

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCar
Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Administração - PPGA

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS À BASE DE PLÁSTICO RECICLADO DE
EMBALAGENS DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS: UM ESTUDO SOBRE CADEIAS
DE SUPRIMENTOS REGIONAIS NA ÓTICA DA ECONOMIA CIRCULAR**

Paschoal José de Pilla Jr.

Linha de pesquisa: Gestão na Cadeia de Suprimentos (GCS)

Orientador: Prof. Dr. Márcio Lopes Pimenta

Sorocaba – São Paulo

2023

**DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS À BASE DE PLÁSTICO RECICLADO DE
EMBALAGENS DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS: UM ESTUDO SOBRE CADEIAS
DE SUPRIMENTOS REGIONAIS NA ÓTICA DA ECONOMIA CIRCULAR**

Dissertação apresentada por Paschoal J. de Pilla Jr.
ao Programa de Pós-Graduação em Administração
da Universidade Federal de São Carlos - campus
Sorocaba, como requisito para a obtenção do título
de Mestre em Administração na linha de pesquisa
em Gestão na Cadeia de Suprimentos (GCS).

Orientador: Prof. Dr. Márcio Lopes Pimenta

Sorocaba – São Paulo

2023

Pilla Jr., Paschoal J. de

Desenvolvimento de produtos à base de plástico reciclado de embalagens de defensivos agrícolas: um estudo sobre cadeias de suprimentos regionais na ótica da Economia Circular / Paschoal J. de Pilla Jr. -- 2023. 78f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Márcio Lopes Pimenta
Banca Examinadora: Bruno Garcia de Oliveira, Éderson Luiz Piato
Bibliografia

1. Cadeia de suprimentos curta. 2. Economia Circular. 3. Embalagens plásticas de defensivos agrícolas. I. Pilla Jr., Paschoal J. de. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Administração

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Paschoal Jose de Pilla Junior, realizada em 14/12/2023.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Márcio Lopes Pimenta (UFU)

Prof. Dr. Éderson Luiz Plato (UFSCar)

Prof. Dr. Bruno Garcia de Oliveira (UFCAT)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Administração.

AGRADECIMENTOS

Às empresas participantes da cadeia de suprimentos de defensivos agrícolas e logística reversa de embalagens usadas que, na figura de seus colaboradores, gentilmente participaram das entrevistas que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas, professores, coordenador e orientador – Prof. Dr. Márcio Pimenta - pelo convívio e por possibilitarem a expansão do conhecimento.

Ao Prof. Bruno Garcia pelo suporte e troca de experiências.

Ao CNPQ pelo apoio financeiro por meio dos projetos 308404/2021-1 e 406420/2023-8.

À Cibele, Nicolas e Julia pela compreensão, paciência e apoio.

RESUMO

Pilla, P. Desenvolvimento de produtos à base de plástico reciclado de embalagens de defensivos agrícolas: um estudo sobre cadeias de suprimentos regionais na ótica da Economia Circular. Projeto de Pesquisa. Gestão na Cadeia de Suprimentos (GCS) - Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGA) - Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, campus Sorocaba. 2023.

A Economia Circular (EC) está ligada às práticas de redução, reuso e reciclagem de produtos e matérias-primas. Esta abordagem está especialmente vinculada aos processos de desenvolvimento de produtos, visando transições de processos convencionais e lineares para abordagens mais circulares. As embalagens plásticas utilizadas para o acondicionamento de defensivos agrícolas, após o uso, são armazenadas e posteriormente enviadas para a reciclagem percorrendo longas distâncias, acarretando custos e emissões de gases poluentes. Este estudo tem como objetivo analisar o conceito de Suprimentos Curta (CSC) no contexto da reciclagem de embalagens plásticas, priorizando a otimização de transporte, armazenagem e o desenvolvimento de produtos para o consumo local. Com base em entrevistas em profundidade, esta pesquisa adota uma abordagem de estudo de caso para investigar as cadeias de suprimentos que abrangem embalagens plásticas provenientes do uso de defensivos agrícolas nas regiões do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro, em Minas Gerais. O estudo de caso revela que, embora a cadeia atual, cujo foco é atender à legislação e proporcionar uma destinação adequada para as embalagens usadas, opere de maneira eficiente no que diz respeito à coleta e reciclagem, a estrutura que sustenta essa cadeia gera custos e ineficiências que levam a um déficit operacional. A adoção de uma CSC, no contexto da reciclagem de embalagens de defensivos e produção local, refere-se a um sistema mais direto e próximo entre os estágios da cadeia de suprimentos, reduzindo distâncias físicas e intermediários, promovendo, assim, uma abordagem mais eficiente. A reciclagem local para a produção de produtos circulares, visando atender à demanda regional, pode proporcionar benefícios ambientais, econômicos e sociais. No entanto, essas mudanças dependem da redefinição de paradigmas relacionados ao desenvolvimento de produtos e à legislação vigente, especialmente em relação à propriedade das embalagens. Esta pesquisa não apenas propõe uma abordagem sustentável na gestão de resíduos plásticos, mas também destaca desafios práticos que demandam ações concretas para a implementação efetiva de uma cadeia de suprimentos mais curta, estando alinhada com os objetivos de desenvolvimento sustentável, gerando benefícios econômicos e ambientais significativos para

as regiões envolvidas. Embora o estudo esteja centrado no segmento agrícola, identificando oportunidades específicas, percebe-se potencial para sua aplicação em diversos segmentos, setores e regiões. Acredita-se que a abordagem proposta seja altamente generalizável, podendo estimular o empreendedorismo em pequenas e médias empresas locais.

Palavras chave: Cadeia de suprimentos curta; Economia Circular; Sustentabilidade; Desenvolvimento de produtos; Embalagens plásticas de defensivos agrícolas.

ABSTRACT

Pilla, P. Development of products based on recycled plastic from agricultural pesticide packaging: a study on regional supply chains from the perspective of the circular economy. Research Project. Supply Chain Management (GCS) - Graduate Program in Administration (PPGA) - Federal University of São Carlos - UFSCar, Sorocaba campus. 2023.

Circular Economy (CE) is associated with the practices of reducing, reusing, and recycling products and raw materials. This approach is particularly linked to product development processes, aiming for transitions from conventional and linear processes to more circular approaches. Plastic packaging used for agricultural pesticide storage, after use, is stored and later sent for recycling, covering long distances, incurring costs, and emitting polluting gases. This study aims to analyze the concept of Short Supply Chains (SSC) in the context of plastic packaging recycling, prioritizing the optimization of transportation, storage, and product development for local consumption. Based on in-depth interviews, this research adopts a case study approach to investigate supply chains that involve plastic packaging originating from the use of agricultural pesticides in the Alto Paranaíba and Triângulo Mineiro regions in Minas Gerais. The case study reveals that, although the current supply chain, which focuses on complying with legislation and providing proper disposal for used packaging, operates efficiently in terms of collection and recycling, the structure supporting this chain generates costs and inefficiencies leading to an operational deficit. The adoption of an SSC, in the context of pesticide packaging recycling and local production, refers to a more direct and proximate system between the stages of the supply chain, reducing physical distances and intermediaries, thus promoting a more efficient approach. Local recycling for the production of circular products, aiming to meet regional demand, can provide environmental, economic, and social benefits. However, these changes depend on redefining paradigms related to product development and current legislation, especially concerning packaging ownership. This research not only proposes a sustainable approach to plastic waste management but also highlights practical challenges that require concrete actions for the effective implementation of a shorter supply chain, aligning with sustainable development goals and generating significant economic and environmental benefits for the involved regions. While the study focuses on the agricultural sector, identifying specific opportunities, there is potential for its application in various segments, sectors, and regions. It is believed that the proposed approach is highly generalizable, potentially stimulating entrepreneurship in small and medium-sized local enterprises.

Keywords: Short supply chain; Circular Economy; Sustainability; Product development; Plastic packaging for agricultural pesticides.

Lista de Figuras

Figura 1 – Problema, Objetivo e Justificativa	19
Figura 2- Fluxo das embalagens de defensivos agrícolas.....	41
Figura 3 - Classificação Hierárquica Descendente.....	45
Figura 4 - AFC dos termos	46
Figura 5 - Categorias e códigos	47
Figura 6 - a CSC e a geração de valor por meio da EC.....	58

Lista de Quadros

Quadro 1 - Lista de entrevistados	40
Quadro 2 - Etapas da análise de conteúdo realizada na pesquisa	42
Quadro 3 - Categorias e seus Códigos	42
Quadro 4 - Frequência de códigos por entrevistado	44
Quadro 5- CSC para reciclagem de embalagem de defensivo: Proposições, implicações práticas e oportunidades de estudo.....	66

Sumário

1. Introdução.....	13
1.1. Relevância prática.....	14
1.2. Problematização.....	15
1.3. Objetivo.....	17
1.4. Justificativa.....	17
2. Referencial teórico.....	19
2.1. Economia circular (EC).....	19
2.1.1. A necessidade de mudanças sistêmicas para implementação da EC.....	21
2.2. Desenvolvimento de produtos Circulares (DPC).....	23
2.3. Cadeia de Suprimentos Curta (CSC).....	26
2.4. Cadeias de suprimentos de plásticos reciclados.....	31
2.4.1. Desafios legais e operacionais da reciclagem de plásticos.....	35
3. Metodologia.....	38
3.1. Metodologia dos estudos de caso.....	39
3.2. Coleta de dados.....	39
3.3. Análise de dados.....	41
3.4. Análise da qualidade dos dados.....	43
4. Resultados.....	46
4.1. Cadeia de Suprimentos Curta (CSC).....	47
4.2. Desenvolvimento de Produtos Circulares (DPC).....	50
4.3. Escala de recuperação / Processo Operacional de Transformação.....	51
4.4. Legislação, Políticas e Incentivos.....	53
4.5. Geração de Valor.....	54
5. Discussão.....	56
5.1. Proposição 1.....	58
5.2. Proposição 2.....	60
5.3. Proposição 3.....	62
5.4. Análise das proposições.....	65
6. Conclusão.....	67
7. Referências.....	70

1. Introdução

Na última década, a consciência global em relação às questões ambientais, tais como aquecimento global, mudanças climáticas e esgotamento de recursos, aumentou consideravelmente. A maior parte dos resíduos sólidos gerados consiste em plásticos. Devido à sua ampla utilização e à quantidade de resíduos gerados após o uso, esses plásticos levantam preocupações pelos danos causados ao meio ambiente quando descartados inadequadamente, resultando na contaminação do solo, da água e dos oceanos (Gasde *et al.*, 2020; León Albiter *et al.*, 2022).

Essa tendência alarmante ressalta a necessidade de ações efetivas para lidar com a poluição causada pelos plásticos e reduzir seu impacto negativo no meio ambiente. A produção global de plástico aumentou de 15 milhões de toneladas em 1964 para 311 milhões de toneladas em 2014, e espera-se que dobre novamente até 2035. Mais de 90% dos plásticos fabricados atualmente são feitos de petróleo bruto, consumindo o equivalente a 6% da produção mundial de petróleo, o que é igual ao consumo global da indústria da aviação (De Jong; Mellquist, 2021).

Globalmente, a questão do lixo plástico é uma preocupação séria. O desenvolvimento de cadeias de suprimento focadas na economia circular (EC), oferece oportunidades significativas para reduzir tanto a quantidade quanto o impacto dos resíduos plásticos. A EC descreve um sistema econômico baseado em modelos de negócios que reavaliam o conceito de “fim de vida” dos produtos e seus componentes. Esse sistema busca eliminar os resíduos através da redução, reutilização, reciclagem e recuperação de materiais nos processos de produção, de distribuição e consumo, impactando no desenvolvimento sustentável em benefício das gerações atuais e futuras (Diaz *et al.*, 2021).

Nesse contexto, os avanços na reciclagem de resíduos plásticos estão pavimentando o caminho para a concretização da EC, buscando converter resíduos em novos materiais que são reintroduzidos no sistema como novos produtos (Olatayo; Mativenga; Marnewick, 2022).

Como um potencial objeto de análise, o plástico pode ser considerado um dos materiais mais críticos para o meio ambiente, devido à quantidade produzida e aos resíduos gerados ao final do ciclo de vida. Conforme Schyns e Shaver (2021), a realidade atual da economia global de plásticos é predominantemente linear. Os plásticos são produzidos, utilizados e mais da metade deles são descartados sem recuperação, resultando na necessidade de uma produção adicional. Assim, a dependência da matéria-prima do petróleo e a poluição resultante no planeta continuam a crescer

1.1. Relevância prática

No contexto da evolução econômica, a redução de materiais e a reciclagem de resíduos surgem como elementos cruciais para novas abordagens de produção e modelos empresariais e um grande potencial econômico é identificado no princípio da EC, conforme destacado por Gasde *et al.* (2020). Dentro desse cenário, os plásticos pós-consumo têm recebido atenção especial de pesquisadores e agências de fomento, pois, tão importante quanto a preocupação ambiental, o aspecto econômico do aumento da taxa de reciclagem de plásticos deve ser considerado (Cestari *et al.* 2021).

Considerando a busca pela redução de materiais ou a reciclagem pós-consumo, a EC estabelece diretrizes para os processos de desenvolvimento de produtos (DP), promovendo a transição de processos convencionais (lineares) para processos e produtos circulares (Kamp Albæk *et al.*, 2020; Diaz *et al.*, 2021). Assim, pode-se inferir que a EC oferece orientações para a criação de produtos que visam reduzir a geração de resíduos e minimizar seu impacto no meio ambiente.

No entanto, como ressaltado por Chidepatil, Cárdenas e Sankaran (2022), criar uma EC para os plásticos é um desafio contínuo contra o caos e a disfunção do nosso estilo de vida moderno onde a reciclagem de plásticos, em muitas partes do mundo, é extremamente desorganizada.

Para estudar, bem como colocar em prática essas diretrizes, esta pesquisa adota a perspectiva da gestão da cadeia de suprimentos (GCS). Tal perspectiva, pode ajudar a desenvolver sistemas de gerenciamento de fluxos de processo, principalmente no que diz respeito à logística reversa de plásticos, processo responsável pela coleta dos materiais no final de seus ciclos de vida e o encaminhamento dos mesmos para serem reutilizados ou transformados por meio de centros de reciclagem (Sanchez *et al.*, 2020).

Considerando a necessidade de coordenar e integrar processos que envolvem diferentes organizações (Diaz *et al.*, 2021; Van Dam; Sleeswijk Visser; Bakker, 2021), e de acordo com Hazen *et al.* (2020), Mayanti e Helo (2022), e Zhang *et al.* (2021), pode-se afirmar que GCS é uma abordagem fundamental para compreender e aprimorar a coordenação dos processos necessários para o DP no contexto da reciclagem, inclusive para os plásticos (Foschi; Bonoli, 2019; Yogesh, D.; Yogesh P.; Borade, 2019).

Além disso, a introdução do conceito de Cadeia de Suprimentos Curta (CSC) em uma determinada região pode proporcionar benefícios ambientais, econômicos e sociais mensuráveis, como a redução de emissão de gases do efeito estufa, a diminuição dos custos de

transporte e armazenagem, além da geração de empregos locais e proximidade com os clientes (Kiss; Ruskai; Takács-György. 2019; Pató; Kiss, 2020).

1.2. Problematização

Os produtos circulares dependem da integração entre organizações e processos, uma vez que possuem uma natureza de agregação de valor distinta do produto original que deu origem à matéria-prima ou ao próprio produto reutilizado. Dessa forma, esses processos devem basear-se na integração de múltiplos conhecimentos e tecnologias, resultando em uma função única para gerar o produto ao longo das várias fases de seu desenvolvimento e utilização (Mestre; Cooper, 2017).

Uma análise prévia da literatura sobre a EC revela oportunidades para a introdução de definições e critérios específicos para a análise e avaliação dos benefícios, bem como medidas para a melhoria e otimização da EC (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017; Geissdoerfer *et al.*, 2017; Korhonen; Honkasalo; Seppälä, 2018; Tashkeel *et al.*, 2021). Por outro lado, é necessário realizar pesquisas empíricas para esclarecer o funcionamento aprofundado desses processos (Jugend *et al.*, 2020).

A reciclagem de plástico pode ser definida como o processo de usar material plástico recuperado ou produtos do fluxo de resíduos para fabricar um novo produto, representando uma solução que mitiga a poluição ambiental e reduz a pressão sobre a produção de matéria-prima virgem (Olatayo; Mativenga; Marnewick, 2022).

No âmbito das embalagens de plástico, ações prioritárias são necessárias para desencadear a transição para uma nova economia: (i) a reformulação de 30% das embalagens de plástico que nunca serão reutilizadas ou recicladas; (ii) a reutilização de, no mínimo, 20% das embalagens plásticas; e (iii) a reciclagem dos restantes 50% de embalagens de plástico, com aprimoramento de sua qualidade e atratividade econômica (León Albiter *et al.*, 2022).

Apesar dos significativos esforços dedicados à transição para uma economia mais circular, um desafio importante reside na avaliação do potencial de reciclagem dos plásticos, onde um baixo potencial pode ser caracterizado pela dificuldade em separar diferentes tipos de plástico, pela heterogeneidade e mistura das frações de plástico recolhidas, devido aos processos de degradação durante o processo de reciclagem que afetam as propriedades mecânicas dos plásticos reciclados, pelos esforços relacionados aos processos de reciclagem e pela presença de efeitos adversos, como contaminações e acúmulo de substâncias no lixo, que podem representar riscos à saúde (Nimmegeers *et al.*, 2021).

