de suprimentos.
Comunicação	Analisa como a empresa divulga suas ações de economia circular para o mercado, clientes e parceiros. Envolve marketing digital, campanhas educativas e uso de tecnologias para promover a sustentabilidade. Uma comunicação eficaz amplia o impacto das ações da empresa e fortalece a transparência e o engajamento externo.
Design e desenvolvimento de produtos/serviços	Trata do planejamento de produtos e serviços com foco em circularidade, prevendo desde a concepção a possibilidade de reuso, reciclagem, manutenção e atualização. Exemplos incluem modularidade, uso de materiais reciclados, extensão da vida útil e facilidade de desmontagem.
Economia	Contempla fatores financeiros e de mercado que impactam a adoção da economia circular. Inclui incentivos governamentais, linhas de financiamento, retorno econômico e redução de custos. Avalia-se se o ambiente econômico favorece práticas sustentáveis, o que é decisivo para sua implementação em larga escala.
Feedback/Ferramenta	Permite a coleta de percepções sobre a própria ferramenta de avaliação utilizada, buscando validar sua eficácia e usabilidade. Inclui sugestões de melhoria, clareza das questões e alinhamento com a realidade da empresa.
Gestão e Estratégia	Trata do comprometimento da alta gestão com a sustentabilidade. Avalia o planejamento estratégico, integração da economia circular nos negócios e sistemas de monitoramento. Inclui certificações, indicadores, metas de longo prazo e políticas que demonstram alinhamento institucional com os princípios circulares.
Identificação	Reúne informações sobre o perfil do respondente e da empresa, como localização, porte, tempo de atuação, setor e grau de envolvimento com sustentabilidade. Esses dados são essenciais para análises segmentadas e para contextualizar as demais respostas do formulário.

Inovação e Tecnologia	Avalia o grau de investimento e uso de tecnologias limpas, digitais e processos inovadores voltados à circularidade. Inclui práticas como desmaterialização, manufatura avançada, e utilização de recursos tecnológicos para reduzir desperdícios e aumentar a eficiência.
Instalações	Refere-se à infraestrutura física da empresa, com foco em aspectos como eficiência energética, uso racional de água, iluminação, climatização e sistemas de reaproveitamento. É uma subárea prática e tangível, ligada ao ambiente físico e aos equipamentos sustentáveis disponíveis.
Operação/Gestão de recursos	Contempla a forma como os recursos são utilizados e gerenciados nas operações. Envolve práticas como manutenção preventiva, logística reversa, reaproveitamento de insumos e uso eficiente da matéria-prima. Seu foco é garantir a produtividade com o menor impacto ambiental possível.
Política e legislação	Avalia o nível de conhecimento e cumprimento das normas ambientais, regulatórias e de sustentabilidade aplicáveis ao setor. A conformidade com políticas públicas é essencial para a operação responsável e o alinhamento com tendências globais.
Serviços	Analisa a oferta de suporte e assistência relacionados à circularidade durante o ciclo de vida dos produtos, como manutenção, reuso, e atualização. Essa abordagem visa prolongar o uso dos produtos e minimizar a geração de resíduos.
Sustentabilidade ambiental, social e econômica	Integra os pilares da sustentabilidade, tratando da atuação equilibrada entre desempenho econômico, responsabilidade ambiental e impacto social positivo. A empresa é avaliada quanto à sua visão integrada e sistêmica sobre o desenvolvimento sustentável.
Treinamento	Analisa o investimento em capacitação de colaboradores, parceiros e stakeholders em temas como economia circular, sustentabilidade e práticas operacionais eficientes. Inclui ações formais e informais que promovem o desenvolvimento contínuo da equipe e da cultura organizacional.

Fonte: A Autora (2025)

QUADRO 5: DESCRIÇÃO DAS GERÊNCIAS QUE COMPREENDEM O QUESTIONÁRIO

Gerências/Diretorias	Descrição
Alta gestão	Refere-se às questões direcionadas à liderança estratégica da organização, como diretores, superintendentes e altos executivos. Avalia como essas lideranças influenciam a implementação da economia circular, promovem mudanças culturais e definem metas sustentáveis. Questões dessa gerência buscam entender o papel da alta direção na integração de práticas circulares na visão e estratégia da empresa. Por exemplo: decisões de investimento, definição de metas ambientais e políticas de inovação.
Gerência Comercial	Abrange as áreas voltadas à relação com o mercado e os clientes, avaliando como os princípios da economia circular estão integrados ao posicionamento comercial da empresa. Envolve estratégias de fidelização, comunicação de valor, valorização de produtos sustentáveis, e percepção dos consumidores sobre as práticas da empresa. Exemplos incluem: colaboração com clientes, valorização de produtos sustentáveis, e participação dos consumidores na cadeia circular.
Gerência de Suprimentos	Foca na gestão da cadeia de valor e suprimentos, avaliando se fornecedores e parceiros cumprem exigências ambientais e se participam de práticas como logística reversa, compras sustentáveis, e desmaterialização. Essa gerência busca entender o nível de integração das práticas circulares nas decisões de compra e nos relacionamentos com parceiros. Exemplos: recusa de fornecedores que não cumprem normas ambientais ou priorização de materiais reciclados.
Gerência Industrial	Refere-se aos processos produtivos, operacionais e técnicos da empresa. As questões avaliam práticas como reutilização de insumos, eficiência energética, gerenciamento de resíduos, manutenção, atualização de produtos e design circular. É uma gerência essencial para medir a aplicação prática dos conceitos da economia circular no chão de fábrica ou na prestação de serviços técnicos. Exemplo: "A empresa adota práticas de logística reversa?" ou "A empresa substitui materiais não renováveis por outros sustentáveis?"
Ferramenta	Está relacionada à avaliação da ferramenta utilizada para coletar dados sobre economia circular. As questões buscam captar o feedback dos respondentes sobre a clareza, funcionalidade e aplicabilidade do questionário. Também podem incluir percepções sobre a adequação das escalas e sugestões de melhoria. Exemplos: "Você concorda com os níveis de maturidade apresentados?" ou "Quais são suas sugestões para aprimorar esta ferramenta?"

Fonte: A Autora (2025)

TABELA 5: NÚMERO DE QUESTÕES POR SUBÁREA

Subárea	Nº de Questões
Operação/Gestão de Recursos	17
Sustentabilidade Ambiental, Social e Econômica	12
Gestão e Estratégia	15
Compras e Cadeia de Valor	11
Design e Desenvolvimento de Produtos	5
Serviços	6
Comunicação	7
Inovação e Tecnologia	7
Instalações	5
Política e Legislação	3
Feedback/Ferramenta	2
Economia	2
Clientes	5
Treinamento	5
Identificação	11
Comportamentos e Valores	9
Total	123

Fonte: A Autora (2025)

TABELA 6: SÍNTESE DO QUESTIONÁRIO: SUBÁREAS, GERÊNCIAS E TIPOS DE QUESTÕES

ELEMENTO	QUANTIDADE
TOTAL DE QUESTÕES DO QUESTIONÁRIO	123
SUBÁREAS TEMÁTICAS	14
GERÊNCIAS RESPONSÁVEIS	4
QUESTÕES COM ESCALA LIKERT	94
QUESTÕES COM RESPOSTA BINÁRIA	12
QUESTÕES ABERTAS	17

Fonte: A Autora (2025)

4.3.1 Cálculo da Média por Subárea

Cada bloco de perguntas do questionário está associado a uma subárea temática (por exemplo: Compras e Cadeia de Valor, Serviços, Comunicação, Instalações, entre outras). Para cada subárea respondida, calcula-se a média aritmética simples das respostas fornecidas, com base na seguinte equação.

Equação 1:

$$IPs = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n}, \text{ onde:}$$

IPs = Indicador de prontidão das subáreas;

xi = valor atribuído à resposta do item i (variando de 1 a 5);

n = número total de itens/questões no bloco correspondente à subárea

4.3.2 Cálculo do Indicador Global de Prontidão

Após o cálculo do Indicador de Prontidão (IPs) de cada subárea temática, é possível consolidar essas informações em um único valor representativo do desempenho geral da empresa: o Indicador Global de Prontidão (IGP).

O IGP é definido como a média aritmética simples dos indicadores das subáreas que foram avaliadas. Ele representa uma visão integrada do nível de prontidão da empresa em relação à adoção de práticas de Economia Circular.

Equação 2:

$$IGP = \frac{\sum_{j=1}^k IPs}{k}$$

IGP = Indicador Global de Prontidão

IPs = Média da subárea j

k = número total de subáreas avaliadas na empresa

Após a consolidação do Indicador Global de Prontidão (IGP) da empresa e dos indicadores por subárea, inicia-se a etapa de análise crítica e comparativa, com o objetivo de interpretar os resultados obtidos e fornecer subsídios para decisões estratégicas, táticas e operacionais no contexto da Economia Circular

4.3.3 Geração de Recomendações Técnicas por Subárea Avaliada

Com base nas pontuações obtidas nas subáreas avaliadas, esta etapa tem como objetivo propor recomendações técnicas específicas e direcionadas para a melhoria da prontidão organizacional frente à economia circular. Diferentemente de um plano de ação tradicional e genérico, as saídas aqui são estruturadas como dicas práticas, propostas estratégicas e instruções operacionais, adaptadas à realidade da empresa e baseadas em evidências da literatura científica especializada.

Esta abordagem é inspirada em autores como Sehnem et al. (2021), Lieder & Rashid (2016) e Moraga et al. (2019), que ressaltam a importância de convertê-los diagnósticos de maturidade em intervenções segmentadas, reforçando áreas maduras e estruturando rotas de desenvolvimento para aquelas com desempenho insatisfatório.

Desta forma, foram convertidos os valores médios obtidos em faixas qualitativas de prontidão, com base em classificações propostas por modelos de maturidade organizacional (Tabela 7) (Pigosso et al., 2020; Pauliuk, 2018):

TABELA 7: FAIXAS QUALI-QUANTITATIVA DE PRONTIDÃO

Intervalo da Média	Grau de Maturidade Qualitativa	Nível Consolidado da Maturidade
1,00 – 1,99	Muito baixa	IPs ≤ 2,99
2,00 – 2,99	Baixa	
3,00 – 3,99	Moderada	IPs ≥ 3,00
4,00 – 4,49	Alta	
4,50 – 5,00	Muito alta	

Fonte: A Autora (2025)

Para fins de aplicabilidade gerencial e padronização das recomendações, optou-se por consolidar as faixas qualitativas em dois níveis de intervenção: Baixa maturidade (IPs ≤ 2,99) — que agrega “muito baixa” e “baixa” — e Em consolidação (IPs ≥ 3,00) — que agrega “moderada”, “alta” e “muito alta”. Essa síntese reduz redundâncias, facilita a priorização (ações imediatas e projetos estruturantes), melhora a comunicação com as gerências e mantém a

granularidade diagnóstica no relatório, uma vez que a Tabela 7 preserva os intervalos originais para análise comparativa e acompanhamento de evolução. Alinhada às diretrizes da literatura que recomenda transformar diagnósticos em rotas de implementação progressiva e escaláveis, a consolidação em dois níveis torna o plano mais operacional, replicável e orientado a KPIs, sem perda de rigor metodológico.

4.4 GERAÇÃO DE RECOMENDAÇÃO TÉCNICA

Com base nos indicadores de maturidade obtidos por subárea e no IGP consolidado, buscou-se transformar o diagnóstico quantitativo em recomendações que subsidiassem a formulação de um plano estratégico pelas empresas. Para tanto, os resultados foram organizados em duas faixas qualitativas: Baixa maturidade ($IPs \leq 2,99$), que agrega as situações classificadas como “muito baixa” e “baixa”, representando organizações que ainda carecem de práticas estruturadas de circularidade; e Em consolidação ($IPs \geq 3,00$), que reúne os níveis “moderada”, “alta” e “muito alta”, correspondendo a empresas que já apresentam iniciativas mais consistentes e em processo de aprimoramento. Essa divisão busca simplificar a leitura e a interpretação dos resultados, permitindo orientar ações de forma mais clara e objetiva. A abordagem está em consonância com autores como Lewandowski (2016) e Pigosso et al. (2020), que defendem que o diagnóstico da circularidade deve resultar em recomendações práticas, específicas e orientadas à implementação progressiva.