Especificamente no contexto do desenvolvimento de produtos (DP) com base na reciclagem de plásticos, este estudo sugere a exploração do conceito de cadeia de suprimentos curta (CSC). Esse conceito implica na criação de produtos com base na reciclagem e na comercialização regional, abrangendo tanto o material a ser reprocessado quanto o novo produto desenvolvido a partir dele, para atender a uma demanda local.

O contexto específico das embalagens plásticas utilizadas para o acondicionamento de defensivos agrícolas oferece potencial para ilustrar esse conceito. De acordo com a ABIPLAST (2022), o setor agrícola consome anualmente 230 mil toneladas de plásticos, das quais quase 53 mil toneladas são destinadas a embalagens de defensivos agrícolas (INPEV, 2022). Após a aplicação dos defensivos, as embalagens são armazenadas e, posteriormente, enviadas para reciclagem, percorrendo longas distâncias e gerando custos e poluentes associados ao transporte.

Considerando a necessidade de velocidade, automação e visibilidade de processo, a CSC para a reciclagem de plásticos pode ser impulsionada pela manufatura aditiva, integração de sistemas e digitalização de processos (Colorado; Velásquez; Monteiro, 2020).

A implementação da EC em cadeias de suprimentos com alto nível de digitalização de processos permite aprimorar a gestão de materiais locais para a reciclagem, com foco na redução do transporte e no impacto ambiental (Sanchez *et al.*, 2020).

Conforme observado por Vegter, Van Hillegersberg e Olthaar (2023), uma cadeia de suprimentos mais curta demonstra um impacto potencialmente significativo na promoção da circularidade, no desempenho econômico e ambiental. Além da viabilidade financeira, esse conceito alternativo de cadeia de suprimentos pode proporcionar benefícios ao meio ambiente, reduzindo as emissões de gases do efeito estufa devido à menor utilização de transportes. Adicionalmente, pode gerar impactos sociais positivos, como a criação de empregos locais. Dessa forma, contribui para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU, 2022). Conforme destacado por Zimon, Tyan e Sroufe (2019), as práticas sustentáveis incorporadas à GCS estabelecem vínculos com os ODS e podem promover sinergias entre os diversos componentes da cadeia.

Nesse sentido, sugere-se a seguinte questão de pesquisa: **Como as cadeias de suprimentos curtas podem apoiar o desenvolvimento de produtos circulares de plástico, com ênfase na reciclagem e na comercialização regional?**

1.3. Objetivo

A pesquisa busca contribuir teoricamente para o desenvolvimento do conceito de cadeia de suprimentos curta (CSC) por meio de um estudo de caso que abrange as etapas de uso, reciclagem, fabricação e comercialização de produtos provenientes da reciclagem de plásticos. A análise busca avaliar a viabilidade do desenvolvimento de novos produtos utilizando plásticos reciclados provenientes de embalagens de defensivos agrícolas, por meio de práticas de reciclagem e produção local.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo:

Objetivo: Analisar o conceito de Suprimentos Curta (CSC) no contexto da reciclagem de embalagens plásticas, priorizando a otimização de transporte, armazenagem e o desenvolvimento de produtos para o consumo local.

O desenvolvimento do conceito de CSC para a reciclagem de embalagens plásticas pode otimizar o transporte, a armazenagem e a criação de produtos para o consumo local. Espera-se que essa abordagem tenha impactos positivos nos custos, na preservação do meio ambiente e no desenvolvimento de uma economia local sustentável. Nesse contexto, a GCS e o desenvolvimento de produtos operam de maneira cíclica e integrada.

No sentido de entender o processo de desenvolvimento de produtos circulares, não apenas no aspecto técnico, esta pesquisa, através de estudo de caso prático, pretende redesenhar a cadeia de suprimentos para a reciclagem de embalagens plásticas para torná-la mais eficaz economicamente. Para isso, optou-se por analisar uma cadeia crítica em termos de problemas logísticos e econômicos que possui lacunas ambientais a serem estudadas: a reciclagem e comercialização de produtos oriundos do plástico das embalagens de defensivos agrícolas.

1.4. Justificativa

A crescente produção de produtos recicláveis e a limitada adesão dos consumidores a estes produtos, exercem uma pressão sobre as indústrias de reciclagem, que necessita de novas abordagens e tecnologias (Khadke *et al.*, 2021).

As embalagens plásticas empregadas no acondicionamento de defensivos agrícolas, uma vez utilizadas, são armazenadas e, posteriormente, encaminhadas para processos de reciclagem. Contudo, esse percurso envolve longas distâncias desde o ponto de consumo, resultando em custos significativos e emissões de gases poluentes derivados do transporte. Diante desse cenário, a cadeia de suprimentos tradicional pode tornar-se inviável financeira e

mercadologicamente, dada a distância entre a geração do material reciclável, o processo de reciclagem e o consumo dos produtos finais. Nesse contexto, o desenvolvimento do conceito de CSC surge como uma estratégia potencial para otimizar o processo de reciclagem de embalagens plásticas utilizadas em defensivos agrícolas.

De acordo com Zhang *et al.* (2021), a cadeia de suprimentos de circuito fechado é um sistema que maximiza a criação de valor ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, porém se as atividades são conduzidas por uma ou mais empresas, tem-se uma cadeia suprimentos de circuito aberto onde o fluxo de circuito aberto, quando comparado com o fechado, possibilita maximizar a recuperação de valor. Além disso, conforme observado por Justman (1994), o desenvolvimento industrial no nível local muitas vezes ocorre em grupos, e a demanda local pode ser uma fonte valiosa de vantagem competitiva.

O conceito da CSC, além da viabilidade financeira, traz benefícios ao meio ambiente relacionados à redução de emissão de gases do efeito estufa pela menor utilização de transportes e contribui para o atingimento dos ODS da ONU (Zimon; Tyan; Sroufe, 2019). Como exemplo de CSC, pode-se citar a reciclagem de plásticos para a produção de matéria prima utilizada em processos de manufatura aditiva (Colorado; Velásquez; Monteiro, 2020). A integração da EC nesses processos permite a utilização de cadeias de suprimentos de materiais locais para a reciclagem, resultando em redução no transporte e no impacto ambiental associado à exploração intensiva de recursos, conforme ressaltado por Sanchez *et al.* (2020).

A literatura traz alternativas para a reciclagem de embalagens plásticas utilizadas no setor agrícola, como a transformação do plástico em energia (Rentizelas; Shpakova; Mašek, 2018), porém os impactos causados pela geração de gases potencialmente nocivos ao meio ambiente precisam ser avaliados

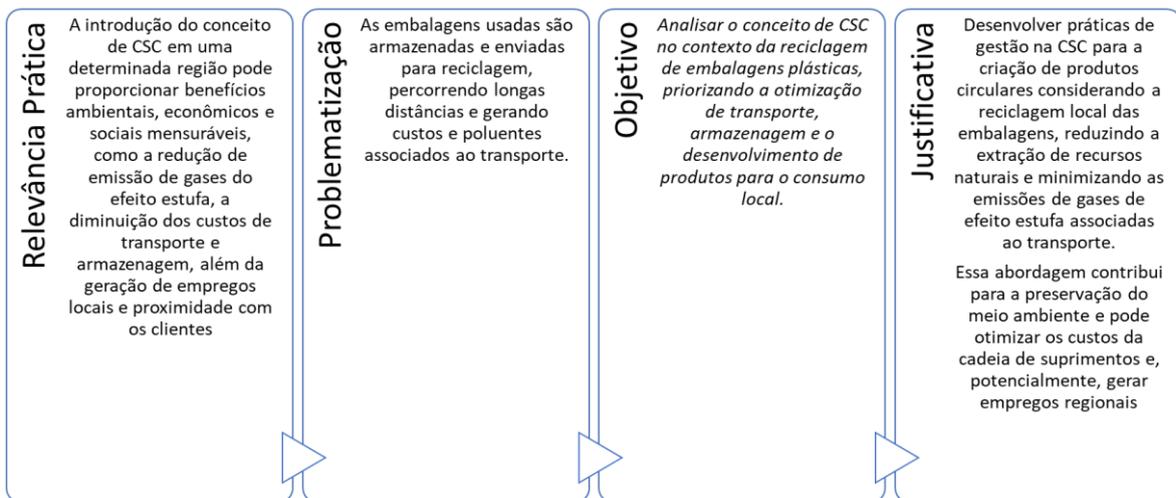
Para Mayanti e Helo (2022), o foco está na avaliação dos custos envolvidos na reciclagem dos plásticos de origem do setor agrícolas, porém somente daqueles que não estiveram em contato com defensivos agrícolas, para evitar qualquer possibilidade de contaminação química.

A proposta deste estudo busca desenvolver práticas de gestão na cadeia de suprimentos para a criação de produtos circulares e considera a reciclagem local das embalagens de defensivos agrícolas, reduzindo a extração de recursos naturais e minimizando as emissões de gases de efeito estufa associadas ao transporte. Essa abordagem não apenas contribui para a preservação do meio ambiente, mas também pode otimizar os custos da cadeia de suprimentos e, potencialmente, gerar empregos regionais.

Embora o estudo inicial se concentre no segmento agrícola, identificando oportunidades específicas, há potencial para sua aplicação em diversos segmentos, setores e regiões. Acredita-se que a abordagem proposta possui alta capacidade de generalização, podendo estimular o empreendedorismo em pequenas e médias empresas locais.

A Figura 1 apresenta, de maneira esquemática, um resumo da introdução:

Figura 1 – Problema, Objetivo e Justificativa



Fonte: preparado pelo autor (2023)

2. Referencial teórico

Esta seção contém 4 tópicos, que apresentam as principais fontes teóricas para fundamentação da dissertação: conceito de EC, desenvolvimento de produtos circulares (DPC), CSC e cadeia de suprimentos de plásticos reciclados.

2.1. Economia circular (EC)

Segundo a Ellen MacArthur Foundation, o modelo tradicional de produção e consumo, com base em extrair, produzir e descartar, está atingindo seus limites físicos. O conceito da EC é uma alternativa para o crescimento econômico onde se incentiva a redução da utilização dos recursos finitos e a otimização dos resíduos gerados. Desta forma, o resíduo é reaproveitado ou reinserido nos sistemas produtivos baseando-se em três princípios: eliminar resíduos e poluição, manter produtos e materiais em uso e regenerar os sistemas naturais. Os resíduos não devem existir, mas devem ser entendidos como um recurso onde o material biológico pode ser recuperado por compostagem e os demais produtos devem ser projetados para que possam ser reutilizados, reconicionados, remanufaturados e reciclados (De Jong; Mellquist, 2021).

Conforme destacado por Moreno *et al.* (2016), a EC propicia um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo, preservando e aprimorando o capital natural. Essa abordagem busca otimizar os rendimentos dos recursos e minimizar os riscos do sistema, visando a eliminação de resíduos por meio de uma revisão apropriada de materiais, produtos, sistemas e modelos de negócios.

A EC desempenha um papel vital nas iniciativas globais para aprimorar a sustentabilidade, onde diversos setores da sociedade buscam adotar ações e práticas mais sustentáveis. Isso inclui a incorporação de conceitos como simbiose industrial, design criativo, remanufatura e produção mais limpa, visando a transição para sistemas de consumo e produção mais conscientes (Cestari *et al.*, 2021). É necessária uma transição significativa dos paradigmas tradicionais de produção e consumo para modelos de desenvolvimento criativos, sustentáveis e mais limpos, que sejam ecologicamente corretos e benéficos para o crescimento da sociedade. Nesse sentido, a EC pode ser considerada um fator crítico para alcançar a neutralidade climática, bem como uma economia justa e inclusiva (Abbate *et al.*, 2023).

A EC pode ser vista como uma forma de olhar os recursos de uma perspectiva prática, teórica e filosófica, com o objetivo final de dissociar o crescimento econômico do impacto ambiental negativo (De Jong; Mellquist, 2021).

A atual escala de produção na economia linear é considerada insustentável, conforme discutido por Tashkeel *et al.* (2021), o que reforça a importância da transição para a EC. Em sua essência, a EC envolve práticas e estratégias empresariais para reduzir a demanda por insumos de matéria-prima, destacando-se pela redução, reutilização e reciclagem de materiais nos processos produtivos. Assim, por meio de várias ações baseadas em princípios da EC é possível operar um ecossistema de ciclo fechado e estender o ciclo de vida de produtos, equipamentos e infraestrutura melhorando a utilização dos recursos, reduzindo o desperdício e o consumo de energia (León Albiter *et al.*, 2022).

Sob uma perspectiva estratégica, a disseminação do conceito não apenas amplia a visibilidade, mas também estabelece uma conexão com a sustentabilidade no desenvolvimento e produção de bens. Dessa forma, a propagação desse conceito não só tem o potencial de gerar mudanças operacionais positivas, mas também de impulsionar a criação de novas indústrias mais sustentáveis, além de atrair investimentos para promover a EC (Korhonen; Honkasalo; Seppälä, 2018).

Os princípios fundamentais que embasam o desenvolvimento de produtos na EC têm sido objeto de pesquisa há bastante tempo. Stahel (1982) propôs uma reavaliação do modelo tradicional de produção e consumo linear, que envolve extração, produção, uso e descarte. Sua

abordagem enfatiza a extensão do tempo de vida útil dos produtos e de seus componentes. Ao adotar estratégias industriais baseadas em uma EC, que inclui a reutilização, o acondicionamento e a reciclagem, é possível reduzir a geração de resíduos e a necessidade de extrair matérias-primas virgens, contribuindo assim para a preservação dos recursos naturais. Stahel (1982) propõe que o desenvolvimento de produtos possa ser orientado por múltiplos ciclos de criação e recuperação de valor, abrangendo tanto a reciclagem de matérias-primas quanto a reutilização de componentes e o acondicionamento do produto como um todo.

A intervenção governamental desempenha um papel crucial no impulsionamento da EC, incentivando os agentes econômicos a adotarem uma abordagem de ciclo de vida. Especificamente, a implementação de instrumentos políticos inovadores, como medidas fiscais e não fiscais (impostos e taxas ambientais, subsídios, incentivos, licenças e regulamentações, campanhas de conscientização, etc.), atua como catalisador para promover a circularidade na economia. Essas ações incentivam as empresas a eliminar resíduos ao longo de toda a cadeia de valor dos materiais, em contraposição às abordagens convencionais focadas no fim de vida dos produtos (Tashkeel *et al.*, 2021).

A EC foi impulsionada por diversas entidades governamentais e empresariais, inicialmente na União Europeia e posteriormente difundida globalmente. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) estabelece metas nacionais para a redução, reciclagem, controle e gestão de materiais descartados.

2.1.1. A necessidade de mudanças sistêmicas para implementação da EC

Segundo Stahel (1982), a adoção de processos em ciclos, com a recuperação de valor dos produtos, traz não apenas benefícios ambientais e financeiros, mas também benefícios sociais, como a criação de empregos regionais. Isso significa que a EC possui ações e respectivos efeitos que perpassam o ambiente interno das cadeias de suprimentos, e se apoiam em vários pontos de seu ecossistema. Essa ideia vai de encontro com De Jong e Mellquist (2021), que descrevem a EC como uma combinação de atividades de redução, reutilização e reciclagem, com definições que, em menor medida, incluem mudanças sistêmicas

Entre suas diversas definições, a EC é frequentemente associada às atividades de redução, reuso e reciclagem de produtos e suas respectivas matérias-primas (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017; Korhonen; Honkasalo; Seppälä, 2018; Geissdoerfer *et al.*, 2017; Tashkeel *et al.*, 2021). Segundo esses autores, a maioria dos trabalhos que define e apresenta implicações práticas sobre a EC considera que o principal objetivo dessa abordagem é alcançar prosperidade e reduzir o impacto ambiental. No entanto, concluem que a maior parte dos trabalhos se

concentra na melhoria do desempenho que a EC pode proporcionar sem uma visão holística, baseada nas três dimensões da sustentabilidade (social, ambiental e econômica).

Dessa forma, De Jong e Mellquist (2021) afirmam que a visão centrada na redução, reutilização e reciclagem, juntamente com conceitos como estreitar, abrandar e fechar os circuitos de materiais, bem como alcançar o desperdício zero, continua a ser uma parte crucial da EC. No entanto, ressaltam que um futuro verdadeiramente sustentável a longo prazo não será alcançado sem mudanças sociais sistêmicas. Essas mudanças devem abranger áreas como o comportamento dos consumidores, a política, a economia e as finanças.

O primeiro passo para criar uma EC do plástico é entender o real potencial de criação de valor dos resíduos plásticos. Uma abordagem de solução única não será adequada para este desafio complexo. Não se deve considerar a geração de energia como circular, pois ela destrói o material. No entanto, é preciso admitir que tal procedimento é melhor do que aterrar ou despejar no meio ambiente (Chidepatil; Cárdenas; Sankaran, 2022).

O custo da reciclagem é frequentemente menor em comparação com o aterro ou a incineração, tornando essas últimas opções mais rentáveis. Devido à baixa demanda por plásticos reciclados, há menos motivação para a EC dos plásticos. Superar esses desafios pode envolver a regulação da conversão de resíduos em energia e o aumento do custo do despejo (Khadke *et al.*, 2021). Reutilizar o plástico existente em novas cadeias produtivas é uma parte importante para quebrar essa tendência, reduzir o desperdício e garantir que o plástico esteja disponível como material no futuro (De Jong; Mellquist, 2021).