A divisão das recomendações em duas faixas qualitativas — Baixa maturidade ($IPs \leq 2,99$) e Em consolidação ($IPs \geq 3,00$) — foi definida de acordo com a lógica de progressão de modelos de maturidade. Para empresas na primeira faixa, priorizaram-se recomendações básicas e estruturantes, como mapeamento de fluxos, definição de indicadores e capacitação inicial, que permitem criar as condições mínimas para a circularidade. Já para empresas na segunda faixa, foram propostas recomendações de aprimoramento, que pressupõem a existência de fundamentos previamente estabelecidos e buscam

promover a integração, padronização, uso de certificações, otimização e expansão das práticas circulares já existentes.

Essa distinção é consistente com a literatura (Lewandowski, 2016; Kristensen & Mosgaard, 2020; Pigosso et al., 2020), que aponta que a evolução em economia circular deve ocorrer de forma gradual e cumulativa, iniciando pela sensibilização e implantação de práticas básicas e avançando para estratégias de maior complexidade e impacto.

O Quadro 6 apresenta o resumo das recomendações técnicas por subárea que são detalhadas na sequência. Desta forma, com este processo de recomendação técnica estruturado a partir da ferramenta proposta neste estudo (FANPI), atende-se ao papel atribuído às ferramentas de prontidão por autores como Pauliuk (2018) e Saidani et al. (2019), que as reconhecem como instrumentos fundamentais para apoiar decisões estratégicas, orientar investimentos e direcionar ações práticas em direção à Economia Circular.

O presente estudo se apoia especialmente em contribuições de autores como Garza-Reyes et al. (2019), Di Maio et al. (2017), Ellen MacArthur Foundation (2015), Silva et al. (2021), Batista et al. (2018), Niero et al. (2017), Feraswati et al. (2019) e Yildiz Çankaya & Sezen (2019). Esses autores propuseram métodos e modelos aplicáveis à avaliação da prontidão circular no contexto empresarial, considerando critérios de maturidade, indicadores quantitativos, abordagens de ciclo de vida, cadeia de suprimentos sustentável e análises baseadas em lógica fuzzy.

Ao reunir os aprendizados dessas abordagens e transformá-los em um instrumento aplicável à realidade das empresas industriais paranaenses, a FANPI não apenas diagnostica o estágio atual de prontidão, mas também oferece recomendações práticas e direcionadas para cada subárea avaliada. Dessa forma, contribui-se com a literatura e a prática empresarial, promovendo uma transição mais estruturada, realista e eficaz rumo a um modelo de produção circular e sustentável.

A ferramenta desenvolvida (FANPI), estruturada a partir dessas abordagens pode ser acessada pelos links disponíveis no Apêndice 1.

QUADRO 6: RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS POR SUBÁREA E ÍNDICE DE PRONTIDÃO

Subárea	Recomendações (IPs ≤ 2,99)		Recomendações (IPs ≥ 3,00)	
1. Operação / Gestão de Recursos	Mapear fluxos; KPIs ambientais; tecnologias limpas; gestão de resíduos com rastreabilidade; capacitação operacional; manutenção preditiva básica; simulação de processos.		Otimização contínua (CEP/Lean-Six Sigma); integração EMS-ERP-SCADA/IoT; reuso/fechamento de ciclos; manutenção preditiva avançada; gêmeo digital; padronização e replicação; KPIs circulares.	
2. Sustentabilidade Ambiental, Social e Econômica	Política de sustentabilidade; monitoramento ESG; capacitação de lideranças; metas de redução de insumos; engajamento comunitário; ACV em produtos/processos.		Certificações (ISO, BCorp, GRI); modelo de negócio regenerativo; P&D em soluções sustentáveis; redes e alianças de sustentabilidade; relatórios ESG transparentes.	
3. Gestão e Estratégia	Inserir circularidade na estratégia; roadmap de transição; liderança dedicada; KPIs circulares; benchmarking; análise de riscos e oportunidades.		Avaliações periódicas (MATCHE/ICEQ); orçamento e equipe dedicados; cultura organizacional alinhada; parcerias estratégicas com startups/universidades/fornecedores.	
4. Compras e Cadeia de Valor	Critérios circulares em fornecedores; capacitação e engajamento da cadeia; políticas de compras sustentáveis; logística reversa; ACV nas compras; mapear riscos da cadeia.		Cocriação com fornecedores; rastreabilidade digital (QR/blockchain); KPIs de circularidade por fornecedor; metas e auditorias conjuntas.	
5. Design e Desenvolvimento de Produtos	Eco-design; ACV em projeto; mapear reuso/remanufatura; diretrizes internas de DfEC; capacitar engenharia e usar ferramentas digitais.		Design regenerativo; DfMA; prototipagem sustentável; co-design com universidades/startups/clientes; métricas de circularidade dos produtos.	
6. Serviços (Servitização)	Mapear oportunidades de PSS; manutenção e suporte técnico; plataformas de compartilhamento/reuso; proposta centrada em uso; monitoramento via IoT/rastreabilidade.		Escalar serviços circulares; integrar IoT/apps/dados; modelos híbridos venda+serviço; medir impacto circular; capacitar equipe comercial.	
7. Comunicação	Mapear canais de comunicação; campanhas internas; incluir circularidade em relatórios; narrativa institucional; capacitar marketing/comunicação.		Relatórios de circularidade; diálogo com stakeholders externos; selos/certificações; campanhas de marketing; transparência sobre desafios; indicadores de comunicação.	
8. Inovação (P&D)	Diagnóstico de tecnologias; digitalização de processos críticos; parcerias com universidades; capacitar equipe de P&D; aplicar IoT/Big Data em gargalos.		Escalar tecnologias circulares; dashboards de KPIs em tempo real; inovar em modelos PaaS; pilotos de blockchain/IA; tecnologias regenerativas; KPIs de P&D circular.	
9. Instalações	Auditoria ambiental; layout eficiente; eficiência energética básica; princípios de construção sustentável; sensibilização de manutenção/infra.		Certificações (LEED, AQUA, ISO); soluções regenerativas (solar, telhados verdes, reuso de efluentes); IoT para gestão inteligente; indicadores de desempenho; facilities alinhado à circularidade.	
10. Política e Legislação	Mapear legislação; rotina de acompanhamento; responsáveis por compliance; fóruns/associações; treinamentos sobre legislação e oportunidades.		Cocriação de políticas públicas; metas internas além da lei; compliance no planejamento estratégico; certificações ambientais (ISO, C2C); relatórios alinhados a GRI/SASB/IR.	

11. Economia	Viabilidade econômica (ACB, Payback, VPL); mapear custos ocultos; políticas de valor residual; buscar financiamentos; inserir circularidade no orçamento.	Modelos circulares rentáveis (leasing, PaaS); relatórios integrados ESG; simulações de escala; blockchain para rastrear valor residual; capacitação de finanças e compras.
12. Clientes	Educar clientes; logística reversa básica com incentivos; transparência nos canais; pesquisar percepção; revisar jornada do cliente.	Modelos baseados em uso (aluguel, assinatura, pay-per-use); co-criação no design; rastrear uso/retorno (QR/RFID/blockchain); selos de circularidade; canais de pós-venda; KPIs de clientes.
13. Treinamento	Programas introdutórios de capacitação; diagnosticar lacunas de competências; incluir circularidade em integrações; workshops práticos; materiais internos.	Trilhas de capacitação contínua; parcerias com IES; certificações/embaixadores; gamificação da aprendizagem; planos de sucessão; KPIs de formação.
14. Comportamentos e Valores	Reflexão institucional sobre valores; programas de cultura circular; lideranças exemplares; comitês de sustentabilidade; reconhecimento de boas práticas; diagnóstico de cultura.	Compartilhar cases internos; engajar RH/marketing/líderes informais; incentivar relatos espontâneos; programas de ética e propósito integrados à circularidade.

FONTE: A Autora (2025)

4.4.1 Operação / Gestão de Recursos

A subárea “Operação/Gestão de Recursos” avalia práticas relacionadas à eficiência no uso de insumos (água, energia, matérias-primas), à redução de perdas no processo produtivo e à implementação de tecnologias para otimizar fluxos materiais e energéticos. Baixos níveis de prontidão aqui indicam que a empresa ainda opera sob um modelo linear tradicional, com pouca rastreabilidade dos recursos ou com processos ineficientes.

Recomendações Técnicas para IPs $\leq 2,99$:

✓Mapeamento dos fluxos de materiais e energia: A empresa deve identificar os principais pontos de entrada e saída de recursos no processo produtivo. Ferramentas como o Fluxograma de Processos, o Diagrama de *Sankey* e o *Value Stream Mapping* (VSM) são úteis nesse contexto (Pigosso et al., 2020). Isso permite identificar gargalos, desperdícios e oportunidades de reaproveitamento.

✓Implementação de indicadores de desempenho ambiental: Adoção de KPIs específicos como consumo específico de energia (kWh/unidade produzida), fator de carga energética, intensidade de carbono por produto, taxa de aproveitamento de resíduos, entre outros (Sehnem et al. 2019) O uso de indicadores permite transformar dados operacionais em decisões estratégicas, promovendo a circularidade (Sehnem et al. 2019).

✓Adoção de tecnologias limpas: Introdução de tecnologias de baixo impacto, como reutilização de calor residual, sensores de monitoramento energético e sistemas de automação para desligamento de equipamentos ociosos (Pigosso et al., 2020).

✓Gerenciamento de resíduos internos com enfoque circular: Criar rotinas sistematizadas de segregação, classificação e reaproveitamento de resíduos, incluindo sucatas de produção, resíduos líquidos ou materiais de embalagem. Pauliuk et al., 2017 reforça a importância da rastreabilidade dos fluxos de materiais internos.

✓Capacitação da equipe operacional: Treinamentos periódicos sobre boas práticas de uso racional de recursos e diretrizes da economia circular

devem ser promovidos. A literatura destaca que o fator humano é essencial para a implementação de mudanças operacionais sustentáveis (Lewandowski, 2016).

✓ Investimentos em manutenção preditiva: Incorporar práticas como manutenção baseada em condição e sensoriamento remoto para garantir o uso eficiente de equipamentos, reduzindo falhas, desperdícios e consumo energético desnecessário.

✓ Simulação e otimização de processos: Utilização de softwares de simulação e modelagem (como Arena ou Simul8) para avaliar cenários e propor melhorias operacionais com base em dados reais de produção.

Recomendações para consolidação (IPs $\geq 3,0$)

✓ Otimização contínua baseada em dados: consolidar rotinas de CEP/Lean-Six Sigma e revisões trimestrais de metas de intensidade energética e material (kWh/unidade; kg sucata/ton.; tCO₂e/unidade).

✓ Integração digital EMS-ERP-SCADA/IoT: telemetria em tempo real de consumo de energia/água, alarmes de desvios e dashboards de tomada de decisão no nível de linha/célula.

✓ Reuso em escala e fechamento de ciclos: ampliar circuitos fechados de água de processo, recuperação de calor residual, e revalorização de subprodutos para “zero-aterro”.

✓ Manutenção preditiva avançada: consolidar preditiva com análise de vibração, termografia e óleo, integrando CMMS e planos RCM para elevar MTBF e reduzir MTTR.

✓ Gêmeo digital/simulação operacional: usar simulação/gêmeo digital para balancear cargas, reduzir gargalos e otimizar trocas/partidas (setup energético e de materiais).

✓ Padronização e replicação: padronizar melhores práticas em POPs e replicar entre linhas/unidades com auditorias internas periódicas.

✓ KPIs sugeridos: intensidade energética (kWh/unid.), % reuso de água, % resíduos desviados de aterro, OEE, MTBF/MTTR, custo operacional por unidade.

4.4.2 Subárea 2 – Sustentabilidade Ambiental, Social e Econômica

✓Avaliar como a empresa integra princípios de sustentabilidade ambiental, responsabilidade social e viabilidade econômica em suas operações, estratégias e cultura organizacional. Essa dimensão é crítica para sustentar a transição para a economia circular, pois envolve não apenas práticas internas, mas também impactos externos na comunidade, meio ambiente e cadeia de valor.