Conforme mencionado por Zhang *et al.* (2021), a maioria das empresas reconhece o valor no reaproveitamento dos resíduos. A adoção da EC fortalece a resiliência da cadeia, reduzindo sua vulnerabilidade. De acordo com o mesmo autor, a transição para a EC requer transformações na cadeia de suprimentos, possibilitando a recuperação de valor de produtos e materiais por diversos participantes, seja dentro do mesmo setor ou em setores distintos. Neste contexto, a logística reversa demanda que os parceiros da cadeia de suprimentos colaborem para reestruturar os fluxos de materiais e informações, promovendo a circularidade na cadeia.

Em última análise, enfrentar o desafio do aumento da demanda por polímeros reciclados requer informações confiáveis sobre a quantidade, qualidade, custo e sustentabilidade da matéria-prima (Khadke *et al.*, 2021). Resumidamente, há potencial para aumentar a eficiência dos recursos por meio da coleta e recirculação de resíduos de plástico de alta qualidade provenientes de produtores de produtos de plástico (De Jong; Mellquist, 2021).

Por isso a inserção desta temática em áreas como a de desenvolvimento de produtos é de grande relevância para explicar o funcionamento e os padrões de conhecimento gerados por

práticas guiadas por essa abordagem. O tópico a seguir apresenta contribuições sobre a EC no âmbito de desenvolvimento de produtos.

2.2. Desenvolvimento de produtos Circulares (DPC)

Produtos sustentáveis e circulares são concebidos para minimizar o impacto ambiental ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima até o descarte e logística reversa (Jabbour *et al.*, 2020). Nesse contexto, Moreno *et al.* (2016) destacam a importância do processo de desenvolvimento do produto, que desempenha um papel crucial na transição do tradicional modelo de 'extrair, produzir e descartar' para uma economia mais restauradora, regenerativa e circular. Para que uma Economia Circular (EC) prospere, é imperativo que os produtos sejam projetados para ciclos fechados, buscando alternativas para reduzir os danos ao meio ambiente e à sociedade em geral. Após a contribuição de Stahel (1982) sobre a possibilidade de ampliar os ciclos de vida dos convencionais produtos considerando o reuso, reparo, recondicionamento e reciclagem dos mesmos, a EC busca reconfigurar a forma como os produtos devem ser desenvolvidos.

De acordo com Mestre e Cooper (2017), a área de ecodesign contribuiu para o DPC, resgatando a abordagem "Life Cycle Design" da década de 1990. Essa abordagem defende o uso de práticas bastante similares às defendidas pela atual EC, que incluem o uso de matéria-prima de baixo impacto, a redução do uso de materiais, a otimização de técnicas de produção e sistemas de distribuição, a redução de impacto durante o uso e a otimização do tempo de vida do produto e também sugere a criação de novos conceitos para os produtos, visando ciclos mais longos e extensivos.

Kamp Albæk *et al.* (2020) e Diaz *et al.* (2021) destacam uma interligação significativa entre a EC, as práticas empresariais e os processos de desenvolvimento de produtos, visando torná-los mais circulares. A transição para a EC implica ajustes na estratégia empresarial, alinhando-se à natureza específica de cada ciclo de vida do produto e às demandas distintas de seus respectivos públicos-alvo. Por exemplo, estratégias para prolongar a duração do ciclo do produto demandam monitoramento contínuo do desempenho de cada fase, assim como estratégias de marketing voltadas para ampliar o conceito de valor e projetos de produtos que efetivamente suportem ciclos de vida mais extensos (Bocken *et al.*, 2016). Nessa perspectiva, o processo estratégico se aproxima da orientação para o mercado, buscando gerar soluções viáveis e conectadas aos problemas reais enfrentados por um determinado público-alvo (Vimal; Kandasamy; Gite, 2021).

Em 2017, mais de 90% dos plásticos produzidos globalmente eram derivados de material virgem feito com combustíveis fósseis, no entanto, a atual crise climática forçou um movimento necessário de afastamento do uso de combustíveis fósseis. Assim, para acompanhar a demanda atual de plásticos, é necessário encontrar uma maneira mais eficiente de utilizar os plásticos já em circulação (O'Rourke *et al.*, 2022). Soma-se a isso, o fato de que a emissão de carbono para produções de plástico virgem é muito maior em comparação com a emissão para processos de tratamento de resíduos plásticos (Chin *et al.*, 2022).

As propriedades que conferem aos plásticos uma incrível versatilidade também representam desafios significativos na transição para uma EC. Isso ocorre porque os polímeros são frequentemente misturados em diversas escalas, e existe uma grande diversidade de compostos sujeitos à degradação. Diante desse cenário, consideráveis esforços estão sendo dedicados a inúmeros projetos para aumentar as taxas de reciclagem de diversos plásticos, tanto após o fim de vida pós-industrial quanto pós-consumo. Essa busca tem impulsionado o desenvolvimento de novas tecnologias de triagem e refinamento, assim como avanços em tecnologias de reciclagem mecânica e química (Nimmegeers *et al.*, 2021).

As avaliações de impacto ambiental e econômico são considerações importantes em termos de EC, uma vez que quantificam diferentes abordagens para o processamento em fim de vida de resíduos de plástico (Jayawardane *et al.*, 2023). A fim de promover uma EC, soluções inovadoras de embalagem devem ser implementadas com uma perspectiva holística desde o início de seu processo de desenvolvimento e os fabricantes e varejistas devem procurar a sustentabilidade nas embalagens através de uma abordagem estratégica coletiva (Gasde *et al.*, 2020).

De acordo com Van Dam, Sleswijk Visser e Bakker (2021), o processo de DPC pode ser aprimorado com o uso da cocriação de valor. Contudo, essa estratégia exige esforços de integração interfuncional e também integração entre os membros da cadeia de suprimentos. A proposta fundamental é a integração das funções e entidades envolvidas nos processos de cocriação, garantindo que o valor adicionado não se perca ao longo dos diversos ciclos do DPC, seguindo a ideia de alcançar o máximo possível de ciclos.

Considerando a necessidade de criar múltiplos ciclos de uso de um produto na EC, Vimal, Kandasamy e Gite (2021) desenvolveram uma metodologia que permite avaliar a ocorrência das práticas de EC nas seguintes fases do ciclo de vida do produto: seleção de matéria-prima, manufatura, uso e descarte. Dessa forma, é possível avaliar e obter o índice geral de circularidade pelo cálculo das relações entre as variáveis e o respectivo nível das práticas em

cada uma das fases, como reuso, redução, reciclagem, recondicionamento, recuperação, reparo, remanufatura e responsabilidade.

O desenvolvimento estruturado de produtos (Diaz *et al.*, 2021) tem sido amplamente adotado e envolve a participação de vários stakeholders organizados em diferentes processos, demandando a aplicação de diversas formas de conhecimento, métodos e ferramentas, nem sempre disponíveis nas empresas. Sugere-se a aplicação dos seguintes conceitos:

- Reduzir / Refutar: Evitar completamente o uso de materiais, componentes ou produtos.
- Reduzir: Utilizar menos materiais, componentes ou produtos.
- Revender: Possibilitar a transação de produtos de um usuário para outro.
- Reparar: Realizar a manutenção para prolongar a vida útil de um produto.
- Recondicionar: Efetuar reparos parciais ou substituições que conduzam a uma atualização.
- Remanufaturar: Desmontar, limpar, reparar ou substituir parte da estrutura de um produto.
- Reutilizar: Adaptar produtos descartados a outra função em um novo ciclo de vida.
- Reciclar: Processar resíduos pós-consumo ou pós-produção para gerar novos materiais.
- Recuperar (energia): Capturar a energia incorporada nos resíduos.
- Repartir: Recuperar frações de materiais de produtos multicomponentes.

A avaliação da viabilidade do uso de resíduos de plástico reciclado como matéria-prima em aplicações industriais tornou-se uma das principais iniciativas na EC, sendo fundamental para minimizar o consumo de plástico virgem (Jayawardane *et al.*, 2023; Chin *et al.*, 2022). Esses autores destacam a importância de compreender as propriedades técnicas do plástico reciclado, uma vez que estas podem ser afetadas pelo grau de degradação do processamento múltiplo de fusão, contaminação de outros materiais durante a coleta de resíduos e fatores externos, como a radiação ultravioleta.

Uma compreensão aprimorada das características do material plástico e sua reciclabilidade é necessária para maximizar os benefícios ambientais. Além dos desafios técnicos e da viabilidade econômica, é crucial considerar o desempenho ambiental da reciclagem para apoiar a tomada de decisões na adequada gestão do plástico (Van Dam; Sleeswijk Visser; Bakker, 2021).

A manufatura aditiva, por exemplo, pode contribuir para estender a vida útil dos produtos, bem como para dar suporte aos diversos ciclos de vida utilizando materiais duráveis e com alto valor de reuso (Sauerwein *et al.*, 2019).

2.3. Cadeia de Suprimentos Curta (CSC)

O Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) estabelece que a gestão da cadeia de suprimentos (GCS) ou Supply Chain Management (SCM) engloba o planejamento e o gerenciamento de todas as atividades, envolvendo a aquisição, produção e logística. Inclui também a coordenação e a colaboração entre os parceiros da cadeia que vão desde fornecedores, intermediários e provedores de serviços até os clientes.

O conceito de GCS pode ser definido como o conjunto de processos que buscam alterar a localização do produto no tempo e no espaço. Isso ocorre juntamente com as informações, moldando e otimizando esses processos, por meio do desenvolvimento da integração entre várias organizações. Nesse contexto, constrói-se uma rede de relações comerciais associadas ao produto, pela qual os produtos se deslocam do local de produção para o de consumo (Raftowicz; Kalisiak-Mędelska; Struś, 2020; Engelseth, 2016; Solarz *et al.*, 2023).

Existem diversos tipos de cadeias de suprimentos, variando de acordo com as especificidades do produto ou da indústria. Esses tipos incluem cadeias de suprimentos flexíveis, enxutas, ágeis, frágeis e sensíveis, resilientes, verdes, equilibradas e FMCG (bens de consumo de movimento rápido). A diversidade desses tipos leva as empresas, eventualmente, a optarem por mais de um, buscando otimizar tempos e custos (Raftowicz; Kalisiak-Mędelska; Struś, 2020; Nakandala; Lau, 2019).

A estratégia da cadeia de suprimentos define as relações entre as organizações, adaptando-se à dinâmica do ambiente de negócios. Seu principal objetivo é alcançar a eficiência por meio de abordagens como a redução de custos, minimização de resíduos e otimização de recursos. Além disso, busca responder adequadamente às características da oferta e da demanda. Essa abordagem é crucial para atingir os objetivos estratégicos individuais de cada organização, conforme destacado por Nakandala e Lau (2019).

O conceito de demanda desempenha um papel fundamental na cadeia de suprimentos, pois a habilidade de antecipar e compreender a demanda é crucial para o bom funcionamento da organização. Isso envolve a definição da estrutura da cadeia necessária, sua flexibilidade, timing e forma de entrega, tudo com o objetivo de atender aos requisitos dos clientes em termos de qualidade de produto ou serviço ao menor custo possível (Solarz *et al.*, 2023). De acordo com Nakandala e Lau (2019), as estratégias para produtos funcionais, caracterizados por

estabilidade, baixa margem, e ciclos de vida longos, devem diferir consideravelmente das estratégias para produtos inovadores. Estes últimos, sendo dinâmicos, altamente lucrativos, com alta demanda, imprevisibilidade e ciclos de vida curtos, demandam estratégias de cadeia de suprimentos que se adaptem de maneira ágil às demandas do mercado.

Nos últimos vinte anos, a questão da sustentabilidade tornou-se fundamental na pesquisa sobre a GCS, onde a sustentabilidade desempenha um papel significativo em conexão com a demanda dos consumidores por qualidade. Isso impulsiona a criação de sistemas sustentáveis, a diversificação da produção e a contribuição para o desenvolvimento econômico local, abrindo caminho para um futuro sustentável e lucrativo diante dos desafios ambientais e sociais (Jarzębowski; Bourlakis; Bezat-Jarzębowska, 2020).

Conforme Mangla *et al.* (2020), embora a GCS tradicionalmente se concentre principalmente na eficiência, eficácia e custos, as crescentes pressões estão levando as organizações a recalibrar suas estratégias operacionais para incluir perspectivas de sustentabilidade ambiental e social. Hazen *et al.* (2021) afirmam que as iniciativas em direção à EC demandam a reconfiguração dos principais processos na cadeia de suprimentos, impactando padrões de produção e consumo. Essa transição requer a superação de barreiras tecnológicas, financeiras e institucionais, destacando os desafios associados à implementação efetiva de práticas sustentáveis.

Enquanto a logística na produção é predominantemente influenciada por soluções modernas que buscam economias de escala em relação às atividades de transporte e armazenamento, a crescente distribuição local em pequena escala direciona a atenção para o que caracteriza a economia de pequena escala na produção local e sua logística de abastecimento local. Isso envolve processos logísticos em rede relativamente curtas, incluindo múltiplos atores na cadeia de suprimentos (Engelseth, 2016; Ruzskai; Pajtkó Tari ; Patkós, 2021). Para Nakandala e Lau, (2019), as relações integradas da cadeia de suprimentos por meio de relacionamentos mútuos permitem um melhor atendimento ao cliente e um grau de conectividade que envolve uma interação direta entre consumidores e produtores, bem como intermediários locais adicionais, fazendo com que essas cadeias locais sejam chamadas de cadeias de suprimentos curtas (CSC).

Como características das CSC, tem-se a proximidade espacial, onde os produtos são produzidos e vendidos na região de produção específica, e os consumidores são conscientizados sobre a natureza local do produto no ponto de varejo. Isso cria uma relação de maior confiança entre o produtor e o consumidor (Tundys; Wiśniewski, 2020; Bokan; Orlic; Bagarić, 2023; Ruzskai; Pajtkó Tari ; Patkós, 2021). As CSC incorporam aspectos de proximidade geográfica,

espacial, econômica, organizacional, institucional e social. A proximidade leva a mudanças na forma como os mercados distribuem o valor, em oposição à lógica da produção em grande escala, e pode contribuir para o desenho de novas formas de associação social e governança de mercado (Gori; Castellini, 2023).

Uma CSC é caracterizada por um número restrito de operadores econômicos dedicados à colaboração, ao desenvolvimento econômico local e a relações geográficas e sociais estreitas entre produtores, transformadores e consumidores (Jarzębowski; Bourlakis; Bezat-Jarzębowska, 2020; Abbate *et al.*, 2023). O desenvolvimento de uma economia local possibilita a revalorização das tradições e da ligação com o território, criando uma mentalidade intrinsecamente ligada à sustentabilidade e ao crescimento de uma economia e sociedade sustentáveis (Abbate *et al.*, 2023). No entanto, é importante observar que tanto os estudos da literatura quanto as próprias observações levam à conclusão de que não existe uma definição única e universal de CSC, uma vez que são determinadas individualmente e levam em consideração a situação socioeconômica e política do país (ou região) e os objetivos esperados (Raftowicz; Kalisiak-Mędelska; Struś, 2020).

Os benefícios da adoção de uma CSC incluem a redução de resíduos, poluição e menor impacto ambiental, o desenvolvimento da economia local, o comércio de pequena escala, a logística eficaz e o impacto social, que abrange o desenvolvimento de redes sociais locais, resultando no aumento da confiança dos atores dentro da cadeia (Abbate *et al.*, 2023; Jarzębowski; Bourlakis; Bezat-Jarzębowska, 2020). Os resultados de pesquisas aprofundadas sobre as CSC levam à conclusão de que os motivos relacionados à implementação dos princípios do desenvolvimento sustentável são importantes e consideram o impacto das CSC nos aspectos sociais e ambientais (Raftowicz; Kalisiak-Mędelska; Struś, 2020). As CSC podem apoiar diretamente (por meio do transporte de curta distância) ou indiretamente (por meio do desenvolvimento de comunidades locais e outras iniciativas de sustentabilidade) a mitigação de gases do efeito estufa (Ruszkai; Pajtók Tari ; Patkós, 2021).

De acordo com Kiss, Ruszkai e Takács-György (2019), as CSC têm o potencial de apoiar o desenvolvimento local e regional, e essas cadeias podem contribuir para a sustentabilidade, considerando suas características particulares e de pequena escala, embora alguns aspectos considerados benéficos também sejam contestados por especialistas. A redução das emissões de carbono devido às curtas distâncias de transporte é um fator importante para avaliar o impacto ambiental das CSC.

De acordo com Pató e Kiss (2020), as CSC caracterizam-se pelo reduzido número de intermediários, pela proximidade física, pelas relações sociais e pela cooperação e

desenvolvimento econômico local. As CSC trazem algumas vantagens: econômicas, pela circulação do dinheiro na própria região e redução de custos de transporte; sociais, pela geração de empregos locais e proximidade com os clientes; e ambientais, pela redução do transporte (emissão de CO₂) e pela redução do espaço necessário para armazenagem (Pató; Kiss, 2020).

Para Zhang, Qing e Yu (2019), cujo foco são as cadeias curtas para a distribuição de alimentos, em termos de sustentabilidade econômica, as cadeias curtas podem apoiar o desenvolvimento local e regional e contribuir para a criação de empregos. Já a redução das emissões de carbono, decorrente das curtas distâncias de transporte, é um fato importante para avaliar o impacto ambiental. Por outro lado, é necessário avaliar o conceito, uma vez que "armadilhas" devem ser evitadas, e os sistemas locais não devem ser automaticamente declarados como "boas práticas" baseados apenas na proximidade.

As inovações sociais compreendem o desenvolvimento e a gestão de cadeias de suprimentos curtas locais, e essas inovações podem ser apoiadas por participantes institucionais, educação dos produtores, educação dos clientes, campanhas de marketing, infraestrutura de subsídios, apoio financeiro e definições legislativas (Ruszkai; Pajtkó Tari ; Patkós, 2021; Bokan; Orlic; Bagarić, 2023).

Poucos trabalhos na literatura consideram a aplicação do conceito de resiliência ao estudo da CSC, onde a estrutura descentralizada e não hierárquica parece ser um fator crucial na capacidade de adaptar-se às necessidades locais e às mudanças no ambiente, aumentando a resiliência da cadeia como um todo (Gori; Castellini, 2023).

No que diz respeito à dimensão da sustentabilidade social, a escolha de uma CSC pode ajudar a revitalizar as comunidades locais e potencializar o desenvolvimento da economia local (Abbate *et al.*, 2023).

Segundo Tundys e Wiśniewski (2020) e Jarzębowski, Bourlakis e Bezat-Jarzębowska (2020), as atividades do CSC são benéficas para todos os participantes em termos de aspectos ambientais, econômicos e sociais, apresentando os seguintes impactos:

- Ambiental: Existe um impacto significativo no meio ambiente ao longo do ciclo de vida do produto, incluindo transporte e operações logísticas. No entanto, é possível alcançar uma exploração mais responsável dos recursos naturais, resultando no aumento da eficiência energética, na redução de gases de efeito estufa e na diminuição da pegada de carbono.
- Econômico: A redução dos custos de transação entre os participantes das cadeias de suprimentos, por meio de uma melhor coordenação e encurtamento da mesma, leva ao aumento da receita para os produtores, redução da margem de comercialização e

preços mais justos e estáveis. Além disso, contribui para a redução da incerteza, do oportunismo e da falta de confiança entre os participantes das cadeias.

- Social: Pode-se alcançar a redução da desigualdade social e do fluxo de informações, criando relações baseadas em respeito e confiança que levam a um conceito mais amplo de capital social e comunidade. Como consequência, é possível introduzir práticas justas de emprego, cooperação com as comunidades locais, respeito e princípios de igualdade entre os funcionários.

O surgimento das CSC desencadeou polêmicas sobre as premissas e os potenciais efeitos de sua implementação. Apesar das opiniões predominantes indicarem a vantagem das cadeias de abastecimento curtas sobre as longas, essa forma de vendas ainda tem seus opositores e é tratada como uma solução de apoio. Um dos argumentos levantados é a possibilidade de custos desproporcionais devido à menor escala de produção (Raftowicz; Kalisiak-Mędelska; Struś, 2020).

De acordo com Tundys e Wiśniewski (2020), as CSC nem sempre oferecem benefícios, pois, em alguns casos, as ações não produzem os melhores resultados econômicos, sociais ou ambientais. Os resultados podem variar dependendo do tipo de produto, tipo de atividade, transporte utilizado, época, escala de produção e expectativas dos consumidores.

As CSC podem emergir com um pequeno investimento; no entanto, o acesso limitado à tecnologia e equipamentos cria a necessidade de um financiamento mais substancial para desenvolver inovações, sendo a falta de competências adequadas um sério desafio (Jarzębowski; Bourlakis; Bezat-Jarzębowska, 2020). Segundo os mesmos autores, no caso das CSC que se baseiam na cooperação, o desenvolvimento de produtos está intimamente relacionado não apenas ao tipo de produto, mas também à estrutura da cadeia e aos valores que as ligam aos participantes da cadeia, incluindo o consumidor.

Os trabalhos que fazem referência às CSC (Pató; Kiss, 2020; Zhang; Qing; Yu, 2019; Kiss; Ruskai; Takács-György, 2019; Jarzębowski; Bourlakis; Bezat-Jarzębowska, 2020; Abbate *et al.*, 2023; Engelseh, 2016; Ruskai; Pajtók Tari; Patkós, 2021; Raftowicz; Kalisiak-Mędelska; Struś, 2020) caracterizam-se pela redução das distâncias entre os produtores e os pontos de consumo final, concentrando-se principalmente na cadeia de distribuição de alimentos frescos.

Pode-se inferir, levando em conta as diversas perspectivas de vários autores, que o papel da Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS) ou Cadeias de Suprimentos Curtas (CSC) é

gerenciar todos os ciclos dos produtos para facilitar a introdução dos conceitos da EC e sustentabilidade, desde o desenvolvimento de novos produtos até a sua destinação final.

2.4. Cadeias de suprimentos de plásticos reciclados

Os materiais plásticos são amplamente utilizados em aplicações industriais e comerciais devido às suas propriedades técnicas, como durabilidade, resistência à corrosão, alta resistência, leveza e baixa manutenção, quando comparados aos componentes metálicos (Jayawardane *et al.*, 2023). Os plásticos tornaram-se uma parte inseparável e indispensável de nossas vidas, assumindo diversas formas e estilos. O uso de plástico tem crescido constantemente nas últimas décadas, sendo que cerca de metade do volume produzido é empregado em bens de consumo descartáveis, contribuindo substancialmente para o aumento no fluxo de resíduos sólidos (Mohammadhosseini *et al.*, 2021).

A poluição causada pelos resíduos plásticos representa uma ameaça persistente para as sociedades, independentemente do avanço global da tecnologia. Estima-se que aproximadamente 200 milhões de toneladas de plástico serão enviadas para aterros sanitários até 2025, com a quantidade esperada de resíduos plásticos nos oceanos aumentando para cerca de 150 mil toneladas até o mesmo ano (Chin *et al.*, 2022). Apesar de o plástico ser considerado um material notável em vários aspectos, muitas vezes é negligenciada a gestão adequada do plástico após seu uso pretendido (Khadke *et al.*, 2021).

Imaginar um mundo sem plásticos é quase impossível, entretanto, no último meio século, houve muitas mudanças radicais na superfície do planeta onde observa-se um excesso de lixo plástico. Como a produção, o consumo e a poluição causado por plásticos vêm aumentando rapidamente, é importante reciclar os plásticos para garantir a sustentabilidade pelo bem da sociedade (Khadke *et al.* 2021). Coletivamente, temos que admitir que não estamos prestando a devida atenção na gestão de resíduos plásticos quando ouvimos alguns relatos dizerem que, em 30 anos, os oceanos conterão mais plástico em volume do que peixes (Chidepatil; Cárdenas; Sankaran, 2022). Considerando os aspectos ambientais, uma enorme parcela dos resíduos plásticos está sendo depositada em aterros ou indo parar em ecossistemas marinhos e terrestres globalmente. Além da quantidade crescente de lixo plástico, a longa vida útil dos plásticos é problemática, assim como os efeitos causados pela crescente geração de micro plásticos e por aditivos tóxicos usados nos plásticos o que leva a efeitos adversos sobre o meio ambiente e sobre os seres humanos (Gasde *et al.* 2020). Consequentemente, os resíduos plásticos, sob qualquer forma, são vistos como uma grande ameaça ambiental (Mohammadhosseini *et al.* 2021).

No Brasil, a produção de produtos à base de plásticos atinge quase sete milhões de toneladas por ano, conforme dados do Preview 2022 da ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Segundo a WWF Brasil, o país ocupa a quarta posição no ranking dos maiores geradores de lixo plástico no mundo, com 11,3 milhões de toneladas, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia. Do total, mais de 10,3 milhões de toneladas foram coletadas (91%), mas apenas 145 mil toneladas (1,28%) são efetivamente recicladas.

Conforme destacado por Sanchez *et al.* (2020), as taxas de reciclagem no âmbito das embalagens plásticas globalmente alcançam aproximadamente 14%. Países em desenvolvimento industrializados, como Brasil, Índia e China, que possuem infraestrutura subdesenvolvida e um setor informal próspero, podem atingir taxas de reciclagem em torno de 20% (Olatayo; Mativenga; Marnewick, 2022). Com índices de reciclagem ainda relativamente baixos, surgem oportunidades para revisar os modelos de produção e distribuição, buscando a redução da extração de recursos e o reaproveitamento de materiais descartados. Isso ocorre mesmo diante dos preços atuais das matérias-primas que não refletem a escassez futura ou o impacto ambiental causado pela extração, além da falta de incentivos econômicos significativos para a conservação dos recursos primários (Gasde *et al.*, 2020).

Dado o aumento do uso de plásticos, especialmente em embalagens, e os requisitos cada vez mais rigorosos para a utilização de material reciclado em novos produtos, é crucial compreender a possibilidade de promover a reciclagem dos resíduos plásticos (Tocháček *et al.*, 2021). Schyns e Shaver (2021) ressaltam a importância da reciclagem do plástico e propõem o uso do processo de reciclagem mecânica, amplamente conhecido e com eficácia comprovada na estratégia de gestão de resíduos. No entanto, Castiglione e Alfieri (2020) apontam um desafio significativo relacionado aos centros de reciclagem, destacando que muitos não têm estruturas capazes de manter regularidade e resiliência em suas cadeias de suprimentos, devido ao foco das empresas em suas atividades principais, em detrimento da reciclagem.

De acordo com Cosenza, De Andrade e De Assunção (2020), o tema é de relevância no Brasil, uma vez que a produção nacional de plásticos continuará aumentando. A crescente pressão de ambientalistas e consumidores por medidas que evitem o descarte de plástico no meio ambiente está impulsionando as empresas do segmento industrial a adotarem processos e produtos mais sustentáveis, alinhados aos conceitos da EC. Além disso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) foi criada, estabelecendo uma meta nacional de redução, reciclagem, controle e gestão para materiais descartados.

Embora muitos dos materiais de embalagem, como o vidro e o papel, tenham um desempenho amplamente melhor na reciclagem de materiais e na EC, o sistema de reciclagem

de plástico pode ser descrito como menos desenvolvido (Olatayo; Mativenga; Marnewick, 2022). Ser potencialmente reciclável significa apenas que existe a possibilidade de reciclar; no entanto, se realmente o fazemos ou não depende de vários fatores (Chidepatil; Cárdenas; Sankaran, 2022). Existem três tipos de descarte de resíduos plásticos: reciclagem, incineração e descarte.

Os processos de reciclagem eram insignificantes em escala global até o final de 1987; no entanto, os índices de reciclagem alcançaram 19,7% de todo o lixo plástico no ano de 2015 (Khadke *et al.*, 2021). A incineração e a deposição em aterro são métodos tradicionais de eliminação da enorme quantidade de resíduos plásticos produzidos globalmente. Portanto, torna-se necessário um sistema de descarte confiável, onde novas matérias-primas são geradas através da via mecânica ou química na reciclagem, para fechar o ciclo ou serem utilizadas em outras indústrias (Mohammadhosseini *et al.*, 2021).

A gestão de resíduos plásticos é uma importante questão social em todo o mundo, e os métodos atuais de gestão de resíduos incluem a deposição em aterro, a transformação de resíduos em energia e as estratégias de reciclagem. Se mais plástico industrial pudesse ser reciclado para fabricar matéria-prima, a quantidade de aterro necessária para descartar resíduos plásticos poderia ser reduzida. A redução do aterro sanitário é um indicador de impacto social que afeta a comunidade local (Jayawardane *et al.*, 2023).

A reciclagem devolve ao produto o valor após o final de sua vida útil, podendo passar por vários níveis de processamento: reciclagem primária, que é a conversão de materiais residuais em produtos com propriedades equivalentes ou superiores; reciclagem secundária, que converte materiais residuais em produtos com qualidade inferior; reciclagem terciária, que consiste na separação estrutural de materiais em seus componentes originais; e a reciclagem quaternária, que é a recuperação da energia dos materiais (Ghisellini;Ulgiati, 2020; Van Fan *et al.*, 2022). Ainda, segundo Van Fan *et al.* (2022), os gases do efeito estufa provenientes dos resíduos plásticos que terminam em aterros sanitários são menores do que na incineração, uma vez que o carbono incorporado dificilmente é liberado ao longo do tempo devido às suas propriedades. Isso destaca a necessidade de avaliar outras pegadas ambientais, em vez de definir o desempenho ambiental apenas com base em questões de alterações climáticas, especialmente no caso do plástico.

Os plásticos, sob o ponto de vista da EC, podem ser classificados em três fluxos: recicláveis, não recicláveis e outros (complexos ou desconhecidos). Cerca de 40 a 48% dos plásticos produzidos anualmente não são recicláveis, 19 a 30% são potencialmente recicláveis, e aproximadamente 20 a 27% enquadram-se na categoria complexa ou desconhecida

(Chidepatil; Cárdenas; Sankaran, 2022). Para Chin *et al.* (2022), o principal obstáculo para a reciclagem de resíduos plásticos é a composição complexa dos fluxos de resíduos plásticos, que consiste em uma mistura complexa de vários polímeros. Um dos maiores desafios para a reciclagem de polímeros é a ampla gama de plásticos pós-consumo cuja reciclagem ainda não foi abordada. Os métodos de triagem e a tecnologia de reciclagem existentes, que permitem a reciclagem contínua dos polímeros mais comumente usados, não podem ser aplicados indistintamente a todos os tipos de plástico (Cestari *et al.*, 2021). A necessidade de separar diferentes fluxos de resíduos plásticos é a etapa mais trabalhosa e dispendiosa em qualquer processo de reciclagem de plásticos, sendo uma das principais barreiras ao aumento das taxas de reciclagem (O'Rourke *et al.*, 2022). Por essa razão, a reciclagem de resíduos plásticos é complexa e menos preferida em comparação com outros materiais, como alumínio, vidro, cerâmica e papel (León Albiter *et al.*, 2022).

De acordo com Schyns e Shaver (2021), a reciclagem de embalagens costuma ser mais economicamente viável do que outros setores do mercado de plástico, devido às altas taxas de resíduos coletados pós-consumo e também porque o reprocessamento de polímeros foi aprimorado com a inovação das tecnologias de extrusão (processamento mecânico). Entretanto, conforme destacado por Gasde *et al.* (2020) e León Albiter *et al.* (2022), os resíduos de embalagens pós-consumo constituem um fluxo de resíduos muito heterogêneo. Para recuperar material valioso após a coleta, é necessário classificar, limpar e processar o material a fim de obter um material que possa ser utilizado na produção de outros produtos.

Com o objetivo de alcançar a recuperação de materiais de alta pureza e taxas de reciclagem mais elevadas, a separação e a coleta confiáveis por tipo são requisitos absolutos para a maioria dos materiais recicláveis. Além disso, é crucial excluir contaminantes e substâncias nocivas dos ciclos de materiais para evitar riscos ao consumidor (Gasde *et al.*, 2020; Welle, 2023).

Conforme ressaltado por Chidepatil, Cárdenas e Sankaran (2022), existem resíduos plásticos de valor negativo compostos por materiais predominantemente utilizados em várias embalagens, tornando-os economicamente pouco atraentes para a reciclagem por meio de sistemas de processamento mecânico tradicionais, mesmo com subsídios. Esses resíduos plásticos de valor negativo acabam sendo incinerados, exportados para outros países ou enviados para aterros sanitários.

A reciclagem de plástico é um processo complexo em que várias atividades de processamento, conversão e recuperação ocorrem. O material residual passa por várias mudanças de propriedade ao longo da cadeia de valor antes de se tornar um novo produto para

o consumidor. Isso indica que o desenvolvimento da cadeia de valor do plástico não pode ser realizado em uma única etapa, processo ou por um único ator. Portanto, há a necessidade de uma abordagem mais abrangente e sistêmica para avaliar o sistema de reciclagem de plástico como um todo (Olatayo; Mativenga; Marnewick, 2022).

Apesar das restrições relacionadas à reciclagem usada para recuperação de energia, devido à possível geração de compostos orgânicos voláteis, fumaça (matéria particulada) e outros compostos potencialmente nocivos ao meio ambiente, é conhecido que o resíduo de plástico é uma fonte de energia significativa, graças ao seu alto valor calorífico (Kalargaris; Tian; Gu, 2017; Rentizelas; Shpakova; Mašek, 2018; Tocháček *et al.*, 2021).

2.4.1. Desafios legais e operacionais da reciclagem de plásticos

De acordo com De Oliveira, Luna e Campos (2019), a legislação brasileira não incentiva a reciclagem, uma vez que não isenta os produtos reciclados ou os resíduos de impostos, o que eleva o custo dos materiais reciclados e simultaneamente desencoraja sua utilização. No entanto, na perspectiva do uso racional de recursos e da geração de resíduos, quanto mais os resíduos são recuperados e reaproveitados, menor é a necessidade de extrair novos recursos para a produção de seus componentes.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) abrange as principais diretrizes de sustentabilidade, destacando-se, entre seus princípios e ferramentas, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto e pela logística reversa. Especificamente para plásticos provenientes de embalagens de defensivos agrícolas, a Lei Nº 7.802, de 11 de julho de 1989, e sua regulamentação pelo Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, estabelecem que os usuários de defensivos agrícolas devem devolver as embalagens vazias dos produtos aos estabelecimentos comerciais onde foram adquiridas. As empresas produtoras e comercializadoras de agrotóxicos, por sua vez, são responsáveis pela destinação das embalagens vazias dos produtos por elas fabricados e comercializados, após a devolução pelos usuários, com vistas à reutilização, reciclagem ou inutilização, obedecendo às normas e instruções dos órgãos competentes.

Segundo Welle (2023), o processo de limpeza de materiais e reciclagem deve ser conduzido de forma a evitar riscos ao consumidor, impedindo o uso futuro de materiais reciclados que possuam contaminantes químicos provenientes do primeiro uso ou de mau uso do material de embalagem.