Recomendações Técnicas para IPs ≤ 2,99:

✓Desenvolver uma política formal de sustentabilidade integrada: Criar e institucionalizar uma política que abarque objetivos ambientais (como neutralidade de carbono), sociais (como equidade e inclusão) e econômicos (viabilidade de longo prazo) (Pigosso et al. 2020); (Sehnem et al. 2019);

✓Implantar sistema de monitoramento de indicadores ESG: Utilizar indicadores como pegada de carbono, consumo hídrico, emissões de GEE, taxa de acidentes de trabalho, investimentos sociais, etc., para mensurar o progresso sustentável e comunicar resultados aos stakeholders (ICEQ Framework 2022); (Matche, 2021);

✓Realizar capacitação em sustentabilidade com lideranças e áreas técnicas: Sensibilizar e treinar líderes e profissionais-chave em temas como economia de baixo carbono, compliance ambiental, impacto social positivo e negócios regenerativo (Read2Loop, 2021); (SCSC, 2022);

✓Estabelecer metas de redução e circularidade para os recursos naturais: Reduzir o uso de insumos não renováveis, água, energia e combustíveis fósseis por meio de metas progressivas com base científica (SBTi, por exemplo) (Lewandowski, 2016); (Ghisellini et al. ,2016);

✓Criar programas de engajamento comunitário e desenvolvimento social: Desenvolver projetos de impacto local como educação ambiental, economia circular na comunidade, inclusão produtiva de catadores ou economia solidária (Sehnem et al. ,2019); (ReSOLVE Framework,2015);

✓Integrar avaliação de ciclo de vida (ACV) nos produtos e processos: Aplicar ACV para embasar decisões de projeto e operação com foco na redução

dos impactos ambientais ao longo do ciclo completo dos produtos (Pigosso et al. , 2020); (Read2Loop, 2021);

Recomendações para Consolidação (IPs $\geq 3,0$):

✓Certificações e transparência: Buscar certificações reconhecidas como ISO 14001, ISO 26000, BCorp ou GRI Reporting. Promover a transparência ativa por meio de relatórios ESG públicos (SCSC ,2022);

✓Modelo de negócio regenerativo: Explorar a evolução do modelo de negócios da sustentabilidade para a regeneração, com foco em impacto líquido positivo no meio ambiente e sociedade (ReSOLVE, 2015);

✓Investimento em inovações sustentáveis: Direcionar recursos para pesquisa e desenvolvimento de produtos com menor impacto ambiental, serviços baseados em circularidade e cadeias de suprimentos mais resilientes. (Read2Loop; Matche Framework ,2021);

✓Participação ativa em redes e alianças de sustentabilidade: Cooperar com outras organizações, ONGs, centros de pesquisa e governo para fomentar a circularidade em escala setorial ou territorial (Sehnem et al. ,2019);

4.4.3 Subárea 3 – Gestão e Estratégia

Avaliar o grau de integração da economia circular nos processos de gestão organizacional, planejamento estratégico, estrutura corporativa e tomada de decisões. Essa subárea é essencial para institucionalizar a circularidade como parte do modelo de negócio da empresa.

Recomendações Técnicas para IPs $\leq 2,99$:

✓Integrar economia circular à estratégia corporativa: Inserir diretrizes de economia circular nos documentos estratégicos (missão, visão, valores, plano de negócios), promovendo alinhamento organizacional (Lewandowski, 2016); Ready2LOOP, 2021);

✓Criar um roadmap para transição circular: Desenvolver um plano de ação estruturado com marcos de curto, médio e longo prazo, abordando áreas prioritárias, recursos necessários e metas mensuráveis. (Matche Framework , 2021); Read2Loop , 2021)

✓ Nomear uma liderança dedicada à economia circular: Designar uma equipe ou gestor responsável por coordenar as ações circulares, promover alinhamento interdepartamental e representar a circularidade em fóruns estratégicos. (Sehnem et al. 2019); (ReSOLVE Framework 2015);

✓ Incluir metas de circularidade nos indicadores de desempenho (KPIs): Incorporar indicadores específicos como % de resíduos reprocessados, % de materiais reciclados utilizados, ou % de produtos remanufaturados nas metas gerenciais (ICEQ, 2022); Pigosso et al. ,2020);

✓ Realizar benchmarking de circularidade com outras empresas: Participar de estudos setoriais, redes colaborativas e feiras de inovação para aprender com práticas consolidadas e comparar indicadores-chave. (Read2Loop, 2021); (Sehnem et al. 2019);

✓ Avaliar riscos e oportunidades com base na economia circular: Realizar análises estratégicas considerando os impactos econômicos, ambientais e regulatórios da não transição e das novas oportunidades circulares. Lewandowski (2016)

Recomendações para consolidação (IPs ≥ 3,0):

✓ Avaliar a maturidade de forma contínua e periódica: Adotar frameworks como a FANPI, MATCHe ou ICEQ como ferramentas de autoavaliação anual para medir progresso, gerar comparativos e orientar novas iniciativas. MATCHe Framework (2021); ICEQ (2022)

✓ Alocar recursos específicos para circularidade: Dedicar orçamento e equipe permanente à execução de projetos de economia circular, garantindo viabilidade e escala de implementação. Read2Loop (2021); Pigosso et al. (2020);

✓ Alinhar cultura organizacional aos princípios circulares: Realizar campanhas internas, treinamentos e engajamento de lideranças para disseminar valores e comportamentos sustentáveis. (Sehnem et al., 2019); (ReSOLVE Framework , 2015);

✓ Desenvolver parcerias estratégicas para circularidade: Estabelecer alianças com startups, universidades e fornecedores inovadores para co-desenvolver soluções e modelos de negócio baseados em circularidade. Read2Loop (2021); Ghisellini et al. (2016).

4.4.4 Subárea 4 – Compras e Cadeia de Valor

Avaliar como os princípios da economia circular estão integrados às atividades de compras, seleção e desenvolvimento de fornecedores, gestão da cadeia de suprimentos e logística reversa. A circularidade eficaz depende de cadeias colaborativas, transparentes e com foco em insumos sustentáveis.

Recomendações Técnicas para IPs $\leq 2,99$:

✓ Incluir critérios ambientais e circulares na seleção de fornecedores: Exigir comprovação de práticas sustentáveis, uso de materiais reciclados, certificações ambientais (ex.: ISO 14001), e avaliar o impacto ambiental dos fornecedores: Sehnem et al. (2019); ICEQ (2022);

✓ Promover capacitação e engajamento dos fornecedores: Desenvolver ações de formação, webinars e materiais técnicos para incentivar a incorporação de princípios de circularidade nas operações dos fornecedores. Pigosso et al. (2020); Read2Loop (2021)

✓ Criar políticas de compras sustentáveis: Estabelecer diretrizes internas para priorizar insumos recicláveis, de menor impacto ambiental e provenientes de fornecedores locais, reduzindo emissões e custos logísticos. Ghisellini et al. (2016); ReSOLVE (2015)

✓ Estruturar a logística reversa em parceria com a cadeia: Implementar mecanismos formais de retorno de produtos, embalagens e materiais pós-consumo, com rastreamento e reaproveitamento. Lewandowski (2016); ICEQ (2022)

✓ Avaliar o ciclo de vida dos insumos e materiais adquiridos: Aplicar a abordagem de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para orientar as decisões de compras com base na durabilidade, reciclabilidade e impacto. Matche Framework (2021); Read2Loop (2021);

✓ Mapear riscos e gargalos da cadeia para a circularidade: Identificar riscos como escassez de matérias-primas, dependência de fornecedores com baixa circularidade e fragilidade logística, com plano de mitigação. Sehnem et al. (2019); Lewandowski (2016).

Recomendações para consolidação (IPs $\geq 3,0$):

✓Estabelecer parcerias de cocriação com fornecedores circulares: Trabalhar colaborativamente com fornecedores para desenvolver novos produtos, embalagens e serviços sustentáveis desde a origem da cadeia. Read2Loop (2021); Pigosso et al. (2020);

✓Implementar sistemas de rastreabilidade digital na cadeia: Usar blockchain, QR codes ou softwares de rastreabilidade para garantir transparência, conformidade e controle sobre a circularidade dos fluxos. ICEQ (2022); ReSOLVE (2015);

✓Mensurar KPIs de circularidade por fornecedor: Monitorar e comparar indicadores como % de insumos reciclados, % de resíduos evitados, ou % de reutilização por fornecedor, e usar como base de renegociação. Matche Framework (2021); Ghisellini et al. (2016);

✓Alinhar os objetivos de circularidade com toda a cadeia de suprimentos: Formalizar acordos com metas conjuntas, revisão de contratos e auditorias periódicas para assegurar alinhamento entre empresa e fornecedores. Sehnem et al. (2019); Read2Loop (2021).

4.4.5 Subárea 5 – Design e Desenvolvimento de Produtos

Avaliar o quanto os princípios de economia circular são incorporados nas etapas de concepção, desenvolvimento e engenharia dos produtos ou serviços. O design é uma etapa crítica, pois determina entre 70% a 80% do impacto ambiental de um produto ao longo de seu ciclo de vida (European Commission, 2020).

Recomendações Técnicas para IPs ≤ 2,99:

✓Adotar os princípios do Eco-Design: Incorporar práticas como modularidade, desmontabilidade, reparabilidade, uso de materiais recicláveis e minimização do uso de recursos. (Matche Framework , 2021); Pigosso et al. (2020); ReSOLVE (2015);

✓Aplicar ferramentas de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): Incluir a ACV nas decisões de projeto para identificar hotspots de impacto ambiental e embasar melhorias de circularidade. Ghisellini et al. (2016); Read2Loop (2021);

✓ Mapear oportunidades de reuso, remanufatura e upcycling: Considerar no design as possibilidades de retorno dos produtos ao ciclo produtivo pós-uso, planejando essas rotas de valorização desde a origem. Lewandowski (2016); Sehnem et al. (2019);

✓ Criar diretrizes internas de Design para Economia Circular (DfEC): Desenvolver checklists, normas e fluxos internos para incorporar critérios circulares nas fases de prototipagem, modelagem e lançamento. ICEQ (2022); Read2Loop (2021);

✓ Capacitar a equipe de engenharia e desenvolvimento: Promover treinamentos, benchmarking e uso de ferramentas digitais (CAD com plugins de ACV, softwares de simulação circular) voltados ao desenvolvimento sustentável. (Pigosso et al. (2020); Matche Framework (2021)

Recomendações para consolidação (IPs $\geq$ 3,0):

✓ Implementar o Design Regenerativo: Projetar produtos e serviços que contribuam ativamente para a regeneração ambiental, como produtos biodegradáveis, que removem CO₂ ou geram benefícios ecossistêmicos. ReSOLVE Framework (2015); Read2Loop (2021);

✓ Adotar o DfMA (Design for Manufacturing and Assembly): Integrar critérios de fabricação e montagem inteligente, reduzindo custos, uso de matéria-prima e aumentando eficiência do ciclo de vida. Matche Framework (2021); ICEQ (2022);

✓ Incorporar tecnologia de prototipagem sustentável: Utilizar impressoras 3D com materiais reciclados, softwares de otimização de formas e redução de peso para reduzir impacto ambiental. Read2Loop (2021); Sehnem et al. (2019);

✓ Colaborar com o setor externo no co-design circular: Estabelecer parcerias com universidades, startups e clientes para projetar produtos de forma participativa, com foco na circularidade e inovação. Pigosso et al. (2020); Lewandowski (2016);

✓ Mensurar e divulgar indicadores de circularidade dos produtos: Criar métricas como % de reciclabilidade, % de insumo circular, ou % de tempo de

vida útil estendido, e comunicar isso ao mercado e clientes. ICEQ (2022); Read2Loop (2021)

4.4.6 Subárea 6 – Serviços

Avaliar o grau de incorporação de modelos de negócio circulares baseados em serviços (servitização), tais como aluguel, compartilhamento, manutenção, *leasing*, *pay-per-use*, entre outros, como estratégia para reduzir consumo de recursos e ampliar o tempo de vida útil de produtos. O foco no uso, em vez da posse, reduz a pressão sobre os recursos e estimula ciclos fechados de produtos e materiais (Lewandowski, 2016; ReSOLVE, 2015).