De acordo com Olatayo, Mativenga e Marnewick (2022), tem-se oito condições para ter-se a eficiência do processo e cadeia de valor para a reciclagem de plásticos:

- Coordenação da cadeia de valor: As contribuições dos diferentes atores ao longo da cadeia de valor da reciclagem são cruciais para o sucesso do sistema, requerendo uma coordenação eficiente.
- Política e incentivos: Instrumentos políticos como regulamentos, descontos fiscais, subsídios e proibições são essenciais para estabelecer e manter um sistema de reciclagem de plástico com desempenho ótimo.
- Técnica e especialização: O uso de tecnologia e inovações eficazes, juntamente com habilidades e treinamento adequados da força de trabalho, é fundamental para o avanço do sistema de reciclagem de plástico.
- Valor de recuperação: A qualidade do material plástico reciclado é crucial para substituir efetivamente o plástico virgem, considerando que o ganho nominal do preço mais baixo do produto reciclado por si só pode não ser suficiente.
- Infraestrutura: A infraestrutura, abrangendo a instalação, capacidade e capacidade para coleta, transporte, separação, triagem e descarte de resíduos plásticos, contribui significativamente para o desempenho do sistema de reciclagem.
- Conscientização: O grau de compreensão e conhecimento sobre reciclagem e gestão de resíduos, juntamente com a influência do comportamento humano, resíduos, saúde e meio ambiente, afeta as decisões e esforços dos consumidores em garantir a disponibilidade de seus resíduos plásticos para reciclagem.
- Demanda: A ingestão ou compra da fração de resíduos plásticos triados, granulados produzidos ou do produto plástico reciclado é crucial em toda a cadeia de valor, impactando a segurança dos compradores de plásticos reciclados ou resíduos plásticos separados.
- Escala de geração de resíduos: A quantidade de resíduos plásticos gerados diariamente, mensalmente ou anualmente por famílias e outros usuários finais influencia na segurança do fornecimento de uma quantidade suficiente de resíduos plásticos para coleta, triagem e eventual reciclagem.

Os custos associados aos plásticos reciclados competem com os custos dos plásticos virgens. Investir na melhoria das tecnologias de reciclagem, tanto mecânicas quanto químicas, é crucial para garantir a produção de materiais reciclados de alta qualidade. Essa aprimoração é essencial para tornar os materiais reciclados economicamente competitivos em relação aos materiais virgens, conforme destacado por Gasde *et al.* (2020).

A eficiência da reciclagem de plástico aumenta com o aumento da conscientização em relação à qualidade do plástico reciclado por parte dos fabricantes. Quando os preços das matérias-primas atingem um ponto em que a produção de matéria-prima de plástico virgem não é mais economicamente rentável, os fabricantes tendem a adotar o uso de plásticos reciclados (Khadke *et al.*, 2021).

No entanto, a suposição de que o material reciclado não tem impactos ambientais nem sempre é verdadeira. É crucial compreender o real impacto causado pela reciclagem, pois, embora possa ser lucrativa, pode resultar em um impacto ambiental maior do que a produção de material virgem, por causa de transporte em longas distâncias, por exemplo. Isso cria uma lacuna para o surgimento de negócios insustentáveis (Van Fan *et al.*, 2022).

A logística reversa desempenha um papel essencial ao possibilitar a reintegração dos resíduos em um novo ciclo econômico onde o objetivo é evitar o descarte incorreto, maximizar a reciclagem e reduzir o depósito de resíduos urbanos em aterros sanitários (Cosenza; De Andrade; De Assunção, 2020). A logística reversa desempenha um papel fundamental na implementação da EC, conforme desenvolvido por De Oliveira, Luna e Campos (2019). Eles introduzem o conceito de cadeia de suprimentos circular sustentável, que abrange vários ciclos de retorno de materiais, incluindo reutilização, reparo, condicionamento, remanufatura e reciclagem. Essa abordagem se integra à GCS como um sistema colaborativo expandido para parceiros, consumidores, governos e todos os demais integrantes.

Os estudos sobre logística reversa de plásticos buscam otimizar o transporte para a coleta de resíduos gerados na cadeia de suprimentos agrícola, com o objetivo de promover a reciclagem (Mayanti; Helo, 2022; Barcelos *et al.*, 2021). Acredita-se que o conceito de Cadeias de Suprimentos Curtas (CSC) pode ser avaliado e estendido à logística reversa, reciclagem e produção local de produtos. A colaboração entre os atores envolvidos na cadeia de valor do plástico é imperativa para aprimorar a coleta seletiva de resíduos, garantir elevados padrões de qualidade para a indústria de reciclagem e desenvolver um mercado eficiente de plásticos reciclados (Foschi; Bonoli, 2019). Essa colaboração proporciona às empresas a oportunidade de formar alianças estratégicas, compartilhar informações e/ou reduzir custos, visando a melhoria do desempenho e a obtenção de vantagem competitiva nesse contexto sustentável.

Conforme destacado por Yogesh, D., Yogesh P. e Borade (2019), a GCS é identificada como uma das principais áreas para melhorar a eficácia das indústrias de processamento de plástico. A colaboração entre diferentes empresas emerge como uma abordagem essencial para alcançar a sustentabilidade econômica e social nesse contexto. Os resíduos plásticos são considerados recursos que podem ser tratados de maneira mais eficiente, e a promoção de

indústrias formais de reciclagem não apenas contribui para a gestão adequada desses resíduos, mas também estimula a criação de empregos.

Diversos impulsionadores, conforme identificados por Olatayo, Mativenga e Marnewick (2022), contribuem para o avanço nessa direção. Entre eles estão incentivos fiscais, subsídios à reciclagem, apoio à pesquisa e desenvolvimento, subsídios à produção, regulamentações sobre o uso de sacolas plásticas, programas de pagamento ao usuário, coleta seletiva, educação, conscientização pública, cooperação público-privada, suporte financeiro governamental, considerações econômicas domésticas, segregação eficaz, boa administração, disponibilidade de mão de obra qualificada, planejamento eficiente, mercados locais favoráveis, acesso a terras e adoção de tecnologia apropriada. Esses fatores destacam a complexidade e a interconexão de diversos elementos que influenciam o sucesso na gestão sustentável dos resíduos plásticos.

Finalmente, alcançar o cenário ideal, no qual o processo de descarte e incineração é interrompido e um sistema de reciclagem ideal é regulamentado, pode representar uma meta desafiadora devido a diversas barreiras e obstáculos. Segundo Khadke *et al.* (2021), considerando a tendência atual, estima-se que seriam necessários 60 anos para atingir esse estágio.

3. Metodologia

Esta pesquisa se baseia em um estudo de caso na cadeia de suprimentos que envolve embalagens plásticas provenientes do uso de defensivos agrícolas nas regiões do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro, em Minas Gerais. Segundo dados do INPEV (2022), o estado de Minas Gerais representa 6% do volume anual de embalagens plásticas de defensivos agrícolas destinadas à reciclagem no Brasil, abrigando 6 unidades de centrais de recebimento desse tipo de material (10% do total). Essas unidades estão localizadas em Montes Claros, Patrocínio, Pouso Alegre, São Joaquim de Bicas, São Sebastião do Paraíso e Uberaba.

O objeto de estudo deste trabalho é analisar o conceito de Suprimentos Curta (CSC) no contexto da reciclagem de embalagens plásticas, priorizando a otimização de transporte, armazenagem e o desenvolvimento de produtos para o consumo local. Um projeto de cadeia curta nesse contexto poderia produzir itens de uso frequente e local, visando reduzir ao máximo o transporte tanto das embalagens vazias (ou matéria-prima a ser reciclada) quanto dos produtos resultantes do material reciclado.

A seguir, serão apresentados os procedimentos delineados para alcançar os objetivos propostos neste estudo.

3.1. Metodologia dos estudos de caso

Neste estudo de caso, em conformidade com a metodologia de Yin (2015) e alinhado aos objetivos da pesquisa, foram realizadas entrevistas abertas com diversos participantes de uma cadeia de suprimentos de defensivos agrícolas na região do Triângulo Mineiro. O propósito foi compreender as dinâmicas da cadeia de suprimentos, os processos de logística reversa e reciclagem das embalagens plásticas usadas de defensivos agrícolas, bem como investigar a viabilidade da reciclagem e desenvolvimento de produtos circulares na região.

3.2. Coleta de dados

A estratégia principal para a coleta de dados nos estudos de caso foi a realização de entrevistas em profundidade, utilizando um conjunto de perguntas previamente definidas. Através de uma revisão de literatura, foram elaboradas perguntas abertas para guiar as entrevistas, abordando inicialmente os seguintes construtos:

- a) Características das cadeias de suprimentos para a reciclagem de embalagens plásticas e os impactos relacionados à proximidade do uso de reciclados junto ao local de consumo final (Yogesh, D.; Yogesh P.; Borade, 2019; Nakandala e Lau, 2019; Hazen *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2021; Mayant; Helo., 2022);
- b) Verificação das condições da cadeia de suprimentos de reciclados em relação a: coordenação da cadeia de valor, políticas e incentivos, técnica e especialização, valor de recuperação, infraestrutura, conscientização, demanda e escala de geração de resíduos (Olatayo; Mativenga; Marnewick, 2022);
- c) Características dos produtos a serem reciclados, o processo de desenvolvimento de produtos circulares e a interação entre os atores da GCS (Stahel, 1982; Sauerwein *et al.*, 2017; Halstenberg; Lindow; Stark, 2019; Van Dam; Sleswijk Visser; Bakker, 2021; Diaz *et al.*, 2021).

Os entrevistados, representantes das empresas objeto da pesquisa, estavam vinculados a departamentos ou setores relacionados à cadeia de suprimentos e/ou aos processos de desenvolvimento de produtos. Os critérios para a seleção de entrevistados com foco na cadeia de suprimentos de defensivos agrícolas foram os seguintes: 1) a empresa, organização ou consumidor de defensivos agrícolas deve participar de um sistema formal de logística reversa; 2) deve pertencer à zona ou região de estudo, com exceção da indústria; 3) deve possuir um histórico de pelo menos um ano neste sistema de logística reversa; 4) a empresa ou cadeia de

suprimentos deve demonstrar esforços no desenvolvimento de novos produtos com características conceituais alinhadas aos princípios da EC. O Quadro 1 apresenta os detalhes dos entrevistados, sendo que os nomes e as empresas foram preservados para garantir confidencialidade.

As entrevistas foram realizadas ao longo dos meses de julho a outubro de 2023. Cada entrevista teve uma duração média de aproximadamente 45 minutos, sendo registrada em áudio com a devida autorização dos participantes. As entrevistas foram conduzidas até a observação da saturação dos elementos encontrados no conteúdo das entrevistas (Bauer; Gaskell, 2002).

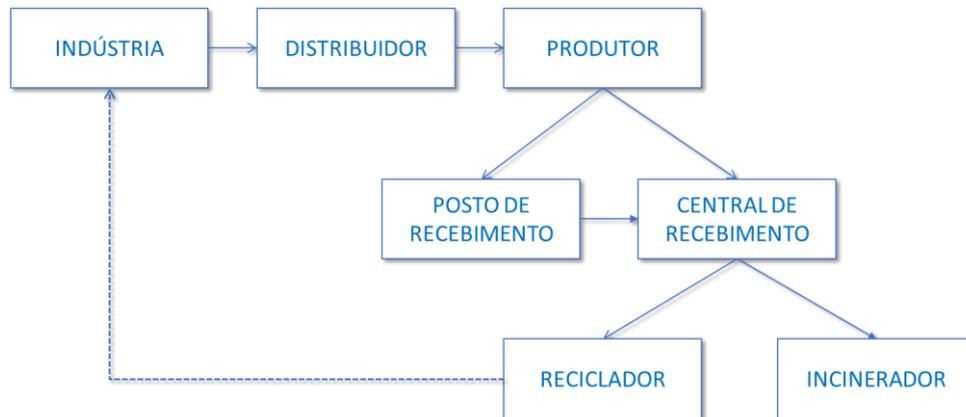
Quadro 1 - Lista de entrevistados

ENTREVISTADO	ELO NA CADEIA	TIPO DE EMPRESA	CARGO
1	Posto de recebimento	Associação	Presidente executivo
2	Coordenação	Instituto	Destinação final e desenvolvimento tecnológico
3	Distribuidor	Distribuidor	Sócio proprietário
4	Coordenação	Instituto	Gestão das embalagens vazias dos agrotóxicos
5	Indústria	Indústria	Desenvolvimento de embalagens
6	Distribuidor	Distribuidor	Sócio proprietário
7	Central de recebimento	Associação	Gestor da unidade de recebimento de embalagens
8	Reciclador	Reciclador	Coordenador de projetos & gerente de engenharia
9	Reciclador	Reciclador	Sócio proprietário
10	Posto de Recebimento	Cooperativa	Analista ambiental
11	Produtor	Produtor	Gerente agrícola
12	Central de recebimento	Instituto	Supervisor da central
13	Posto de recebimento	Associação	Técnico agrícola
14	Produtor	Produtor	Analista ambiental

Fonte: preparado pelo autor (2023)

Na Figura 2, estão representados os atores envolvidos na pesquisa, ilustrando o trajeto das embalagens plásticas de defensivos agrícolas desde a sua produção pelas indústrias até o consumo pelos produtores rurais, geralmente intermediado pelo canal distribuidor. Após o uso, os produtores realizam o armazenamento e transporte das embalagens vazias até um posto ou central de recebimento, e destas, as embalagens seguem para centrais de recebimento antes de serem encaminhadas para a destinação final, que pode ser a reciclagem ou, em uma escala menor, a incineração.

Figura 2- Fluxo das embalagens de defensivos agrícolas



Fonte: preparado pelo autor (2023)

Além da realização de entrevistas em profundidade, a coleta de dados foi expandida por meio da análise de relatórios corporativos do INPEV - Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias - disponíveis nos sites das empresas. Essa técnica, complementar à abordagem de entrevistas em profundidade, foi aplicada como uma estratégia de triangulação, buscando validar e aprimorar os dados obtidos durante as entrevistas (Vergara, 2005).

Estes dados permitiram analisar as características da cadeia de suprimentos voltadas para a reciclagem de embalagens plásticas de defensivos agrícolas, com ênfase na viabilidade do uso de materiais reciclados para o consumo local. Adicionalmente, buscou-se avaliar as condições da cadeia de suprimentos de reciclados, abordando aspectos como coordenação da cadeia de valor, políticas e incentivos, técnica e especialização, valor de recuperação, infraestrutura, conscientização, demanda e escala de geração de resíduos (Olatayo; Mativenga; Marnewick, 2022).

3.3. Análise de dados

Para a análise de dados, foi adotada a técnica de análise de conteúdo. Conforme Bauer e Gaskell (2002), a análise de conteúdo envolve o estudo de transcrições textuais de dados, visando comparar, observar diferenças e categorizar fatores presentes no texto por meio do processamento da informação (Quadro 2). Esse processamento proporciona a identificação objetiva e sistemática de características específicas.

A estruturação do texto seguiu a abordagem de separação de frases, vinculando-as às unidades de registro (códigos) identificadas por sua representação semântica. Após a identificação dessas unidades, o significado específico de cada elemento foi compilado em quadros, considerando as respostas individuais de cada entrevistado. Cada unidade de registro

foi quantificada em relação à sua frequência de menção nas entrevistas, proporcionando uma visão da popularidade do conceito entre os participantes. Esse método possibilitou uma análise aprofundada das percepções e tendências nos dados coletados.

Quadro 2 - Etapas da análise de conteúdo realizada na pesquisa

PROCEDIMENTO	DESCRIÇÃO
Transcrição das entrevistas	As entrevistas em profundidade foram registradas em áudio e posteriormente transcritas, visando facilitar a análise textual e extrair trechos essenciais do discurso para a elaboração da análise.
Análise inicial das transcrições	Uma leitura rápida foi realizada, com identificação prévia de possíveis categorias, fundamentada na teoria apresentada no referencial teórico.
Análise aprofundada	A leitura sistemática das transcrições foi conduzida com a orientação da separação de frases no texto, relacionando-as com unidades de registro (códigos) definidas por sua representação semântica. Além da análise do texto escrito, o áudio de todas as entrevistas foi examinado para garantir a identificação segura de expressões audíveis que poderiam alterar o contexto ou sentido semântico das frases.
Descrição das unidades de registro	Após identificar as unidades de registro (códigos), o significado específico de cada um desses elementos foi organizado em quadros, levando em consideração as respostas de cada entrevistado, e posteriormente, foi analisado em profundidade.
Categorização	As unidades de registro (códigos) foram agrupadas em categorias.
Quantificação das unidades de registro	Em uma tabela geral e várias tabelas individuais, uma exposição dos códigos e suas frequências de menção pelos entrevistados foi realizada, classificando-os em suas respectivas categorias de análise. Assim, cada unidade de registro foi quantificada em relação a quantas vezes foi mencionada nas entrevistas, proporcionando a percepção da popularidade do conceito entre os entrevistados. Para garantir a precisão desse processo e manter esse registro no corpus da pesquisa, as unidades de análise foram digitadas e somadas em uma planilha eletrônica.

Fonte: Adaptado de Bauer e Gaskell (2002) e Bardin (2008) – preparado pelo autor (2023)

Quadro 3 - Categorias e seus Códigos

Cadeia de Suprimentos Curta (CSC)	Desenvolvimento de Produtos Circulares (DPC)	Escala de recuperação / Processo Operacional de Transformação	Legislação, Políticas e Incentivos	Geração de Valor
a. Controle de documentação b. Logística Reversa c. Processos da cadeia d. Recuperação e produção local e. Sustentabilidade (social, ambiental e econômico)	a. Desenvolvimento da Embalagem b. Mercado secundário c. Reuso de embalagens d. Viabilidade técnica	a. Coordenação e gestão da cadeia b. Eficácia e Escala de recuperação c. Ineficiência dos processos d. Integração da informação e. Recursos-Chave	a. Atores e Representatividade da cadeia b. Conscientização da cadeia c. Fiscalização d. Incentivos e. Legislação vigente f. Responsabilidade estendida sobre a embalagem	a. Custo da operação b. Plano de negócios c. Viabilidade econômica

Fonte: preparado pelo autor (2023)

Os dados transcritos das entrevistas foram categorizados em 23 códigos distintos, distribuídos em 5 categorias, conforme apresentado no Quadro 3. O processo de codificação foi

submetido a uma análise e validação realizadas por duas pessoas independentes. Essas categorias foram criadas para facilitar a compreensão e interpretação dos dados, destacando a diversidade e os padrões emergentes identificados durante a análise. Esse processo sistemático proporcionou uma base sólida para a análise e discussão dos resultados obtidos na pesquisa.

3.4. Análise da qualidade dos dados

A determinação do número de entrevistados, que totalizou 14, foi estabelecida mediante a observação da saturação da frequência dos códigos. Cada código foi mencionado por pelo menos 4 entrevistados, conforme Quadro 4, indicando uma saturação de 100% dos códigos e possibilitando a conclusão das entrevistas. Esse critério assegurou que as informações obtidas fossem abrangentes, capturando uma variedade significativa de perspectivas e garantindo a representatividade dos temas abordados na pesquisa. A saturação dos códigos indicou que a coleta de dados alcançou um estágio de redundância, sinalizando que novas entrevistas não contribuiriam de maneira significativa para os resultados.

Em complemento à análise de conteúdo clássica, foi conduzida uma análise de natureza sintática com o auxílio do software IRAMUTEQ para validar a categorização dos dados.

Os resultados incluem gráficos da Classificação Hierárquica Descendente (CHD) e uma análise fatorial de correspondência (AFC), derivada da CHD. Essas funcionalidades adicionais do IRAMUTEQ desempenharam um papel significativo, proporcionando uma compreensão mais aprofundada e visual dos padrões e tendências presentes nos dados coletados durante a pesquisa.

O software de análise qualitativa IRAMUTEQ, contribuiu para respaldar a categorização e codificação dos dados. Essa abordagem permitiu uma compreensão mais aprofundada e visual dos padrões e tendências presentes nos dados coletados durante a pesquisa.

O IRAMUTEQ possibilita a realização de análises estatísticas em corpus textuais e tabelas de indivíduos ou palavras, incluindo a geração da Classificação Hierárquica Descendente (CHD) conforme o método descrito por Reinert (1987 e 1990). Por meio de repetidos testes do tipo qui-quadrado (X^2) em matrizes que cruzam segmentos de textos e palavras, os segmentos são classificados de acordo com os vocabulários ou palavras, e o conjunto destes é distribuído com base na frequência das formas reduzidas. O resultado é apresentado em um dendrograma, ilustrando as relações entre as classes.

De acordo com Idoiaga *et al.* (2020), o método Reinert usando o IRAMUTEQ elimina problemas de confiabilidade e validade na análise de textos. O método produz uma análise

hierárquica descendente e fornece uma série de classes estatísticas na forma de palavras típicas e segmentos de texto típicos.

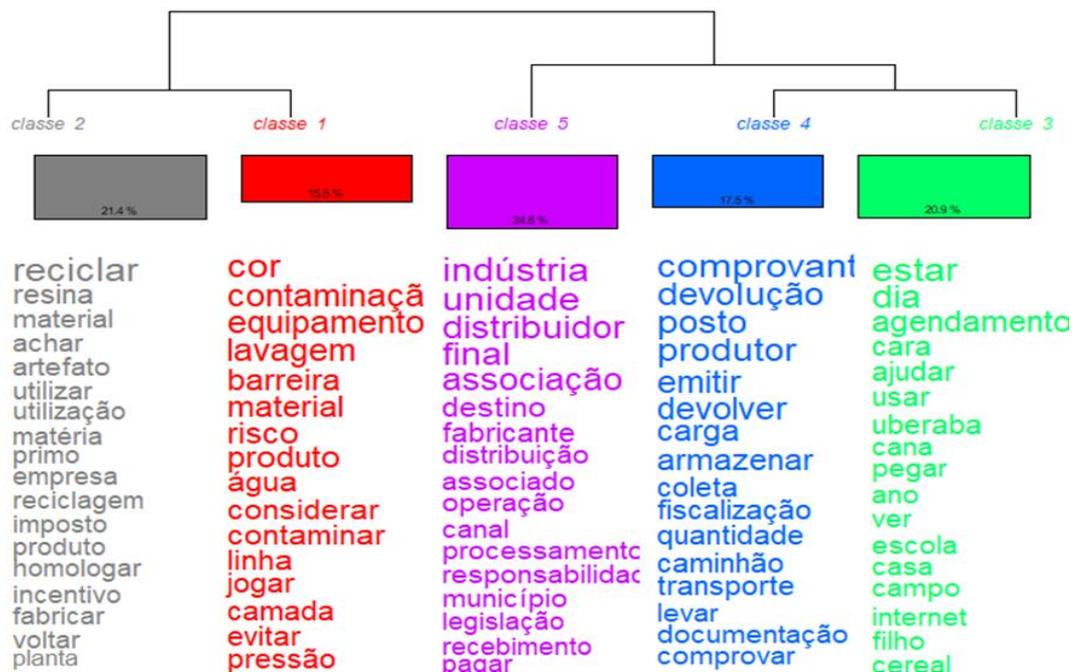
Quadro 4 - Frequência de códigos por entrevistado

CÓDIGO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	TT
Atores e Representatividade	1	1		1	1		1	1	1			1			8
Conscientização da cadeia	1	1	1	1		1	1			1	1	1	1		10
Controle de documentação	1	1		1		1	1			1	1	1	1	1	10
Coordenação e gestão da cadeia	1	1	1	1		1	1		1	1		1			9
Custo da operação	1	1			1	1	1			1		1	1	1	9
Desenvolvimento da Embalagem		1		1	1			1							4
Eficácia e Escala de recuperação	1	1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	12
Fiscalização						1	1			1	1	1	1	1	7
Incentivos		1	1			1		1							4
Ineficiência dos processos	1	1	1	1	1	1		1				1	1		9
Integração da informação	1						1			1		1	1	1	6
Legislação vigente	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	12
Logística Reversa	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
Mercado secundário					1	1	1	1	1		1	1			7
Plano de negócios		1	1	1	1	1		1							6
Processos da cadeia	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	12
Recuperação e produção local	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	13
Recursos-chave	1	1	1	1		1	1	1	1			1	1	1	11
Responsabilidade estendida sobre a embalagem	1					1	1	1							4
Reuso de embalagens		1	1	1	1		1	1				1		1	8
Sustentabilidade			1	1			1	1					1	1	6
Viabilidade econômica	1	1	1	1		1	1	1	1				1		9
Viabilidade técnica		1	1		1			1	1						5
Total Geral	15	18	13	16	13	16	18	17	8	11	7	16	14	12	194

Fonte: preparado pelo autor (2023)

A Figura 3 revela dois blocos de destaque: o primeiro, composto pelas classes 1 e 2, abrange coletivamente 36,95% dos segmentos e está diretamente vinculado ao produto e sua reciclabilidade. Enquanto isso, o segundo bloco é constituído pelas demais classes, 3, 4 e 5, totalizando 63,05% dos segmentos e está associado aos processos, leis e valor.

Figura 3 - Classificação Hierárquica Descendente



Fonte: criado pelo autor com IRAMUTEQ (2023)

A análise do corpus pelo IRAMUTEQ resultou em 1775 segmentos, dos quais 1681 (94,70%) foram agrupados em 5 classes distintas:

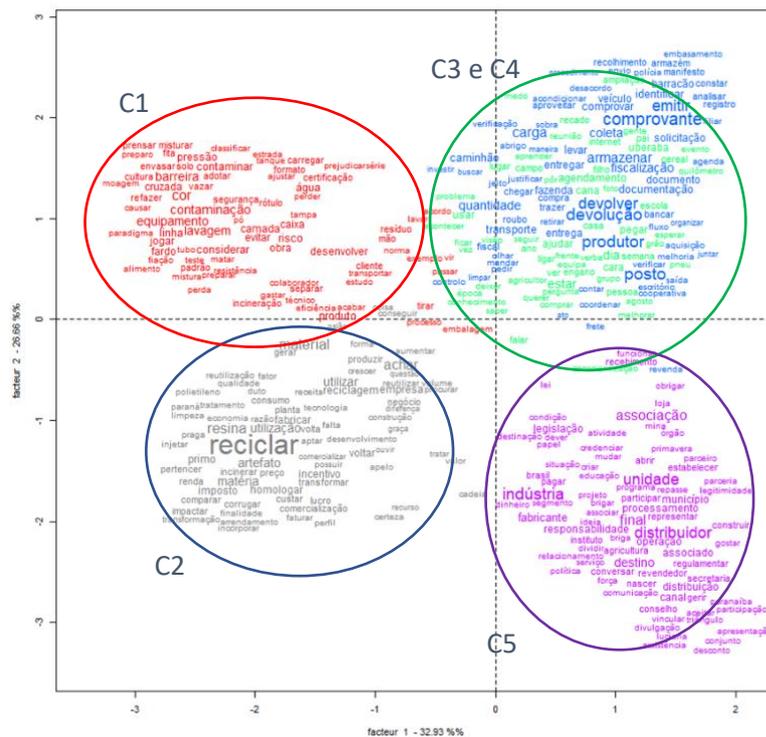
- Classe 1 (15,53% do total de segmentos - ST): Aborda as características dos produtos e sua reciclabilidade, destacando termos como "cor" (X^2 69,86), "contaminação" (X^2 58,47), "material" (X^2 47,33) e "produto" (X^2 45,97). Esses elementos estão relacionados ao desenvolvimento de produtos circulares, associados à categoria DPC.
- Classe 2 (21,42% ST): Refere-se ao processo de logística reversa e reciclagem de embalagens plásticas. Termos notáveis incluem "reciclar" (X^2 231,89), "utilizar e utilização" (X^2 56,06 e X^2 51,80) e "fabricar" (X^2 34,34), indicando a cadeia para reciclagem e transformação do material em novos produtos, possivelmente estendendo-se à categoria "CSC".
- Classes 3 e 4 (20,94% e 17,49% ST, respectivamente): Relacionam-se às estruturas e processos executados pelos atores da cadeia no que diz respeito à coleta e reciclagem de embalagens plásticas. Termos como "cara (valor)" (X^2 33,16) na classe 3, e "devolução" (X^2 101,98), "posto" (X^2 98,40), "devolver" (X^2 87,91) e

"armazenar" (X^2 73,28) na classe 4, conectam-se às categorias de Escala de recuperação / Processo Operacional de Transformação e Geração de Valor.

- Classe 5 (24,63% ST): Relaciona-se à legislação e seu impacto na definição das responsabilidades dos atores da cadeia. Termos como "indústria" (X^2 96,55), "distribuidor" (X^2 56,06 e X^2 51,80) e "responsabilidade" (X^2 30,93) indicam uma relação com a categoria Legislação, Políticas e Incentivos.

A Figura 4, que representa a análise fatorial de correspondência (IRAMUTEQ), valida a divisão dos blocos previamente mencionada com base nas classes (Cn = classe). Os blocos confirmam as categorias definidas: o Bloco 1 corresponde ao DPC; o Bloco 2 reflete a CSC; os Blocos 3 e 4 estão associados à Escala de recuperação / Processo Operacional de Transformação; e o Bloco 5 representa a Legislação, Políticas e Incentivos.

Figura 4 - AFC dos termos



Fonte: criado pelo autor com IRAMUTEQ (2023)

4. Resultados

A análise dos dados, considerando os pontos relevantes destacados nas entrevistas, resultou nos seguintes resultados para cada uma das categorias identificadas, juntamente com seus respectivos códigos (Figura 5):

Figura 5 - Categorias e códigos



Fonte: preparado pelo autor (2023)

4.1. Cadeia de Suprimentos Curta (CSC)

No contexto das embalagens plásticas usadas, uma cadeia de suprimentos curta (CSC) implica na adoção da reciclagem próxima ao local de geração dos resíduos (embalagens usadas), com o objetivo de produzir matéria-prima e produtos circulares para consumo local. Essa abordagem, devido à proximidade entre os atores da cadeia, não apenas aprimora a sustentabilidade ao reduzir a emissão de gases poluentes no meio ambiente pela diminuição do transporte, mas também contribui para a redução dos custos associados à logística (transporte e armazenagem). Além disso, ela promove um impacto social positivo ao possibilitar a criação de empregos e o desenvolvimento de novos negócios na comunidade local.

Esta categoria aborda os procedimentos e responsabilidades relacionados à logística reversa das embalagens plásticas utilizadas em defensivos agrícolas, destacando os processos e controles implementados para otimizar os volumes coletados para reciclagem e garantir uma destinação adequada de forma eficaz, com foco na sustentabilidade.

Logística Reversa: A gestão do transporte das embalagens vazias de defensivos agrícolas implica em uma responsabilidade compartilhada entre os diversos participantes da cadeia. O produtor, que utiliza os defensivos, é encarregado de transportar as embalagens até o ponto de entrega mais próximo, que pode ser um posto ou uma central de recebimento e tipicamente esse transporte apresenta ineficiências devido à relação entre o volume e o peso das

embalagens. Os postos de recebimento, mantidos por associações de distribuidores, recolhem o material e encaminham para as centrais de recebimento. Apesar dos esforços para otimizar o preenchimento dos veículos, a relação entre o volume e o peso ainda compromete a eficiência do transporte nessa fase. Das centrais de recebimento até os locais de reciclagem ou incineração, observa-se um melhor aproveitamento dos veículos uma vez que as embalagens são manipuladas (compactadas por prensas) para aumentar a eficiência do transporte e o custo atrelado à esta operação é assumido pelas indústrias.

A logística é toda da Fazenda, é toda a responsabilidade nossa, desde o momento que a embalagem sai daqui da empresa até chegar lá (na central do INPEV). Com relação ao veículo, tenta-se aproveitar ao máximo a capacidade para fazer a devolução das embalagens porque é um custo caro para o produtor (PRODUTOR - Entrevistado 14)

O custo da logística reversa é otimizado através do operador logístico que leva as embalagens cheias. Esse operador logístico tem um acordo com o INPEV, que é chamado de frete de retorno. Quem paga esse frete, quem paga a logística, quem paga é a indústria fabricante dos defensivos agrícolas. Por uma questão legal, elas são obrigadas a fazer isso (COORDENAÇÃO - Entrevistado 4)

Processos da Cadeia: O INPEV, representante das indústrias, estabelece os processos, coordena o sistema como um todo, homologa seus participantes, controla a rastreabilidade do material recebido e reciclado, além de determinar quais produtos podem utilizar o material reciclado e em que condições. O produtor, após o uso da embalagem, deve seguir um procedimento que envolve lavar a embalagem por três vezes (tríplice lavagem), inutilizá-la (perfurar o fundo da embalagem), separá-la por tipo de material e armazená-la em um local apropriado até que consiga devolvê-la nos postos ou centrais de recebimento. Os distribuidores e associações, por meio dos postos de recebimento, realizam o recebimento, inspeção e classificação do material, fornecendo também o termo de devolução para o produtor. Além de armazenar temporariamente as embalagens, os postos solicitam a coleta do material para as centrais de recebimento. As centrais de recebimento, mantidas pelo INPEV e algumas associações, recebem as embalagens de postos ou produtores, emitem os termos de devolução, fazem a triagem final do material, separam por tipo, cor, matéria-prima e condição de limpeza, prensam e embalam o material e enviam para a reciclagem ou a incineração. Os recicladores recebem o material e o transformam em matéria prima ou novos produtos. Os incendiadores, recebem os materiais não recicláveis e providenciam a destinação final.

O produtor rural é obrigado a limpar essa embalagem e devolver em um posto. Nós aqui, o revendedor, o distribuidor, é obrigado ter o local para ele devolver e a indústria é obrigada a retirar e processar essa embalagem vazia (DISTRIBUIDOR - Entrevistado 6)

Controle de Documentação: Esses processos exigem documentos, como a nota fiscal de venda emitida pelos distribuidores, que indica o local onde a devolução deve ser realizada, possibilitando aos distribuidores rastrear de onde o produto foi adquirido. Os produtores têm a opção de entregar as embalagens às centrais de recebimento, as quais são mais flexíveis em relação ao recebimento, muitas vezes não exigindo documentação que comprove a origem do material. O documento fornecido ao produtor após a devolução das embalagens é o termo de devolução, que deve ser mantido em sua posse para fins de fiscalização. Tanto os postos de devolução quanto as centrais de recebimento mantêm registros das devoluções, seja de maneira manual ou informatizada.