Recomendações Técnicas para IPs $\leq 2,99$:

- ✓ Mapear oportunidades de transição para modelos de Product-as-a-Service (PSS):

- ✓ Iniciar com análise de produtos que podem ser oferecidos como serviço, mantendo a propriedade com a empresa e oferecendo valor por meio de funcionalidade. ReSOLVE Framework (Ellen MacArthur Foundation, 2015); Read2Loop (2021);

- ✓ Implantar serviços de manutenção e suporte técnico prolongado: Estruturar ofertas de manutenção preventiva e corretiva para aumentar a vida útil dos produtos e fidelizar clientes. Matche (2021); Pigosso et al. (2020);

- ✓ Estudar viabilidade de plataformas de compartilhamento e reuso: Criar canais digitais ou parcerias para compartilhamento de equipamentos, uso compartilhado ou venda de recondicionados ICEQ (2022); Sehnem et al. (2019);

- ✓ Criar uma proposta de valor centrada no uso e não na posse: Realinhar o marketing e a comunicação com foco no benefício ao cliente, como performance, acesso ou resultado, ao invés da propriedade do bem. (Lewandowski, 2016); (Pigosso et al., 2020)

- ✓ Monitorar o ciclo de vida de serviços com tecnologias digitais: Utilizar Internet of Things (IoT), blockchain ou sistemas de rastreamento para medir performance, prever falhas e otimizar manutenções. Read2Loop; ICEQ (2022)

Recomendações para consolidação (IPs $\geq 3,0$):

✓Escalar os modelos de negócio circulares existentes: Expandir os serviços baseados em uso para novos produtos, clientes ou mercados, estruturando modelos escaláveis com receita recorrente. (ReSOLVE (2015); Matche (2021)

✓Integrar soluções digitais ao serviço (IoT, apps, dados): Incorporar sensores inteligentes para monitoramento remoto de uso, desgaste, consumo e manutenção em tempo real. ICEQ (2022); Read2Loop (2021);

✓Alavancar modelos híbridos de venda + serviço: Oferecer pacotes combinados de produto + garantia estendida + manutenção + upgrade, reforçando a retenção de cliente e circularidade. (Pigosso et al. (2020); Sehnem et al. (2019);

✓Mensurar o impacto circular dos serviços oferecidos: Avaliar indicadores como extensão de vida útil, número de ciclos de reuso, % de clientes em modelo “as a service” e impacto evitado. ICEQ (2022); Ghisellini et al. (2016);

✓Investir em capacitação comercial para modelos circulares: Treinar equipes de vendas e atendimento para comunicar os diferenciais dos modelos circulares e superar resistências culturais do cliente. Read2Loop (2021); Lewandowski (2016).

4.4.7 Subárea 7: – Comunicação

Avaliar como a empresa comunica interna e externamente suas práticas de economia circular, envolvendo stakeholders, promovendo transparência e construindo uma cultura organizacional voltada à circularidade. A comunicação estratégica é essencial para transformar iniciativas de circularidade em diferencial competitivo, gerar engajamento e fomentar mudanças comportamentais. (Lewandowski, 2016; Read2Loop, 2021).

Recomendações Técnicas para IPs ≤ 2,99:

✓Mapear os canais existentes de comunicação ambiental: Verificar se a empresa possui meios formais de divulgação sobre suas práticas sustentáveis e se estes contemplam aspectos de circularidade. (ReSOLVE (Ellen MacArthur Foundation, 2015); Sehnem et al. (2019)

✓Iniciar campanhas internas de conscientização: Desenvolver ações de comunicação visual, eventos ou treinamentos voltados à educação ambiental e circular para os colaboradores ICEQ (2022); Read2Loop (2021);

✓Incluir temas de circularidade nos relatórios e comunicados: Incorporar indicadores e iniciativas relacionadas à economia circular em relatórios de sustentabilidade ou informativos internos. Ghisellini et al., 2016;

✓Desenvolver narrativas institucionais sobre economia circular: Construir um discurso alinhado à missão, visão e valores da empresa, demonstrando o papel da circularidade na estratégia do negócio. Matche (2021); Pigosso et al. (2020);

✓Capacitar a equipe de marketing e comunicação: Promover formação específica para que a área de comunicação saiba traduzir tecnicamente as práticas circulares em mensagens acessíveis e não genéricas. Read2Loop; Lewandowski (2016);

Recomendações para consolidação (IPs ≥ 3,0):

✓Publicar relatórios de circularidade com indicadores claros: Produzir relatórios específicos sobre economia circular, divulgando metas, avanços, casos de sucesso e planos de melhoria. Sehnem et al. (2019); ICEQ (2022);

✓Incluir stakeholders externos no processo comunicacional: Estabelecer canais de escuta e diálogo com clientes, fornecedores, comunidade e órgãos reguladores sobre temas de circularidade. Pigosso et al. (2020); Matche (2021);

✓Adotar selos e certificações reconhecidas: Utilizar certificações ambientais e circulares (como Cradle-to-Cradle, ISO 14001, etc.) para fortalecer a legitimidade da comunicação externa. Read2Loop (2021);

✓Promover campanhas de marketing focadas em circularidade: Lançar ações de mídia, redes sociais, vídeos e storytelling demonstrando o impacto positivo de seus produtos e serviços circulares. Lewandowski (2016); ReSOLVE (2015);

✓Comunicar de forma transparente os desafios também: Adotar uma postura autêntica, mostrando também as limitações e barreiras enfrentadas na transição circular. Isso aumenta a confiança do público. Ghisellini et al., 2016; ICEQ (2022);

✓Indicadores sugeridos para monitoramento: % de campanhas sobre circularidade veiculadas por ano; Nº de peças de comunicação interna com conteúdo circular; Alcance das ações de comunicação com stakeholders; Grau de entendimento dos funcionários (medido via pesquisas internas); % dos produtos com informações sobre circularidade nos rótulos ou sites;

4.4.8 Subárea 8: Inovação (Pesquisa e Desenvolvimento)

Avaliar o grau em que a empresa utiliza tecnologia e promove inovação para viabilizar ou acelerar a transição para modelos circulares de produção e consumo. A inovação é o motor da economia circular. Tecnologias digitais, modelos disruptivos e colaboração com centros de pesquisa são essenciais para avançar na circularidade. (Pigosso et al., 2020; Read2Loop, 2021).

Recomendações Técnicas para IPs ≤ 2,99:

✓Mapear tecnologias existentes na empresa relacionadas à circularidade: Realizar um diagnóstico interno para identificar quais sistemas, máquinas, softwares ou práticas já contribuem ou podem ser adaptadas para promover circularidade. (Read2Loop, 2021);

✓Iniciar digitalização de processos críticos: Priorizar áreas como controle de insumos, rastreabilidade e gestão de resíduos, usando tecnologias como sensores, RFID, softwares de gestão ambiental. (Matche, 2021; ReSOLVE, 2015);

✓Buscar parcerias com universidades e centros de pesquisa: Firmar acordos de cooperação técnico-científica para desenvolvimento de soluções circulares adaptadas ao setor da empresa. (Pigosso et al., 2020; ICEQ, 2022);

✓Capacitar tecnicamente a equipe de P&D: Promover treinamentos sobre design circular, manufatura aditiva, ecoeficiência e tecnologias emergentes para sustentabilidade. Ghisellini et al., 2016);

✓Identificar oportunidades para aplicar tecnologias como IoT e Big Data: Aplicar essas tecnologias na detecção de gargalos circulares, rastreamento do ciclo de vida de produtos ou otimização do consumo de recursos. (Read2Loop; Matche, 2021);

Recomendações para consolidação (IPs $\geq$ 3,0):

✓ Escalar as inovações para todas as unidades ou linhas de produtos: Integrar tecnologias circulares em toda a cadeia, como manufatura aditiva, reutilização inteligente, plataformas digitais para logística reversa etc. ReSOLVE (2015); Pigosso et al., 2020;

✓ Monitorar e atualizar indicadores de circularidade com suporte de tecnologia: Implementar dashboards em tempo real com KPIs ambientais e circulares, alimentados por sensores, ERPs e sistemas automatizados. (ICEQ, 2022; Matche, 2021)

✓ Inovar nos modelos de negócios baseados em serviços (Product-as-a-Service): Explorar modelos onde o produto é oferecido como serviço, com maior controle do ciclo de vida e incentivo ao reuso e manutenção. (Lewandowski, 2016; Read2Loop, 2021);

✓ Liderar projetos piloto com tecnologias emergentes: Testar em escala reduzida soluções como blockchain para rastreabilidade, inteligência artificial para otimização de materiais e energia. (Ghisellini et al., 2016);

✓ Adotar tecnologias regenerativas no processo produtivo: Integrar processos que permitam regeneração de recursos naturais (ex: biomateriais, biorrefinarias, tecnologias de captura de carbono). (Ellen MacArthur Foundation – ReSOLVE, 2015);

✓ Indicadores sugeridos para monitoramento: % do orçamento de P&D dedicado à circularidade; Nº de tecnologias digitais aplicadas à gestão circular; Quantidade de patentes ou projetos inovadores com foco circular; Nível de rastreabilidade digital no ciclo de vida do produto; Nº de parcerias ativas com centros de inovação ou universidades.

4.4.9 Subárea 9 – Instalações

Avaliar o grau de integração dos princípios da economia circular no planejamento, construção, operação e gestão das instalações físicas da empresa, incluindo fábricas, escritórios e centros logísticos. Instalações sustentáveis reduzem o impacto ambiental, otimizam recursos e são

fundamentais para garantir eficiência energética e operacional em sistemas circulares. (Pigosso et al., 2020; Ghisellini et al., 2016);

Recomendações Técnicas para IPs $\leq 2,99$:

✓Realizar auditoria ambiental das instalações: Iniciar um mapeamento dos recursos consumidos (energia, água, insumos) e dos resíduos gerados, para identificar oportunidades de melhorias estruturais. (ICEQ, 2022; Read2Loop, 2021);

✓Adequar o layout para minimizar desperdícios logísticos e operacionais: Reduzir movimentações desnecessárias, adaptar para flexibilização de processos e considerar espaços para reaproveitamento de materiais. (Matche, 2021);

✓Iniciar ações básicas de eficiência energética: Implementar sensores de presença, iluminação LED, e manutenção preventiva de sistemas elétricos e hidráulicos. (Ghisellini et al., 2016);

✓Considerar princípios de construção sustentável em reformas e ampliações: Priorizar uso de materiais recicláveis, ventilação natural, isolamento térmico, e reaproveitamento de água pluvial. ReSOLVE, 2015; Read2Loop, 2021;

✓Sensibilizar as equipes de manutenção e infraestrutura sobre economia circular: Capacitação interna para que decisões sobre reparos e melhorias levem em conta impacto ambiental e ciclo de vida. Pigosso et al., 2020;

Recomendações para consolidação (IPs $\geq 3,0$):

✓Certificar as instalações com selos ambientais reconhecidos:

✓Buscar certificações como LEED, AQUA ou ISO 14001 para legitimar o compromisso com edificações sustentáveis. (Matche, 2021; ICEQ, 2022);

✓Incorporar soluções regenerativas nas instalações: Ex: telhados verdes, geração de energia solar, reutilização de efluentes, tratamento local de resíduos. (ReSOLVE, 2015);

✓Integrar tecnologias inteligentes para gestão automatizada dos recursos: Utilizar sensores IoT para controle de temperatura, consumo de energia e uso da água, com painéis em tempo real. (Read2Loop, 2021);

✓Usar indicadores para tomada de decisão sobre desempenho ambiental das instalações: Medir consumo por m², emissões por área produtiva, produtividade por consumo de energia. (Pigosso et al., 2020);

✓Conectar políticas de facilities management com a estratégia de circularidade: Estabelecer metas de redução de impactos ambientais nas políticas operacionais das instalações. Ghisellini et al., 2016;

✓Indicadores sugeridos para monitoramento: % de energia renovável utilizada nas instalações m³ de água reaproveitada por mês kWh/m²/ano (indicador de eficiência energética); % de materiais recicláveis usados em reformas ou expansões; Nº de certificações ambientais obtidas

4.4.10 Subárea 10 – Política e Legislação

Avaliar o grau de conhecimento, conformidade e engajamento da empresa com legislações, políticas públicas e instrumentos normativos que influenciam a adoção de práticas de economia circular. As políticas e legislações ambientais são catalisadoras da transição circular. Sua correta compreensão e aplicação são essenciais para alinhar estratégias empresariais aos marcos regulatórios vigentes e futuros. (Ghisellini et al., 2016; Pigosso et al., 2020);

Recomendações Técnicas para IPs ≤ 2,99:

✓Mapear a legislação ambiental aplicável ao setor da empresa: Realizar levantamento sistemático das normas ambientais e de resíduos (ex: PNRS, ISO 14001, legislação estadual e municipal). ICEQ, 2022;