Nós não aceitamos nenhuma embalagem sem documento de origem. E aí nós temos que fazer o carimbo nela e um documento que comprove a devolução para o produtor manter em seus arquivos. É porque nós temos que identificar se ele comprou de um de nossos associados. Se ele não comprar do nosso associado, ele não pode usar o meu posto para devolver aquela embalagem (POSTO DE RECEBIMENTO - Entrevistado 1)

Nós não temos controle de documentação do produtor. Hoje na Central, como somos representantes da indústria, hoje na Central nós não exigimos notas fiscais de compra, diferente de um Posto, que o produtor tem que comprovar que ele comprou numa revenda credenciada (CENTRAL DE RECEBIMENTO - Entrevistado 12)

Recuperação e Produção Local: A redução das distâncias percorridas, com o intuito de encurtar a cadeia, envolve a possibilidade de diminuir os trajetos entre a geração do material a ser reciclado e o ponto de destinação final local. No entanto, vários fatores podem desencorajar esse processo, incluindo a falta de clareza sobre a propriedade da embalagem, o alto custo, a falta de escala devido ao baixo volume local, a ausência de expertise, a carência de infraestrutura e as preocupações sobre o controle adequado do material, que potencialmente pode estar contaminado pelo defensivo agrícola.

A gente tem que contatar talvez o nosso jurídico, olhar a lei. Na verdade, ela não é minha, ela é de quem fabricou, é da indústria. Mas tem assim alguns colegas distribuidores do Mato Grosso, onde o volume é grande, muito maior que do Cerrado de Minas, que estão brigando com o INPEV porque querem essa embalagem, porque vêm valor monetário aí, que dá para monetizar muito essas embalagens, tá? (DISTRIBUIDOR - Entrevistado 6)

Não temos nenhum interesse de processar essas embalagens, porque além de você ter um comprometimento de estrutura, você ainda tem a condição de riscos ambientais, criminais, jurídicos. Civis, etc. (POSTO DE RECEBIMENTO - Entrevistado 1)

(Para utilizar a embalagem) precisa é ter certeza que todo o resíduo da embalagem, de alguma forma, foi descontaminado. Porque imagina se você tenha um herbicida. E o poder deles de atuação, de ativação, é muito grande. Porque você tem ppm (parte por milhão) ali, já é o suficiente para matar uma lavoura (INDÚSTRIA - Entrevistado 5)

Sustentabilidade - Social, Ambiental e Econômico: Acredita-se, no entanto, que existe um mercado potencial local e que a vantagem da reciclagem local resulta na criação de novos negócios na região, na geração de empregos e na redução das emissões de gases de efeito estufa devido à diminuição do transporte. Além disso, essa abordagem está alinhada com as iniciativas de sustentabilidade apoiadas por diversos agentes da cadeia

O benefício da reciclagem local, eu acho que é total para a comunidade, para a região onde se instala e tem essa reciclagem. É uma oportunidade, às vezes, de vaga de emprego e geração de renda (DISTRIBUIDOR - Entrevistado 3)

(A embalagem usada), sim, ela poderia ser utilizada aqui na região, ser reciclada no local, transformada nesses mesmos conduítes que geraria economia de frete, de valor agregado no produto e também seria mais barato (PRODUTOR - Entrevistado 11)

4.2. Desenvolvimento de Produtos Circulares (DPC)

Esta categoria aborda os processos relacionados ao desenvolvimento das embalagens, bem como a busca por produtos mais circulares, que facilitem sua reciclagem. Explora paradigmas relacionados à viabilidade técnica e ao uso de material reciclado excedente à necessidade de produção de novas embalagens de defensivos, direcionando esses produtos para outras finalidades. Esses materiais reciclados são devidamente homologados por determinados atores da cadeia.

Desenvolvimento da Embalagem: O desenvolvimento das embalagens plásticas destinadas aos defensivos agrícolas tem como principal prioridade a preservação da integridade dos produtos e a mitigação dos riscos de vazamentos ou acidentes. Além disso, a consideração do custo desempenha um papel fundamental nesse processo. Para além de garantir a integridade do produto, o desempenho da embalagem na linha de envase e a escolha de materiais que incentivem a redução do consumo ou a reciclagem também são fatores levados em consideração.

Para o desenvolvimento de uma embalagem, primeiramente, é manter as características e a qualidade do produto que você vai colocar ali dentro ... E aí você vai para outros apelos, que é tentar fazer uma embalagem mais leve possível para evitar o consumo de material, de um material que seja reciclável (INDÚSTRIA - Entrevistado 5)

Mercado Secundário: Em relação à matéria prima reciclada, parte do material não utilizado na produção de novas embalagens é vendido como resina ou destinado para a produção de outros artefatos homologados pelo INPEV.

Nós também comercializamos o excedente de resina que nós produzimos. O material granulado, o extrudado, nós vendemos no mercado de resina reciclada, onde são

fabricados por outras empresas, outros artefatos, geralmente relacionados à construção civil (REICLADOR - Entrevistado 8)

Viabilidade Técnica: As restrições relacionadas à utilização da resina plástica proveniente da reciclagem de embalagens de defensivos para determinados produtos são influenciadas por fatores que não se relacionam com a legislação, mas sim com a disponibilidade de recursos adequados, indicando uma questão de viabilidade técnica. Dado o controle rigoroso e adequado da cadeia e de seus processos, a resina poderia ser, em princípio, utilizada para a produção de qualquer produto, porém é necessário superar os paradigmas relacionados aos riscos envolvidos.

A resina não possui quantidades de princípio ativos residuais que possam impedir ela de ser utilizada para qualquer finalidade. Mas nós julgamos como sendo importante para a questão da imagem do sistema CAMPO LIMPO utilizar essa resina em artefatos, em grande parte dele na construção civil ou até mesmo da cadeia dentro do sistema de defensivos. A maior preocupação não é técnica e sim a questão de imagem, então se aparecesse alguém me dizendo embalagem defensiva está sendo utilizada para fazer pote de sorvete, até você explicar que não tem nenhum risco e tal, poderia ferir a imagem, mas não é por princípios técnicos e sim institucionais (COORDENAÇÃO - Entrevistado 2)

Reuso de Embalagens: Observa-se, ao analisar a cadeia, que as indústrias não realizam a reutilização das embalagens devido à possibilidade de contaminação cruzada entre produtos e todo o material é direcionado para a reciclagem ou incineração.

A embalagem vazia não é reutilizada porque uma indústria, ela investe bilhões de dólares para desenvolver uma molécula. Ela não vai arriscar colocar o produto dela dentro de uma embalagem que pode ter o risco de uma contaminação cruzada. Então, se ela gasta bilhões de dólares para desenvolver um produto não vai ser com a embalagem que ela vai economizar. Então, ela faz questão que a embalagem seja embalagem virgem (COORDENAÇÃO - Entrevistado 4)

4.3. Escala de recuperação / Processo Operacional de Transformação

Nesta categoria, oferece-se uma perspectiva sobre a gestão, estrutura e processos para otimizar os volumes coletados de embalagens de defensivos agrícolas destinados à reciclagem. Além disso, são destacados alguns efeitos decorrentes da ineficiência desses processos.

Coordenação e Gestão da Cadeia: A coordenação da cadeia de logística reversa é conduzida pelas indústrias por meio do INPEV, que homologa todos os participantes e elos da cadeia, incluindo a devolução das embalagens pelos produtores, postos e centrais de recebimento, recicladores e incineradores.

Os locais para receber a embalagem vazia precisam ser licenciados, credenciados ou conveniados do INPEV, os recicladores ou incineradores precisam ser homologados pela indústria. Então tem todo um acompanhamento para poder fechar todo esse ciclo. Quem coordena isso, quem gerencia isso no Brasil hoje, é o INPEV. Não há outra

alternativa a esse processo. Quem tem que dar o destino final para a embalagem é a indústria fabricante (COORDENAÇÃO - Entrevistado 4)

Eficácia e Escala de Recuperação: No Brasil, por meio do sistema de logística reversa estabelecido pela legislação e coordenado pelas indústrias, alcançamos índices de retorno de embalagens vazias de aproximadamente 95%, o que garante que quase todo o plástico tenha uma destinação ambientalmente adequada. Isso demonstra a eficácia e a escala de recuperação do sistema.

Hoje mais de 95%, 96% das embalagens de agrotóxicos são devolvidas. Mas não é porque tem uma lei e tal, é porque a coisa foi muito bem estruturada lá no passado, lá atrás, organizando o segmento, organizando o setor (COORDENAÇÃO - Entrevistado 4)

Ineficiência dos Processos: No entanto, falhas no processo podem levar à ineficiência na recuperação de embalagens de defensivos. As causas são diversas e incluem o uso de materiais que dificultam a reciclagem, falhas nos processos de controle de documentação, destinação inadequada das embalagens, roubos e falsificações de defensivos.

Quando a embalagem não passa pela tríplex lavagem e é devidamente inutilizada, volta com um produto falsificado. Há associações de catadores ou de aterros sanitários, que muitas das vezes se unem a usinas de reciclagem, que também não obedecem a todos os perfis de credenciamento ou de legitimidade e reciclam até embalagens de defensivos agrícolas, principalmente de plástico rígido. (POSTO DE RECEBIMENTO - Entrevistado 1)

Integração da informação: A eficiência dos processos está relacionada aos controles impostos aos produtores e aos postos de recebimento, que na maioria dos casos são realizados de forma manual. A informatização dos procedimentos, como no caso das centrais de recebimento, traz mais agilidade e confiabilidade ao sistema.

(Há um sistema para isso e) a gestão dele é feita pelo INPEV. O produtor, quando ele compra um produto, automaticamente o distribuidor ou a indústria fabricante tem que lançar a venda desse produto ... Quando ele agenda e devolve, a gente conta as embalagens e lança no nosso sistema, que automaticamente já subtrai do que ele tinha comprado da quantidade de embalagens que ele entregou (CENTRAL DE RECEBIMENTO - Entrevistado 7)

Recursos-chave: Essa cadeia de logística reversa utiliza uma estrutura composta por cerca de 400 locais destinados à devolução das embalagens vazias, além dos demais recursos necessários, que incluem equipamentos e mão de obra qualificada.

Temos 400 unidades de recebimento espalhados aí pelo Brasil. Dessas 400, 300 são postos de recebimento, que são unidades menores que operam com uma capilaridade para atender essa logística reversa. E nós temos 100 centrais de recebimento. Aí dessas 100 centrais de recebimento, nós temos 60 delas geridas pelo INPEV. Temos o controle de 12 recicladores e apenas um incinerador (COORDENAÇÃO - Entrevistado 2)

4.4. Legislação, Políticas e Incentivos

A visão dos entrevistados com relação à legislação atual e seu impacto na cadeia de suprimentos ou na logística reversa das embalagens usadas, abrangendo desde a determinação da responsabilidade dos diversos atores até os efeitos da fiscalização. Destaca-se que a ausência de incentivos relacionados à reciclagem é mencionada como um ponto importante.

Legislação vigente: A logística reversa de embalagens plásticas de defensivos agrícolas usadas é regulada pela Lei Nº 7.802 de 11 de julho de 1989 e pelo Decreto 4074/2002 que estabelecem os deveres e obrigações para todos os participantes dessa cadeia, que inclui as indústrias produtoras de defensivos, os distribuidores e os produtores rurais.

Nós temos a responsabilidade compartilhada de todos os elos da cadeia, onde a indústria que coloca a embalagem no mercado, ela tem que fazer a logística reversa daquelas embalagens, o centro de distribuição, canal de distribuição, ele tem que dar pro seu consumidor o local correto onde ele deve fazer a devolução, o consumidor, por sua vez, tem a obrigação de estar devolvendo as embalagens e o poder público tem a obrigação de fiscalizar, de verificar e fiscalizar (CENTRAL DE RECEBIMENTO - Entrevistado 12)

Atores e Representatividade: Os participantes da cadeia respaldados pela legislação, buscam sinergias e a redução de custos por meio da formação de associações.

Ao invés de cada uma das indústrias fazer o seu programa de logística reversa, o INPEV foi criado como representante das indústrias, para fazer a logística reversa. Cada elo da cadeia tem a sua responsabilidade e nomearam o INPEV para ser o instituto que representa a questão da obrigação legal na cadeia da logística reversa de defensivo (COORDENAÇÃO - Entrevistado 2)

Responsabilidade estendida sobre a embalagem: No entanto, surgem questionamentos relacionados à legislação vigente e ao processo de logística reversa, bem como à viabilidade de expandir a reciclagem para outros participantes da cadeia.

Não é claro para todo mundo (que a embalagem pertence à indústria). A embalagem, sob o nosso ponto de vista, ela não é da indústria. Ela tem que ser destinada pelo comerciante, que pode ser a indústria, que faz a venda direta, ou o distribuidor (CENTRAL DE RECEBIMENTO - Entrevistado 7)

Conscientização da Cadeia: De acordo com a legislação, é essencial divulgar aos participantes da cadeia como os processos estão estabelecidos e qual é o impacto do não cumprimento deles. O objetivo principal do processo de conscientização é fornecer informações que incentivem os produtores a evitar o uso inadequado das embalagens e a devolvê-las de forma adequada, em conformidade com a legislação.

Para toda vez que uma empresa se credencia ao nosso posto, eu mando para elas as instruções para mandarem para os seus clientes, os produtores rurais. Para devolver

certinho, fazer a tríplice lavagem, não deixar em qualquer local os vasilhames. Então a gente está com o projeto de melhorar essa divulgação. Porque aqui é mais boca a boca (POSTO DE RECEBIMENTO - Entrevistado 10)

Fiscalização: A cadeia é supervisionada por órgãos governamentais, com seu principal objetivo sendo garantir a conformidade com a legislação. O não cumprimento das regulamentações pode resultar em restrições que afetam outras atividades dos participantes da cadeia.

Se o produtor não devolve a embalagem, tem multa. O IMA que é responsável pela fiscalização nas fazendas, nas revendas. E tem também os licenciamentos ambientais. Dependendo do parâmetro que essa propriedade rural se encaixa, uma das condicionantes solicitadas é o termo de devolução das embalagens de agrotóxico (POSTO DE RECEBIMENTO - Entrevistado 10)

Incentivos: Finalmente, a ausência de incentivos fiscais para os processos de logística reversa, reciclagem ou reutilização de materiais reciclados resulta no aumento dos custos, tanto dos processos quanto dos produtos como um todo.

Não (existe incentivo fiscal para utilizar o material reciclado), pelo contrário, diria eu. Quando uma empresa compra uma resina virgem para usar no seu processo produtivo, ela depois se credita dos impostos pagos, na hora da venda do seu produto. Nós não temos esse benefício, porque o Fisco entende que nós fabricamos a nossa própria resina, então nós não temos direito, então nós somos geradores de impostos, nós geramos o PIS, COFINS e ICMS (REICLADOR - Entrevistado 8)

4.5. Geração de Valor

Nesta categoria, são abordados temas relacionados aos custos e impactos financeiros na cadeia estudada. Atualmente, a cadeia apresenta resultados deficitários, levando os diversos atores a buscarem o equilíbrio financeiro das operações.

Custo da Operação: Os custos, referentes à instalação e manutenção de instalações de armazenamento, transporte, infraestrutura e gestão, são específicos e de responsabilidade de cada participante ou ator na cadeia de logística reversa.

O nosso posto ele é bancado pelas revendas, as principais revendas aqui da região. O INPEV aqui ajudou a gente no começo com a construção e ajudou na ampliação. Mas para manter o posto funcionando, a associação entra numa verba e as revendas, as principais também, ajudam (POSTO DE RECEBIMENTO - Entrevistado 13)

Plano de negócios: As indústrias desenvolvem suas operações com o objetivo de reduzir custos, concentrando as atividades em um único representante para coordenar a cadeia de logística reversa. Os produtos resultantes desse processo são direcionados de volta para a própria indústria, promovendo assim a economia circular, ou são vendidos a outros clientes devidamente homologados.

Nós temos dois tipos de negócios hoje. Negócio de embalagens, que nós produzimos novamente a embalagem para o mercado agro. Então é a economia circular mesmo. Nós pegamos do agro, processamos e produzimos novas embalagens pro agro (RECICLADOR - Entrevistado 8)

Viabilidade Econômica: A cadeia de logística reversa, que abrange desde a coleta até o envio do material para reciclagem, frequentemente opera com déficits financeiros, uma vez que o processo é, muitas vezes, mais voltado para garantir a conformidade com a legislação do que para promover a eficiência econômica

A atividade não é uma atividade que gera receita, que gera lucro. Muito pelo contrário, 87% do comércio das embalagens, do plástico reciclado, das embalagens de agrotóxico, ela gera uma receita que cobre aproximadamente 13% das despesas. Aí nós temos um rombo, nós temos um déficit de 87% pago pela indústria é fabricante. E a indústria faz isso não é porque ela gosta de fazer isso, porque é bonito fazer isso e tal. Ela faz isso porque existe uma imposição legal (COORDENAÇÃO - Entrevistado 4)

A análise dos dados de cada categoria e seus respectivos códigos indica que o desempenho atual da cadeia de suprimentos (logística reversa das embalagens plásticas vazias), assim como a capacidade de gerar valor para seus participantes, é diretamente impactado por outros processos ou condições inter-relacionados, como o desenvolvimento de produtos, a escala de material disponível e a legislação vigente.

Apesar do eficaz funcionamento da cadeia em termos de volume recuperado para reciclagem, os custos envolvidos resultam em perdas, uma vez que o valor gerado pelo plástico recuperado e reciclado não é suficiente para equilibrar os gastos relacionados à logística, que incluem transporte, armazenagem e gestão. O foco principal da cadeia, atualmente, é assegurar que as embalagens não sejam utilizadas de forma inadequada, o que poderia representar riscos para as pessoas e para o meio ambiente, além de promover a economia circular por meio da produção de novas embalagens para as indústrias. No entanto, a escala e os investimentos em infraestrutura realizados oneram de forma expressiva todos os participantes da cadeia.