✓Criar um sistema de acompanhamento contínuo de mudanças legislativas: Estabelecer um processo periódico para revisão de alterações nas leis que afetam resíduos, emissões e logística reversa. Read2Loop, 2021;

✓Designar responsáveis pela área de compliance ambiental: Mesmo que não haja um setor específico, definir profissionais responsáveis pela verificação da conformidade regulatória. MATChE, 2021;

✓Participar de fóruns e associações setoriais: Isso facilita o acesso à informação regulatória e permite influenciar positivamente na formulação de políticas públicas. (Pigosso et al., 2020);

✓Promover treinamentos sobre legislação ambiental e economia circular: Capacitar equipes operacionais e de gestão sobre riscos, obrigações e oportunidades legais associadas à circularidade. (Ghisellini et al., 2016);

Recomendações para consolidação (IPs ≥ 3,0):

✓Engajar-se na co-criação de políticas públicas circulares: Participar ativamente de grupos de trabalho que desenvolvem ou propõem regulações mais alinhadas à economia circular. Lewandowski, 2016; Read2Loop, 2021;

✓Estabelecer metas internas superiores às exigências legais: Ex: atingir 0% de descarte em aterro, metas de emissão abaixo dos limites regulatórios. ICEQ, 2022;

✓Integrar a conformidade legal ao planejamento estratégico da empresa: Incorporar o compliance ambiental nas metas corporativas, auditorias internas e avaliações de desempenho. Pigosso et al., 2020;

✓Obter certificações ambientais de terceira parte: Como ISO 14001, ISO 50001 ou certificações específicas de circularidade (ex: Cradle-to-Cradle, Ecolabels). MATChE, 2021;

✓Desenvolver relatórios de sustentabilidade baseados em marcos normativos: Utilizar frameworks como GRI, SASB ou IR para prestar contas de ações ambientais em alinhamento com políticas públicas. Ghisellini et al., 2016

4.4.11 Subárea 11 – Economia

Analisar se a empresa incorpora aspectos econômicos na avaliação e implementação de práticas circulares, considerando retorno financeiro, custos operacionais, riscos e benefícios de longo prazo. A economia circular só se viabiliza quando os modelos propostos são sustentáveis não apenas ambientalmente, mas também economicamente. Avaliar a lógica de valor é fundamental. (Pigosso et al., 2020; Lewandowski, 2016; Ghisellini et al., 2016);

Recomendações Técnicas para IPs $\leq 2,99$:

✓ Realizar análise de viabilidade econômica para práticas circulares: Utilizar ferramentas como Análise de Custo-Benefício (ACB), Payback e Valor Presente Líquido (VPL) para avaliar se práticas como remanufatura, logística reversa ou reuso são financeiramente viáveis. (Matche Framework, 2021; ICEQ, 2022);

✓ Mapear os custos ocultos de práticas lineares: Incluir perdas com desperdício de materiais, custos de descarte, multas ambientais e perda de imagem de marca. (Sehnem et al., 2019);

✓ Estabelecer políticas de valorização do valor residual dos produtos: Incluir no planejamento financeiro o potencial de recuperação de componente, materiais e ativos pós-consumo. (Read2Loop, 2021)

✓ Buscar programas de financiamento e incentivos governamentais: Monitorar editais de fomento à sustentabilidade e economia circular nas esferas estadual, nacional e internacional. (Ghisellini et al., 2016)

✓ Incluir a circularidade no processo orçamentário e contábil da empresa: Criar centros de custo para iniciativas circulares e mensurar seus impactos financeiros diretos e indiretos. (Lewandowski, 2016)

Recomendações para consolidação (IPs $\geq 3,0$):

✓ Desenvolver modelos de negócios circulares com rentabilidade comprovada: Ex: venda de serviços ao invés de produtos, leasing de equipamentos, plataformas de reuso e compartilhamento. Ellen MacArthur Foundation, 2015; ReSOLVE Framework;

✓ Integrar métricas econômicas e ambientais em relatórios integrados (ESG): Consolidar os indicadores financeiros, sociais e ambientais, promovendo transparência aos stakeholders; (Ghisellini et al., 2016)

✓ Simular cenários econômicos para escalonamento de práticas circulares: Usar softwares de modelagem para avaliar o impacto de expandir práticas circulares em maior escala. (Read2Loop, 2021);

✓ Utilizar plataformas de blockchain para rastreamento de valor econômico de ativos circulares: Aplicar tecnologias para registrar valor residual, ciclos de vida, e ganho em eficiência em sistemas fechados. Pigosso et al., 2020;

✓Investir na capacitação de equipes de finanças e compras sobre economia circular: Conectar decisões financeiras ao conceito de custo total do ciclo de vida. (ICEQ, 2022)

4.4.12 Subárea 12 – Clientes

Avaliar como a empresa considera o papel dos clientes como agentes ativos na economia circular, seja como participantes de sistemas de logística reversa, usuários de modelos de negócios baseados em serviços, ou co-criadores de soluções sustentáveis.; A transição para a economia circular requer um novo modelo de relacionamento com o consumidor, que passa a ser um elo do ciclo produtivo, e não apenas o ponto final. (Ghisellini et al., 2016; Sehnem et al., 2019; Read2Loop, 2021)

Recomendações Técnicas para IPs $\leq 2,99$:

✓Educar o cliente sobre a importância da economia circular: Criar campanhas de conscientização com foco na durabilidade, reparo, retorno e reuso de produtos. Ellen MacArthur Foundation, 2015; Matche, 2021

✓Implantar programas básicos de logística reversa com o cliente:

✓Incentivar a devolução de produtos ou embalagens pós-consumo. Pode-se utilizar bônus, cupons ou fidelidade como incentivo. (ICEQ, 2022; Read2Loop, 2021);

✓Incluir informações sobre circularidade nos canais de venda e atendimento: Transparência sobre a origem dos produtos, sua reciclabilidade e instruções de descarte adequado. (Ghisellini et al., 2016)

✓Pesquisar a percepção dos consumidores quanto a produtos circulares: Utilizar formulários simples para avaliar a disposição de pagar mais, preferência por refil, leasing, recondicionados, etc. Pigosso et al., 2020);

✓Rever a jornada do cliente com foco na circularidade: Analisar o ciclo de vida do produto do ponto de vista do usuário final para identificar oportunidades de retorno, reuso ou extensão de vida. (Lewandowski, 2016)

Recomendações para consolidação (IPs $\geq 3,0$):

✓ Implantar modelos de negócio baseados em uso ao invés de posse: Ex: aluguel, assinatura, pay-per-use. Isso reduz descarte e prolonga o uso do produto. Referência: ReSOLVE Framework; Pigosso et al., 2020

✓ Co-criação com clientes no design de soluções circulares: Incluir feedback e sugestões do consumidor na fase de desenvolvimento de novos produtos. (Matche, 2021)

✓ Utilizar tecnologias para rastrear o uso e retorno de produtos: Aplicar QR codes, RFID ou blockchain para garantir retorno eficiente e transparente. (Read2Loop, 2021)

✓ Desenvolver certificações ou selos próprios de circularidade para clientes: Mostrar que o consumidor faz parte de uma cadeia circular e sustentável. (ICEQ, 2022)

✓ Expandir canais de pós-venda voltados à circularidade: Suporte técnico para reparo, centros de recompra, mercados de produtos reconicionados. (Sehnem et al., 2019)

✓ Indicadores sugeridos para monitoramento: % de produtos retornados pelo cliente ao fim do ciclo de vida; Nº de clientes engajados em programas de logística reversa; Receita de modelos circulares baseados em serviço; NPS (Net Promoter Score) de produtos sustentáveis; Nº de iniciativas de comunicação voltadas à circularidade.

4.4.13 Subárea 13 – Treinamento

Avaliar o nível de comprometimento da empresa com o desenvolvimento de capacidades humanas relacionadas à economia circular, incluindo treinamentos formais, educação continuada, disseminação de conhecimento prático e técnico, e fortalecimento da cultura organizacional voltada à sustentabilidade e circularidade. A capacitação é elemento-chave para viabilizar a transição circular, pois permite que os colaboradores compreendam, aceitem e apliquem os novos paradigmas produtivos e de consumo. (Pigosso et al., 2020; Read2Loop, 2021; Lewandowski, 2016);

Recomendações Técnicas para IPs ≤ 2,99:

✓ Implantar programas introdutórios de capacitação em economia circular:

✓ Desenvolver treinamentos básicos (presenciais ou EAD) explicando os princípios, benefícios e exemplos de economia circular. (Read2Loop, 2021; ICEQ, 2022);

✓ Mapear lacunas de competências na equipe: Aplicar um diagnóstico para identificar quais setores ou funções carecem de conhecimento específico sobre circularidade. (Matche, 2021)

✓ Inserir o tema nos programas regulares de integração e desenvolvimento: Incluir tópicos de circularidade em treinamentos corporativos, como onboarding, segurança, qualidade, etc. (Sehnem et al., 2019);

✓ Promover workshops práticos com foco em casos reais: Estimular times a solucionarem problemas reais por meio de oficinas e desafios voltados à redução de resíduos, reuso e inovação circular. (Pigosso et al., 2020);

✓ Elaborar cartilhas e materiais visuais internos: Produzir conteúdo simples e acessível, como infográficos e vídeos curtos, para estimular o entendimento contínuo entre todos os colaboradores. (Ghisellini et al., 2016);

Recomendações para consolidação (IPs $\geq$ 3,0):

✓ Estabelecer trilhas de capacitação contínua por área: Criar rotas de desenvolvimento específicas por função (ex: compras, produção, design) com conteúdo técnico e atualizado sobre circularidade. (ReSOLVE; Read2Loop, 2021);

✓ Firmar parcerias com instituições de ensino e pesquisa: Fomentar capacitação técnica por meio de MBAs, especializações e cursos livres com foco em economia circular. (Matche, 2021);

✓ Incentivar certificações e reconhecimento interno: Criar programas de embaixadores da circularidade, premiações internas e valorização de quem aplica práticas sustentáveis. (ICEQ, 2022)

✓ Gamificar a aprendizagem sobre circularidade: Utilizar dinâmicas com metas, recompensas, rankings e desafios para aumentar o engajamento com o tema. (Sehnem et al., 2019)

✓Desenvolver planos de sucessão com foco em sustentabilidade: Garantir que futuras lideranças tenham formação sólida em práticas ambientais e de economia circular. (Pigosso et al., 2020);

✓Indicadores sugeridos para monitoramento: % de colaboradores capacitados em economia circular; Nº de horas de treinamento oferecidas por área ou função; Nº de materiais produzidos e distribuídos internamente; Grau de satisfação dos colaboradores com as capacitações; Participação em eventos, cursos ou fóruns sobre circularidade;

4.4.14 Subárea 14 – Comportamentos e Valores

Avaliar até que ponto os valores institucionais, comportamentos coletivos e atitudes individuais estão alinhados com os princípios da economia circular. Essa subárea mede o grau de enraizamento cultural da circularidade no dia a dia da organização. A transformação circular depende não apenas de tecnologia e processos, mas da cultura organizacional e da disposição dos colaboradores em adotar novas lógicas de valor, uso e reaproveitamento. (Pigosso et al., 2020; Lewandowski, 2016)

Recomendações Técnicas para IPs ≤ 2,99:

✓Iniciar um processo de reflexão institucional sobre valores e integrá-los com a circularidade(Lewandowski, 2016)

✓Desenvolver programas de cultura circular, com workshops, campanhas e narrativas inspiradora (Sehnem et al. 2019)

✓Estimular lideranças exemplares, que adotem práticas sustentáveis e promovam engajamento (Matche, 2021); (ICEQ, 2022)

✓Criar comitês ou núcleos de sustentabilidade com representantes de diferentes setores (Ready2LOOP, 2021).

✓Adotar sistemas de reconhecimento para boas práticas circulares (Pigosso et al. 2020)

✓Realizar diagnósticos de cultura organizacional e sustentabilidade (ReSOLVE, 2015); (Read2Loop, 2021).

Recomendações para Consolidação (IPs $\geq$ 3,00)

✓Compartilhar cases internos de boas práticas comportamentais, integrando a comunicação interna.

✓Engajar times de RH, marketing e líderes informais como multiplicadores da cultura circular.

✓Incentivar relatos espontâneos de comportamentos circulares entre os colaboradores.

✓Desenvolver programas de ética e propósito, conectando circularidade à identidade da empresa.

5 O ESTUDO DE CASO DA EMPRESA X

Este capítulo apresenta o estudo de caso realizado na Empresa X, com foco na aplicação da ferramenta FANPI para diagnóstico do nível de prontidão em Economia Circular. São expostos os resultados quantitativos obtidos a partir do questionário aplicado, com o cálculo dos Índices de Prontidão por Subárea (IPs), do Índice Global de Prontidão (IGP), variância e desvio padrão.

Em seguida, é apresentada a análise qualitativa das respostas abertas, permitindo compreender percepções, barreiras e estratégias relacionadas à circularidade. Os resultados são discutidos à luz dos modelos teóricos adotados e da literatura especializada, consolidando um diagnóstico técnico que servirá de base para as recomendações propostas no próximo capítulo.

5.1 CÁLCULO DO ÍNDICADOR DE PRONTIDÃO POR SUBÁREA (IPS)

A tabela 8 apresenta o resultado do questionário respondido pela empresa e na sequência os passos para obtenção do índice de prontidão por subárea (IPs) e o Índice Global de Prontidão.

TABELA 8: RESULTADOS DO ÍNDICE DE PRONTIDÃO POR SUBÁREA

Gerência	Subárea	$\sum Xi$	IPs
Alta gestão	Comunicação	30	5,00
	Economia	5	5,00
	Inovação e Tecnologia	25	5,00
	Política e legislação	15	5,00
	Gestão e Estratégia	34	4,86
Gerência industrial	Design e desenvolvimento de produtos/serviços	24	4,80
	Sustentabilidade ambiental, social e econômica	51	4,64
	Comportamentos e valores	52	4,33
	Operação/Gestão de recursos	69	4,31
Gerência Comercial	Clientes	21	4,20
	Serviços	21	4,20
	Instalações	21	4,20
Gerência de Suprimentos	Compras e Cadeia de Valor	45	4,09

Fonte: A Autora (2025)

Cálculo do IGPs ($\bar{x}$): O índice global de Prontidão foi determinado a partir da média dos IPs, onde

$$IGP = \frac{\sum_{j=1}^k IPS}{k}$$

$$IGP = \frac{63,63}{14} = 4,545$$

Cálculo da variância (σ^2): A variância é determinada por

$$\sigma^2 = \frac{\sum (Xi - \bar{x})^2}{n}$$

Os resultados da variância são apresentados na tabela 9:

TABELA 9: RESULTADOS DA VARIÂNCIA

IP	(IP - 4,545)	(IP - 4,545) ²
5	0,455	0,207
5	0,455	0,207
5	0,455	0,207
5	0,455	0,207
4,86	0,315	0,099
4,8	0,255	0,065
4,64	0,095	0,009
4,33	-0,215	0,046
4,31	-0,235	0,055
4,2	-0,345	0,119
4,2	-0,345	0,119
4,2	-0,345	0,119
4,09	-0,455	0,207
4	-0,545	0,297

Fonte: A autora (2025)

Após o somatório dos quadrados, temos que:

$$\sum (X_i - \bar{x})^2 = 1,964$$

Logo, a Variância é:

$$\sigma^2 = \frac{1,964}{14} = 0,1403$$

Cálculo do desvio padrão (σ): O desvio padrão (DP) é uma métrica estatística importante que expressa a dispersão dos dados em relação à sua média. Quanto maior o desvio padrão, maior é a variabilidade nas pontuações das subáreas.

Agora extraímos a raiz quadrada da variância:

$$\sigma = \sqrt{0,1403} = 0,375$$

5.1.1 Interpretação dos Resultados

Os resultados indicam que existe um nível médio de prontidão relativamente elevado (4,55) na escala de 1 a 5.

O desvio padrão de 0,375 demonstra que há uma moderada homogeneidade entre as subáreas analisadas, com algumas diferenças pontuais de maturidade. Subáreas como Treinamento (4,00) e Compras e Cadeia de Valor (4,09) demonstraram oportunidades de melhoria.

As subáreas Comunicação, Economia, Inovação e Tecnologia, e Política e Legislação obtiveram o IP máximo (5,00), denotando maturidade consolidada nestes aspectos.

Além das questões quantitativas baseadas em escala Likert, o questionário aplicado às empresas incluiu perguntas qualitativas abertas, com o objetivo de captar percepções detalhadas, desafios práticos e motivações relacionadas à adoção da Economia Circular (EC). As respostas obtidas da Empresa X, que atua no setor de polímeros, foram analisadas de maneira interpretativa, buscando a correlação com os referenciais teóricos e com os

modelos estudados — destacando convergências e eventuais lacunas em relação às boas práticas reconhecidas na literatura.

Gestão e Estratégia: Quando questionada sobre os principais desafios na implementação da EC, a empresa indicou de forma clara a competição de preço entre a matéria-prima virgem e o material reciclado pós-consumo (PCR). Esta barreira é amplamente relatada na literatura (Kirchherr et al., 2018; Lewandowski, 2016; Sehnem et al., 2021), especialmente em mercados de commodities, como os polímeros, onde incentivos regulatórios ainda são insuficientes. De fato, o modelo Ready2LOOP (R2L) inclui a dimensão "Market & Regulation Readiness" para avaliar tal fator crítico. Assim, a percepção do respondente demonstra forte alinhamento com o estado da arte.

No que tange ao papel da alta gestão, a resposta foca no cumprimento de metas estratégicas estabelecidas, com destaque para resultados de EC. Embora coerente, a literatura — em especial Lewandowski (2016) e o framework MATCHe — propõe um papel mais transformacional para os líderes: além de cumprir metas, os gestores devem atuar como visionários e facilitadores da mudança organizacional rumo a novos modelos circulares. Esta lacuna sutil indica um estágio intermediário de maturidade na dimensão "Leadership & Culture".

Entre os motivadores para adoção da EC, a empresa destacou: demanda de clientes e reforço de posicionamento estratégico. Estes drivers são confirmados por estudos de Sehnem et al. (2021), Pigosso et al. (2020) e pela taxonomia de motivadores apresentada por Kirchherr et al. (2018), sinalizando um entendimento maduro dos fatores que impulsionam a transição para a circularidade.

A descrição do apoio da alta gestão (priorização de investimentos em tecnologias de reciclagem e integração de metas estratégicas) reflete um estágio mais avançado de internalização da EC, consistente com os níveis superiores de maturidade descritos no MATCHe.

Por fim, os atributos destacados dos líderes — visão estratégica, foco em inovação, compromisso ESG e capacidade de mobilizar equipes — estão em plena concordância com as "Circular Leadership Competencies" descritas por Pigosso et al. (2020) e MATCHe.

Inovação e Tecnologia: Quando questionada sobre o uso de tecnologias digitais para desmaterialização de vendas, a empresa respondeu negativamente. Embora essa prática não seja universal no setor, autores como Lewandowski (2016) e ReSOLVE (McKinsey, 2016) ressaltam a importância da digitalização e do "*product-as-a-service*" como elementos-chave da circularidade avançada. Tal lacuna evidencia uma oportunidade de evolução na integração de tecnologia ao modelo de negócios.

Por outro lado, foi confirmado um alto nível de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e investimento em automação e processos, o que é coerente com o eixo "*Technological Readiness*" do Ready2LOOP.

Operações e Gestão de Recursos: A empresa relatou ações claras na incorporação da EC na produção: compra de aparas, reciclagem mecânica, pelletização e uso de resina reciclada. Essas práticas refletem aderência às estratégias de "*Loop*" e "*Regenerate*" do modelo ReSOLVE, e estão alinhadas com o estágio de maturidade "*Consolidation*" proposto por MATChE.

Softskills: As características pessoais consideradas essenciais para a promoção da EC (visão sistêmica, mentalidade inovadora, resiliência, liderança para mudança) são plenamente coerentes com as competências comportamentais listadas por Pigosso et al. (2020), e enfatizadas como habilitadoras na ferramenta MATChE.

Treinamento: A empresa indicou possuir uma equipe de grande porte, multidisciplinar, dedicada à EC — fato que evidencia um grau elevado de integração do tema. Também foram mencionados investimentos em capacitação, laboratórios e tecnologias. Tais elementos refletem aderência às dimensões "*Learning & Competency Building*" (Pigosso et al., 2020) e "*Skills & Knowledge*" do Ready2LOOP.

Identificação e Perfil da Empresa: O respondente indicou que a empresa possui entre 100 a 499 funcionários e atua há mais de 10 anos no mercado, com sede em São José dos Pinhais-PR. O domínio dos tópicos de EC e Pesquisa e Desenvolvimento sugere um perfil técnico avançado, potencializando a capacidade de inovação e adaptação.

De forma geral, as respostas qualitativas evidenciam uma empresa com uma visão estratégica bem formada sobre EC, com ações estruturadas em Operações, P&D e Liderança. O alinhamento com a literatura é elevado, embora

existam oportunidades de evolução na digitalização e em aspectos de liderança proativa.

Esta análise qualitativa complementa a avaliação quantitativa baseada em escalas de maturidade, permitindo uma compreensão mais rica e contextualizada da prontidão da empresa para a economia circular.

6 DISCUSSÕES FINAIS

Este capítulo apresenta uma análise crítica dos resultados obtidos a partir da aplicação da ferramenta diagnóstica de prontidão para a economia circular, discutindo-os à luz das contribuições teóricas dos 41 artigos científicos identificados na revisão sistemática da literatura. A discussão é estruturada em dois eixos: (1) a elaboração da ferramenta e (2) os achados do estudo de caso aplicado.

6.1 ELABORAÇÃO DA FERRAMENTA DIAGNÓSTICA

A construção da ferramenta de diagnóstico baseou-se em uma curadoria rigorosa de modelos de maturidade e metodologias de avaliação circular em nível organizacional (nível meso). A literatura identificada apresenta diversas abordagens consolidadas, como modelos de prontidão (Thorley et al., 2022), ferramentas de autoavaliação (Pigosso & McAloone, 2021), frameworks setoriais (Tedesco et al., 2022) e metodologias combinadas com lógica fuzzy (Vimal et al., 2021).

Os modelos de maturidade organizacional identificados por Uhrenholt et al. (2022) e Brendzel-Skowera (2021) foram fundamentais para estruturar a ferramenta em subáreas temáticas e vincular as questões a diferentes níveis gerenciais. A proposta de Uhrenholt et al. (2022) explicita seis dimensões (criação de valor, governança, pessoas e competências, cadeia de suprimentos, operações e produtos), que foram consideradas como referência para a segmentação temática adotada.

Autores como Prieto-Sandoval et al. (2021) e Kayikci et al. (2022) contribuíram com abordagens focadas em PMEs, cadeias de suprimento circulares e metodologias passo a passo. As ideias de *readiness* (prontidão) e *maturity* (maturidade) foram especialmente úteis para a estrutura lógica da ferramenta proposta.

A ferramenta também absorveu elementos da estrutura ReSOLVE, conforme utilizado por Tedesco et al. (2022), no setor de árvores plantadas no Brasil, reforçando a aplicabilidade prática do instrumento em contextos nacionais. Modelos híbridos, como os de Saidani et al. (2019), e estruturas com

integração de ACV, simbiose industrial e ferramentas da ecologia industrial (Wiprächtiger et al., 2023) também fundamentaram decisões metodológicas adotadas.

A consolidação de 123 questões, oriundas de diferentes fontes, visou refletir as melhores práticas em avaliação circular, respeitando as recomendações de autores como Sassanelli et al. (2019) e Sehnem et al. (2021) quanto à necessidade de instrumentos adaptáveis, multidimensionais e validados com *stakeholders*.

6.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

A aplicação da ferramenta revelou padrões consistentes com a literatura científica sobre Economia Circular, evidenciando um nível médio de prontidão relativamente elevado (4,55) em uma escala de 1 a 5. O desvio padrão de 0,375 indica uma moderada homogeneidade entre as subáreas, sugerindo que a organização apresenta maturidade de forma equilibrada, com variações pontuais.

Subáreas como Comunicação, Economia, Inovação e Tecnologia, e Política e Legislação obtiveram o índice de prontidão máximo (5,00), refletindo uma maturidade consolidada nesses aspectos, especialmente no que se refere ao alinhamento estratégico e à internalização de práticas circulares. Já áreas como Treinamento (4,00) e Compras e Cadeia de Valor (4,09) apresentaram os menores índices entre as subáreas avaliadas, embora ainda em patamares considerados positivos, indicando oportunidades de melhoria pontuais.

A análise qualitativa reforça os dados quantitativos, ao evidenciar que a empresa demonstra clareza em sua visão estratégica sobre Economia Circular, com destaque para ações estruturadas em operações, pesquisa e desenvolvimento, liderança e soft skills. Ao mesmo tempo, foram identificadas lacunas específicas, como a ausência de práticas digitais de desmaterialização e a necessidade de fortalecimento do papel transformador da alta gestão — elementos também discutidos em frameworks como MATChE (Pigozzo & McAloone, 2021) e Ready2LOOP (Prieto-Sandoval et al., 2018).

O conjunto dos resultados — tanto quantitativos quanto qualitativos — revela que, embora a organização apresente bons níveis de maturidade em praticamente todas as subáreas, ainda há espaço para aperfeiçoamento estratégico, tecnológico e organizacional, o que é compatível com os estágios intermediários e avançados de maturidade descritos por autores como Lewandowski (2016), Sehnem et al. (2021) e Kayikci et al. (2022).

Diferentemente do que é observado em outros estudos que apontam elevada variabilidade entre empresas (Haezendonck & Van Den Berghe, 2020; García-Quevedo et al., 2020), a relativa uniformidade encontrada neste estudo sugere um modelo de gestão mais estruturado e uma cultura organizacional mais integrada à lógica circular.

Adicionalmente, os obstáculos percebidos pela organização — como a competição entre insumo virgem e reciclado, ou a ausência de incentivos regulatórios — estão alinhados com as barreiras sistêmicas frequentemente descritas na literatura (Kirchherr et al., 2018; Albertsen et al., 2021; Cui & Li, 2020), reforçando a necessidade de políticas públicas mais eficazes e de condições institucionais propícias à transição circular.

Por fim, a capacidade da ferramenta de diagnóstico em identificar, com clareza, os pontos fortes e as lacunas por subárea valida sua aplicabilidade prática e relevância analítica, conforme proposto por Pigosso & McAloone (2021) e Saidani et al. (2019). A geração de recomendações técnicas estruturadas com base nos resultados reafirma o papel da avaliação diagnóstica como etapa essencial para orientar a transformação circular nas organizações industriais.

7 CONCLUSÕES DA PESQUISA

A pesquisa evidenciou a escassez de ferramentas práticas e sistematizadas para avaliar a prontidão de empresas industriais frente à Economia Circular. A partir de uma revisão sistemática da literatura, foram identificados 41 estudos científicos que embasaram o desenvolvimento de uma ferramenta diagnóstica com 123 questões, organizadas em 14 subáreas temáticas e distribuídas entre quatro gerências organizacionais. Essa ferramenta permitiu avaliar de forma estruturada o nível de prontidão circular das empresas, além de gerar recomendações técnicas específicas.

A aplicação da ferramenta no estudo de caso indicou que a empresa analisada apresenta um nível médio de prontidão elevado, com IP geral de 4,55 em uma escala de 1 a 5. O desvio padrão de 0,375 demonstrou uma moderada homogeneidade entre as subáreas, com variações pontuais. Subáreas como Treinamento (4,00) e Compras e Cadeia de Valor (4,09) apresentaram oportunidades de melhoria, enquanto Comunicação, Economia, Inovação e Tecnologia, e Política e Legislação alcançaram o IP máximo (5,00), indicando maturidade consolidada.

A análise qualitativa das respostas abertas evidenciou que a empresa possui uma visão estratégica clara sobre a EC, com ações concretas em P&D, operações e liderança. As principais barreiras apontadas — como a competição entre matéria-prima virgem e reciclada — estão alinhadas com o que já é discutido amplamente na literatura (Kirchherr et al., 2018; Sehnem et al., 2021), confirmando a relevância das percepções captadas. A atuação da alta gestão, embora estratégica, ainda pode evoluir para um papel mais transformador, conforme sugerido por frameworks como o MATCHe. Também foram identificadas oportunidades na digitalização de serviços e integração de tecnologias avançadas ao modelo de negócios, conforme discutido por Lewandowski (2016) e na estrutura ReSOLVE.

As contribuições teóricas da pesquisa incluem a sistematização de uma base científica sólida sobre prontidão e maturidade circular, a integração de diferentes abordagens em um modelo adaptado à realidade brasileira e a proposição de uma estrutura analítica multigerencial e multitemática, baseada em modelos como MATCHe, Ready2LOOP, ReSOLVE e LCMM.

No campo prático, a pesquisa gerou uma ferramenta aplicável a empresas de diferentes portes e segmentos, capaz de identificar lacunas e potencialidades por subárea e fornecer diagnósticos com recomendações técnicas personalizadas. A integração entre análise quantitativa e qualitativa ofereceu uma compreensão aprofundada e contextualizada da prontidão empresarial.

Entre as limitações, destacam-se o número reduzido de empresas no estudo de caso, a aplicação concentrada em um único estado (Paraná) e a ausência de validação externa da ferramenta por especialistas do setor.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se a ampliação da aplicação da ferramenta em diferentes setores e regiões do país, a incorporação de indicadores quantitativos (como KPIs econômicos, ambientais e sociais), a utilização de métodos avançados como lógica fuzzy ou análise multivariada e o desenvolvimento de uma plataforma digital para automatização do diagnóstico e geração de relatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, S.; TYAGI, M.; GARG, R. K. Framework development and evaluation of Industry 4.0 technological aspects towards improving the circular economy-based supply chain. **Industrial Robot**, v. 49, n. 3, p. 555–581, 2022.

AGUIAR, M. F.; JUGEND, D. Circular product design maturity matrix: A guideline to evaluate new product development in light of the circular economy transition. **Journal of Cleaner Production**, v. 365, 2022.

ALBERTO LÓPEZ RUIZ, L. et al. Multicriteria analysis of the environmental and economic performance of circularity strategies for concrete waste recycling in Spain. **Waste Management**, v. 144, p. 387–400, 2022.

ALBERTSEN, L. et al. Circular business models for electric vehicle lithium-ion batteries: An analysis of current practices of vehicle manufacturers and policies in the EU. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 172, 2021.

ALEJANDRINO, C.; MERCANTE, I. T.; BOVEA, M. D. Combining O-LCA and O-LCC to support circular economy strategies in organizations: Methodology and case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 336, 2022.

ALVARADO-BAWAB, M. B.; MARENCO, S. M. V. Industrial perspective regarding circular economy activities in Atlántico-Colombia. **Economia Agro-Alimentare**, v. 25, n. 1, p. 191–217, 2023.

AMARASINGHE, I.; HONG, Y.; STEWART, R. A. Development of a material circularity evaluation framework for building construction projects. **Journal of Cleaner Production**, v. 436, 2024.

BALLETTO, G. et al. **Industrial Symbiosis and Circular Urban Practices**. [s.l: s.n.]. v. 463 LNCE

BARBOSA, M. Z. et al. Life cycle approach applied to the production of ceramic materials incorporated with ornamental stone wastes. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 7, p. 9957–9970, 2022.

BARROS, M. V. et al. Going in Circles: Key Aspects for Circular Economy Contributions to Agro-industrial Cooperatives. **Circular Economy and Sustainability**, v. 3, n. 2, p. 861–880, 1 jun. 2023.

BASHYNSKA, I. et al. Performance Assessment of Sustainable Leadership of Enterprise's Circular Economy-Driven Innovative Activities. **Sustainability (Switzerland)**, v. 16, n. 2, 2024.

BAUMER-CARDOSO, M. I.; ASHTON, W. S.; CAMPOS, L. M. S. Measuring the Adoption of Circular Economy in Manufacturing Companies: the Proposal of the Overall Circularity Effectiveness (OCE) Index. **Circular Economy and Sustainability**, v. 3, n. 1, p. 511–534, 2023.

BERTASSINI, A. C. et al. CE-oriented culture readiness: An assessment approach based on maturity models and fuzzy set theories. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 615–629, 1 maio 2022.

BRENDZEL-SKOWERA, K. Circular economy business models in the sme sector. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 13, 2021.

BUYLE, M. et al. Sustainability assessment of circular building alternatives: Consequential LCA and LCC for internal wall assemblies as a case study in a Belgian context. **Journal of Cleaner Production**, v. 218, p. 141–156, 2019.

CAMANA, D. et al. Assessing environmental sustainability of local waste management policies in Italy from a circular economy perspective. An overview of existing tools. **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, p. 613–629, 2021.

CEBDS. Disponível em: <<https://cebds.org/iniciativa/economia-circular/>>. Acesso em: 19 jun. 2024.

CGR 2022. Disponível em: <<https://www.circularity-gap.world/2022>>. Acesso em: 19 jun. 2024.

CHENG, C.-P.; LIN, C.-H. **Enhancing the linkage between resource recycling and cradle-to-cradle production: A cluster approach promoting circular economy**. 14th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology, EARTH 2017. **Anais...2017**.

CHERRAFI, A. et al. A readiness self-assessment model for implementing green lean initiatives. **Journal of Cleaner Production**, v. 309, 2021.

CHIAROT, C.; COOPER ORDOÑEZ, R. E.; LAHURA, C. Evaluation of the Applicability of the Circular Economy and the Product-Service System Model in a Bearing Supplier Company. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 19, 2022.

CORSINI, F. et al. Introducing the circular assessment of suppliers (CAoS) tool: A Kraljic matrix-based tool to facilitate circular procurement in private organizations. **Journal of Cleaner Production**, v. 452, 2024.

DE PASCALE, A. et al. The circular economy implementation at the European Union level. Past, present and future. **Journal of Cleaner Production**, v. 423, 2023.

DIEZ-CAÑAMERO, B.; MENDOZA, J. M. F. Circular economy performance and carbon footprint of wind turbine blade waste management alternatives. **Waste Management**, v. 164, p. 94–105, 2023.

DRÄGER, P. et al. Measuring circularity: evaluation of the circularity of construction products using the ÖKOBAUDAT database. **Environmental Sciences Europe**, v. 34, n. 1, 2022.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Why our current economy will not work long term**. Disponível em: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/articles/why-our-current-economy-will-not-work-long-term>>. Acesso em: 29 abr. 2023.

EMF. **Material Circularity Indicator | Ellen Macarthur Foundation**. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

FANG, Y.; GAO, J. Evaluation and selection of industry development pattern for water conservation cities. **Boletim Técnico/Technical Bulletin**, v. 55, n. 17, p. 12–19, 2017.

FATIMAH, Y. A. et al. Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. **Journal of Cleaner Production**, v. 269, 2020.

FERREIRA, L.; MATIAS, R. Mapping Competences of the Technological Interface Centers to Support the Transition of Portuguese Companies Toward the Circular Economy. **Frontiers in Sustainability**, v. 2, 2021.

GOLINSKA-DAWSON, P.; WERNER-LEWANDOWSKA, K.; KOSACKA-OLEJNIK, M. Responsible resource management in remanufacturing—framework for qualitative assessment in small and medium-sized enterprises. **Resources**, v. 10, n. 2, p. 1–17, 2021.

GONZÁLEZ, A. et al. Methodology to assess the circularity in building construction and refurbishment activities. **Resources, Conservation and Recycling Advances**, v. 12, 2021.

GORDAN, M. et al. A Damage Detection Approach in the Era of Industry 4.0 Using the Relationship between Circular Economy, Data Mining, and Artificial Intelligence. **Advances in Civil Engineering**, v. 2023, 2023.

HAEZENDONCK, E.; VAN DEN BERGHE, K. Patterns of circular transition: What is the circular economy maturity of Belgian ports? **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 21, p. 1–15, 2020.

HALEEM, A. et al. Supplier evaluation in the context of circular economy: A forward step for resilient business and environment concern. **Business Strategy and the Environment**, v. 30, n. 4, p. 2119–2146, 2021.

HAPUWATTE, B. M.; JAWAHIR, I. S. Closed-loop sustainable product design for circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 25, n. 6, p. 1430–1446, 2021.

HAPUWATTE, B. M.; SEEVERS, K. D.; JAWAHIR, I. S. Metrics-based dynamic product sustainability performance evaluation for advancing the circular economy. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 64, p. 275–287, 2022.

HARTINI, S. et al. Circular Economy-based Product Substitution Design Rationale. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 15, n. 4, p. 688–706, 2022.

HEISEL, F.; RAU-OBERHUBER, S. Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster. **Journal of Cleaner Production**, v. 243, 2020.

HERNANDES DE PAULA E SILVA, M. et al. Lean-circular maturity model (LCMM) for companies' self-assessment in terms of process, product and life cycle thinking. **Waste Management**, v. 173, p. 172–183, 2024.

HIGOR COSTA DE BRITO; et al. **Meio ambiente e sustentabilidade: pesquisa, reflexões e diálogos emergentes** - Google Books. Disponível em: <https://www.google.com.br/books/edition/Meio_ambiente_e_sustentabilidade_pesquis/mf4_EA_AAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=sustentabilidade+esferas&printsec=frontcover>. Acesso em: 29 abr. 2023.

IBGE. **CNAE - IBGE**. Disponível em: <<https://cnae.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Disponível em: <<https://www.ipardes.pr.gov.br/Noticia/PIB-do-Parana-cresce-o-dobro-da-media-nacional-em-2023-com-alta-de-58>>. Acesso em: 19 jun. 2024.

JOSIMOVIĆ, B. et al. Multi-criteria Evaluation in Strategic Environmental Assessment in the Creation of a Sustainable Agricultural Waste Management Plan for wineries: Case Study: Oplenac Vineyard. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 34, n. 1, 2021.

KAPLYUK, E.; RUDNEVA, K. **Strategic Diagnostics of Directions Circular Transformation Industrial Complex**. [s.l: s.n.]. v. 684 LNNS

KAYIKCI, Y. et al. Assessing smart circular supply chain readiness and maturity level of small and medium-sized enterprises. **Journal of Business Research**, v. 149, p. 375–392, 2022a.

KAYIKCI, Y. et al. Assessing smart circular supply chain readiness and maturity level of small and medium-sized enterprises. **Journal of Business Research**, v. 149, p. 375–392, 1 out. 2022b.

KAZANCOGLU, Y. et al. Performance evaluation of reverse logistics in food supply chains in a circular economy using system dynamics. **Business Strategy and the Environment**, v. 30, n. 1, p. 71–91, 2021.

KOLLING, C. et al. A conceptual model to support sustainable Product-Service System implementation in the Brazilian agricultural machinery industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 355, 2022.

KÜHL, C. et al. The circularity of product-service systems: the role of macro-, meso- and micro-level contextual factors. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 43, n. 4, p. 619–650, 2023.

LANARAS-MAMOUNIS, G. et al. A Framework for Assessing the Contribution of Firms to Circular Economy: a Triple-Level Approach. **Circular Economy and Sustainability**, v. 2, n. 3, p. 883–902, 2022.

LI, R. Evaluating the Development Path of Manufacturing Industry under Carbon Neutralisation. **Ecological Chemistry and Engineering S**, v. 30, n. 4, p. 581–593, 2023.

LIANG, W.-Z.; ZHAO, G.-Y.; HONG, C.-S. Performance assessment of circular economy for phosphorus chemical firms based on VIKOR-QUALIFLEX method. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 1365–1378, 2018.

MANSUINO, M.; THAKUR, J.; LAKSHMI, A. Turning the wheel: Measuring circularity in Swedish automotive products. **Sustainable Production and Consumption**, v. 45, p. 139–157, 2024.

MARVUGLIA, A. et al. Emergy-based indicators to measure circularity: Promises and problems. **Polityka Energetyczna**, v. 21, n. 4, p. 179–196, 2018.

MENDOZA, J. M. F.; PIGOSSO, D. C. A. How ready is the wind energy industry for the circular economy? **Sustainable Production and Consumption**, v. 43, p. 62–76, 1 dez. 2023.

MESA, J. A.; GONZÁLEZ-QUIROGA, A. Development of a diagnostic tool for product circularity: a redesign approach. **Research in Engineering Design**, v. 34, n. 4, p. 401–420, 2023.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **O que é RAIS?** Disponível em: <<http://pdet.mte.gov.br/o-que-e-rais>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

MTE. **Novo CAGED**. Disponível em: <<http://pdet.mte.gov.br/novo-caged>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

NIU, X.; YÜKSEL, S.; DINÇER, H. Emission strategy selection for the circular economy-based production investments with the enhanced decision support system. **Energy**, v. 274, 2023.

OLIVEIRA, M. et al. Circular economy in the agro-industry: Integrated environmental assessment of dairy products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 148, 2021.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 29 abr. 2023.

ONU. **Pacto Global**. Disponível em: <<https://www.pactoglobal.org.br/10-principios>>. Acesso em: 29 abr. 2023c.

PAN, Y. et al. Semiconductor industry's transformation path under circular economy: Evidence from micro-level efficiency evaluation. **Computers and Industrial Engineering**, v. 189, 2024.

PRIETO-SANDOVAL, V. et al. Beyond the circular economy theory: Implementation methodology for industrial smes. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 14, n. 3, p. 425–438, 2021

Publications | Ellen MacArthur Foundation. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>. Acesso em: 19 jun. 2024.

RUITER, H.; DE FEIJTER, F.; WAGENSVELD, K. Management control and business model innovation in the context of a circular economy in the dutch construction industry. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 1, 2022.

SCANDURRA, F. et al. The maturity level of the agri-food sector in the circular economy domain: A systematic literature review. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 100, 2023.

SCHUH, G. et al. **Concept for Maturity Assessment of Remanufacturing Ability in Production Process Development**. Procedia CIRP. **Anais...**2023.

SEHNEM, S. et al. Circular business models: level of maturity. **Management Decision**, v. 57, n. 4, p. 1043–1066, 2019.

SHEVCHENKO, T. et al. Completing the design for product circularity toolkit with hierarchical computation of circularity maturity diagram and redesign circular strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 437, 2024.

SHEVCHENKO, T.; CLUZEL, F. **A CIRCULAR PRODUCT DESIGN TOOLKIT: METHODOLOGICAL BACKGROUND, BASIC PRINCIPLES AND BUILDING BLOCKS**. Proceedings of the Design Society. **Anais...**2023.

SILVA, F. A. D.; SIMIONI, F. J.; HOFF, D. N. Diagnosis of circular economy in the forest sector in southern Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 706, 2020.

SILVA, T. H. H.; SEHNEM, S. Industry 4.0 and the Circular Economy: Integration Opportunities Generated by Startups. **Logistics**, v. 6, n. 1, 2022.

SOMMERVILLE, R. et al. A qualitative assessment of lithium ion battery recycling processes. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 165, 2021.

STILLITANO, T. et al. A customized multi-cycle model for measuring the sustainability of circular pathways in agri-food supply chains. **Science of the Total Environment**, v. 844, 2022.

TEDESCO, M. et al. Assessment of the circular economy in the Brazilian planted tree sector using the ReSOLVE framework. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 397–406, 2022.

TOKAZHANOV, G. et al. Circularity assessment tool development for construction projects in emerging economies. **Journal of Cleaner Production**, v. 362, 2022.

TRUBINA, N.; PEŠTA, J.; LUPÍŠEK, A. **Developing of Comprehensive Circular Rating System for Office Buildings: A Review of Existing Tools and Case Study**. [s.l: s.n.]. v. Part F1844

TSAKALOVA, M. et al. A circular economy framework for the assessment of bio-based value chains. **Sustainable Chemistry for the Environment**, v. 6, 2024.

UHRENHOLT, J. N. et al. Maturity Model as a Driver for Circular Economy Transformation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 12, 2022a.

UHRENHOLT, J. N. et al. Maturity Model as a Driver for Circular Economy Transformation. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 12, 2022b.

UN. OIT: **Economia verde pode gerar milhões de empregos na América Latina e no Caribe** | **ONU News**. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/05/1673161>>. Acesso em: 29 abr. 2023.

ÜNAL, E.; SINHA, V. K. Sustainability trade-offs in the circular economy: A maturity-based framework. **Business Strategy and the Environment**, v. 32, n. 7, p. 4662–4682, 2023.

URAIN, I.; EGUREN, J. A.; JUSTEL, D. Development and validation of a tool for the integration of the circular economy in industrial companies: Case study of 30 companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 370, 2022.

VALLS-VAL, K.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; BOVEA, M. D. **MEASURING CIRCULARITY IN ORGANISATIONS: REVIEW OF TOOLS AND APPLICATION CASE | MEDICIÓN DE LA CIRCULARIDAD EN ORGANIZACIONES: REVISIÓN DE HERRAMIENTAS Y CASO DE APLICACIÓN**. Proceedings from the International Congress on Project Management and Engineering. **Anais...**2021.

VALTERE, M.; BEZRUCKO, T.; BLUMBERGA, D. Analysis of Textile Circularity Potential. **Environmental and Climate Technologies**, v. 27, n. 1, p. 220–232, 2023.

VIMAL, K. E. K. et al. **Application of multi grade fuzzy approach to compute the circularity index of manufacturing organizations**. *Procedia CIRP*. **Anais...**2021.

WANG, N. et al. Evaluation of Urban circular economy development: An empirical research of 40 cities in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 876–887, 2018.

WANG, X. A prediction method of the stability of the recycling industry chain based on bayesian network. **International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology**, v. 17, n. 7, p. 8.1-8.3, 2016.

WIPRÄCHTIGER, M. et al. Combining industrial ecology tools to assess potential greenhouse gas reductions of a circular economy: Method development and application to Switzerland. **Journal of Industrial Ecology**, v. 27, n. 1, p. 254–271, 2023.

WIPRÄCHTIGER, M.; HELLWEG, S. Circularity assessment in a chemical company. Evaluation of mass-based vs. impact-based circularity. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 204, 2024.

YANG, C.-K.; MA, H.-W.; YUAN, M.-H. Measuring circularity potential for medical waste management – a dynamic circularity performance analysis. **Sustainable Environment Research**, v. 33, n. 1, 2023.

ZARAFSHANI, H. et al. SAB: An open-access Python-based integrated platform for fully automated emergent sustainability assessment of biorefineries. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 29, n. 4, p. 632–651, 2024.

APPENDICE 1

Os registros completos do processo de desenvolvimento da ferramenta diagnóstica utilizada neste estudo, organizados em duas planilhas complementares podem ser encontrados neste link <https://drive.google.com/drive/folders/1ho6KWEAeJHqnx7J77Q6KidkgGv9fYEaU?usp=sharing>.

Os arquivos são apresentados abaixo:

Arquivo 1 – Registro da RSL e Classificação dos Artigos (Clusterização_Classificada_Questionarios_22.03.2025.xlsx): Refere-se ao registro da (i) Revisão Sistemática da Literatura (RSL) A primeira parte do documento apresenta o resultado da RSL realizada no contexto da pesquisa. Os artigos identificados foram catalogados e classificados conforme os níveis de análise predominantes (micro, meso e macro). O foco do estudo foi direcionado aos artigos de nível meso, por estarem alinhados à avaliação da prontidão organizacional para a economia circular no contexto empresarial. (ii) Classificação de Aderência Temática e Relevância Prática Na sequência, os artigos mais aderentes ao objetivo da pesquisa foram destacados, priorizando aqueles que apresentaram ferramentas de avaliação, modelos de maturidade ou questionários já aplicados no contexto industrial. Esta triagem possibilitou a seleção criteriosa dos estudos com maior potencial de contribuição prática. (iii) Coleta e Consolidação de Questões Diagnósticas A partir dos artigos selecionados, foram extraídas 395 questões relacionadas às dimensões estruturais da economia circular. As questões abordam múltiplas temáticas, como gestão de recursos, inovação, design de produtos, governança e sustentabilidade. Essa base inicial passou por análises posteriores (descritas no corpo da dissertação) que culminaram na versão final do questionário proposto.

Arquivo 2 – Consolidação e Filtragem das Questões (Cópia de Diagnóstico_03.03.xlsx): Planilha contendo o banco de dados bruto com as 396 questões extraídas e, em sequência, o processo de curadoria e filtragem,

baseado em critérios de semelhança, redundância, clareza e aplicabilidade prática. O resultado final foi a consolidação de 123 questões estruturadas por subáreas temáticas e gerências organizacionais, que compõem o questionário final proposto neste trabalho disponível no link .

Arquivo “FANPI” – Refere-se a ferramenta propriamente dita, com 123 questões, 4 gerências e 14 subáreas. Além disso, encontra-se a capa do questionário com orientações sobre o preenchimento, a descrição completa de cada gerência e subárea.

Link de acesso: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/19u06Hkf3IRq-Tcj3S39t202wMjAOW9BE/edit?rtpof=true&gid=1084831997#gid=1084831997>