Tanto o processo de desenvolvimento de produtos como a legislação impactam diretamente na escala de recuperação.

De maneira geral, durante o desenvolvimento de produtos, são feitos esforços para aumentar a reciclabilidade dos materiais após o uso. Novas tecnologias permitem evitar a mistura de diferentes tipos de plásticos, o que facilita o processo de separação e coleta, resultando em impactos positivos nos volumes e custos do processo. O mesmo princípio pode ser aplicado à padronização das embalagens.

A atual cadeia de suprimentos é projetada principalmente para cumprir com as exigências legais, o que serve como o principal incentivo para o seu funcionamento. A

legislação e os decretos estabelecem responsabilidades e obrigações para todos os participantes da cadeia, além de definirem processos que devem ser seguidos, como, por exemplo, o tratamento dado pelo produtor às embalagens para eliminar os resíduos de defensivos. No entanto, essas regulamentações não abordam especificamente o destino final do plástico reciclado. Para os participantes da cadeia, os objetivos de sustentabilidade estão sendo alcançados, e para tentar gerar valor financeiro, os participantes estão buscando sinergias para reduzir custos. Por exemplo, as indústrias criaram o INPEV para coordenar a cadeia como um todo, e as associações de distribuidores compartilham os custos associados à manutenção dos postos de recebimento. Notavelmente, o elo final da cadeia, ou seja, os recicladores, é o único capaz de gerar lucro com a operação.

5. Discussão

A implantação da CSC, que envolve a realocação dos pontos de reciclagem para áreas próximas aos locais de geração de resíduos, alinhada com as conclusões de Abbate *et al.* (2023) e Jarzębowski, Bourlakis e Bezat-Jarzębowska (2020), potencialmente gera benefícios, incluindo a redução de resíduos, poluição e menor impacto ambiental, além do desenvolvimento da economia local, do estímulo ao comércio de pequena escala, da eficácia logística e do impacto social, abrangendo o desenvolvimento de redes sociais locais. Essas ações resultam no aumento da confiança dos atores dentro da cadeia. Paralelamente, a implementação de processos voltados para o desenvolvimento de produtos circulares, incluindo aqueles produzidos localmente para atender às demandas específicas dos mercados locais, impulsiona a reciclagem ao simplificar e minimizar os custos associados à coleta e separação de materiais, conforme destacado por Gasde *et al.* (2020). Além disso, essa abordagem viabiliza a produção de matéria-prima com maior valor agregado, promovendo a sustentabilidade e a rentabilidade dos ciclos produtivos (Van Dam; Sleeswijk Visser; Bakker, 2021).

Dessa forma, as reduções de custos proporcionadas pela CSC, aliadas aos impactos positivos no meio ambiente e nos aspectos socioeconômicos na região, não apenas aprimoram os processos de logística reversa, mas também geram valor significativo ao reduzir o déficit operacional atual. Entretanto, é necessário considerar a legislação vigente, que, embora não imponha restrições à adoção da CSC, estabelece controles e responsabilidades que precisam ser levados em consideração.

Acredita-se que a geração de valor pode ser maximizada por meio da implementação de uma cadeia de suprimentos curta, alinhada aos princípios da EC (Jarzębowski; Bourlakis; Bezat-Jarzębowska, 2020) e pode se concentrar na redução dos percursos entre os pontos de

coleta de embalagens vazias e os centros de reciclagem, visando não apenas a diminuição de custos, mas também a redução das emissões de gases do efeito estufa (Pató; Kiss, 2020). A redução da distância entre o ponto de coleta e os centros de reciclagem não apenas contribuirá para a preservação ambiental, mas abre oportunidades para o desenvolvimento econômico local. A proximidade entre os locais de reciclagem e os pontos de coleta pode estimular a criação de novos empreendimentos na região, permitindo o desenvolvimento de produtos adaptados a essa realidade específica e gerando empregos (Jarzębowski; Bourlakis; Bezat-Jarzębowska, 2020; Tundys; Wiśniewski, 2020; Abbate *et al.*, 2023). Contudo, precisa-se levar em consideração os desafios inerentes a essa transição. Questões como a necessidade de retorno de materiais para serem reciclados e abastecer a indústria de defensivos agrícolas, os investimentos requeridos para estruturar eficientemente os processos de reciclagem e a avaliação crítica do volume de resíduos gerados são fatores que precisam ser ponderados. De acordo com Raftowicz, Kalisiak-Mędeliska e Struś (2020), entender e escala é fundamental para entender o impacto nos custos.

No âmbito regulatório, é necessário revisar alguns pontos para incentivar a transição para uma cadeia mais curta, especialmente no que se refere à propriedade das embalagens e à adoção de incentivos fiscais, conforme mencionado por alguns entrevistados e abordado por De Oliveira, Luna e Campos (2019). Além disso, fortalecer a fiscalização é essencial para garantir a mitigação dos riscos associados à manipulação de embalagens contendo resíduos de defensivos agrícolas, conforme discutido por Welle (2023).

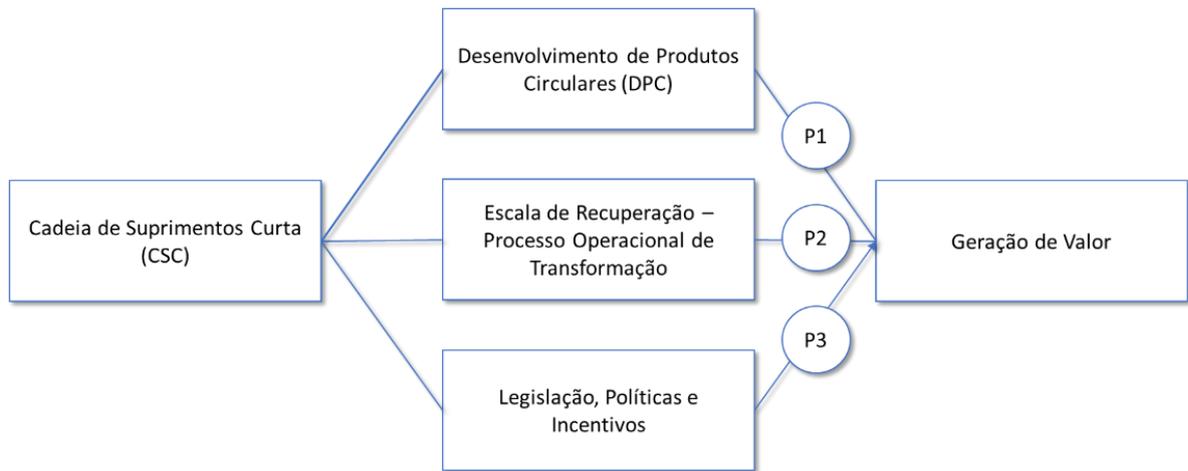
Nesse contexto e considerando o *framework* apresentado na Figura 6, torna-se possível analisar as interações entre os conceitos e formular três proposições com o objetivo de compreender como a implementação de uma cadeia de suprimentos curta pode potencializar a geração de valor para a cadeia como um todo:

Proposição 1: A cadeia de suprimentos curta pode gerar valor por meio do desenvolvimento de produtos demandados na mesma localidade onde a matéria prima é descartada para reciclagem.

Proposição 2: A cadeia de suprimentos curta proporcional geração de valor por meio de economia logística para aquisição de matéria prima e para os produtos vendidos.

Proposição 3: A cadeia de suprimentos curta pode gerar valor com o auxílio de um sistema de normas e fiscalizações governamentais que visem dar suporte ao desenvolvimento de produtos circulares.

Figura 6 - a CSC e a geração de valor por meio da EC



Fonte: Preparado pelo autor (2023)

5.1. Proposição 1

A cadeia de suprimentos curta pode gerar valor por meio do desenvolvimento de produtos demandados na mesma localidade onde a matéria prima é descartada para reciclagem.

A CSC possibilita a redução das distâncias, aproximando o resíduo do ponto de reciclagem, e viabiliza a diminuição de custos, tanto no transporte quanto no armazenamento e distribuição de novos produtos circulares fabricados com a matéria-prima reciclada localmente.

Relação entre a CSC e desenvolvimento de produtos circulares (DPC)

Na cadeia de suprimentos atual, observa-se que as embalagens são desenvolvidas com o propósito primário de preservar a integridade do produto e, em alguns casos, para diferenciar e promover cada marca de fabricante por meio de estratégias de marketing. Em contrapartida, as embalagens produzidas em consonância com os princípios do DPC (Kamp Albæk *et al.*, 2020; Diaz *et al.*, 2021) possibilitam uma ampliação da escala de recuperação e simplificam os processos de armazenamento, separação, coleta e reciclagem.

O processo de desenvolvimento de produtos, sob a ótica dos princípios da EC pode considerar a reciclagem das embalagens de plástico destinadas aos defensivos agrícolas. Para efetivar essa abordagem, além da revisão das especificações que garantam a preservação da integridade do produto armazenado em condições de múltiplos usos da embalagem, torna-se imperativo o desenvolvimento de procedimentos de limpeza capazes de assegurar a completa descontaminação das embalagens (Gasde *et al.*, 2020; Welle, 2023).

Adicionalmente, é importante buscar aprimorar a reciclabilidade das embalagens, utilizando materiais e processos que facilitem a separação, coleta e reciclagem (Gasde *et al.*, 2020; Nimmegeers *et al.*, 2021; Van Dam; Sleswijk Visser; Bakker, 2021) . A opção por embalagens de cor única também contribui significativamente para esses procedimentos. A introdução de tecnologias inovadoras na fabricação de embalagens, como o processo de fluoretação, que simultaneamente garante a integridade do produto e simplifica o processo de reciclagem, pode ser uma escolha estratégica. A adoção de embalagens padronizadas oferece a vantagem de reduzir os níveis de estoque e armazenagem, especialmente nas indústrias. Essa uniformização não apenas simplifica a gestão, mas também está alinhada com a busca por eficiência e sustentabilidade na cadeia de suprimentos (Pató; Kiss, 2020; Hazen *et al.*, 2021)

Dessa forma, o impacto na logística reversa se reflete na redução dos espaços necessários para armazenar os produtos a serem reciclados (Pató; Kiss, 2020), possibilitando o aumento do volume disponível. Isso pode viabilizar a otimização de custos e fretes (Engelseth, 2016; Ruzskai; Pajtók Tari ; Patkós, 2021) e justificar a implementação de práticas de reciclagem local. Adicionalmente, abre-se a possibilidade de expandir o atual mercado secundário por meio da comercialização de plásticos reciclados para novas cadeias produtivas e dos produtos derivados desse processo, conforme proposto por De Jong e Mellquist (2021).

A disponibilidade de matéria-prima plástica proveniente da reciclagem local das embalagens de defensivos agrícolas e a adoção de processos de desenvolvimento de produtos circulares possibilitam atender à demanda por produtos locais e assegurar a implementação do ciclo proposto pela EC. Faz-se necessário verificar a viabilidade técnica para a utilização de material reciclado em produtos além dos já homologados. Ao superar as barreiras técnicas, é crucial compreender quais produtos têm demanda na região, a fim de desenvolvê-los dentro das diretrizes da EC e garantir um ciclo voltado para a sustentabilidade.

Além de contribuir para o desenvolvimento do produto em si, a CSC possibilita alcançar outros objetivos relacionados ao meio ambiente e ao desenvolvimento socioeconômico da região, promovendo a geração de novos negócios e a integração de novos parceiros.

Relação entre o Desenvolvimento de produtos circulares (DPC) e o processo operacional – escala de recuperação

O processo e a escala de recuperação das embalagens de defensivos agrícolas variam de acordo com o tipo de embalagem e o material utilizado ao longo da cadeia de suprimentos (Chidepatil; Cárdenas; Sankaran, 2022; Chin *et al.*, 2022).

A dificuldade da separação dos materiais impacta no valor agregado do reciclado, como exposto por Gasde *et al.* (2020), León Albiter *et al.* (2022) e O'Rourke *et al.* (2022). Embalagens produzidas a partir de uma única matéria-prima, como o PEAD, são 100% recicláveis e geram uma matéria-prima de qualidade equivalente ao material virgem. Por outro lado, embalagens produzidas com COEX, que possuem mais de um tipo de plástico, também são recicláveis, mas o produto obtido possui um valor agregado menor, sendo destinado a produtos de menor valor e preço final.

A padronização das embalagens, incluindo cor, dimensões e tipo de matéria-prima utilizada, contribui para facilitar a triagem, coleta e reciclagem (Foschi; Bonoli, 2019; Gasde *et al.*, 2020). Isso resulta em uma redução de custos relacionados à mão de obra, logística e um melhor aproveitamento do material reciclado. A característica das embalagens plásticas de serem produtos de grande volume e pouco peso dificulta a otimização dos veículos durante o transporte, levando a uma menor eficiência no uso do espaço nos veículos. Embalagens projetadas conforme os princípios da EC (Diaz *et al.*, 2021; Jayawardane *et al.*, 2023), para facilitar a prensagem e redução do volume após o uso, contribuem para economizar fretes, veículos e, conseqüentemente, reduzir as emissões de gases do efeito estufa.

Embora a reutilização de embalagens possa não proporcionar benefícios significativos no frete da logística reversa, ela evita a fase de reciclagem e os custos associados a essa etapa. Considerar especificações que permitam o aumento dos ciclos de vida e a reutilização pode ser uma estratégia plausível em determinados contextos (Bocken *et al.*, 2016; Vimal; Kandasamy; Gite, 2021).

5.2. Proposição 2

A cadeia de suprimentos curta proporciona geração de valor por meio de economia logística para aquisição de matéria prima e para os produtos vendidos.

A CSC promove a proximidade entre os diversos atores que a compõem, reduzindo conseqüentemente distâncias e os custos associados entre os pontos de geração dos resíduos e sua reciclagem. O mesmo ocorre com o frete entre a produção e a comercialização de produtos feitos para atender a uma demanda local. Encurtar a cadeia também resulta na redução dos espaços destinados à armazenagem, diminuindo assim os custos.

Esses conceitos estão alinhados com as ideias de Jarzębowski, Bourlakis e Bezat-Jarzębowska (2020) e Tundys e Wiśniewski (2020), nos quais a redução dos custos de transação entre os participantes das cadeias de suprimentos, por meio de uma melhor coordenação e

encurtamento da mesma, leva ao aumento da resiliência da cadeia, aumento da receita para os produtores, redução da margem de comercialização e preços mais justos e estáveis.

Relação entre o CSC e processo operacional - escala recuperação.

A quantidade atualmente reciclada pela cadeia, aproximadamente 93% do total coletado, conforme dados do INPEV em 2022, evidencia a eficácia e a escala de recuperação da cadeia, totalizando cerca de 53.000 toneladas. Esse resultado está diretamente ligado à capacidade dos intervenientes da cadeia de seguir os processos estabelecidos. Essas operações incluem a limpeza das embalagens, a separação por tipo, o armazenamento temporário e a transferência para os pontos de coleta, de onde são encaminhadas para reciclagem ou incineração.

A estrutura atual foi concebida para assegurar a destinação adequada e sustentável das embalagens utilizadas, prevenindo seu uso indevido e reduzindo os riscos de acidentes ou contaminação ambiental por possíveis resíduos de agrotóxicos no interior das embalagens. Em menor escala, também atua na mitigação do risco de falsificação de produtos.

Os custos associados à estrutura e aos recursos-chave são compartilhados entre os diversos atores da cadeia. Atualmente, existem 100 centrais de recebimento, sendo que 59 são mantidas pelo INPEV, e há 290 postos de recebimento (INPEV, 2022). Produtores armazenam, limpam e devolvem as embalagens para os pontos de coleta, distribuidores, muitas vezes através de associações, custeiam os postos de recebimento, e as indústrias, representadas pelo INPEV, coordenam a cadeia, mantêm e controlam a maioria das centrais de recebimento, além de arcar com os custos de transporte até os pontos de reciclagem ou incineração.

Assegurar a descontaminação das embalagens por meio de processos confiáveis e controlados é fundamental para aproximar os pontos de reciclagem do local de geração do resíduo plástico, promovendo assim uma cadeia de suprimentos mais curta. Acredita-se que a adaptação a esses processos e controles possibilita o aproveitamento de estruturas e recursos já existentes nas instalações de reciclagem locais.

Os volumes destinados à produção de novas embalagens podem continuar sendo enviados para reciclagem próxima às indústrias, enquanto o material excedente pode ser processado e transformado em produtos para atender mercados locais.

A integração de informações na cadeia, por meio do uso de ferramentas de informática, redes ou nuvem, pode proporcionar consistência e agilidade aos processos, facilitando o controle eficaz da cadeia como um todo (Sanchez *et al.*, 2020).

Outros segmentos podem integrar-se à estrutura de triagem, coleta e reciclagem, desde que incorporem os processos e tragam sinergias que resultem na redução dos custos

operacionais e estruturais, contribuindo assim para agregar valor à toda a cadeia (Zhang *et al.*, 2021; Gori; Castellini, 2023). No entanto, é necessário compreender o impacto real causado pela reciclagem, pois, embora possa ser lucrativa, pode resultar em um impacto ambiental não desejado e abrir espaço para negócios não sustentáveis (Van Fan *et al.*, 2022).

Em última análise, os volumes recuperados pela cadeia estão intrinsecamente ligados ao cumprimento da legislação e à conscientização dos produtores e recicladores. A conscientização sobre responsabilidades, benefícios e riscos, juntamente com a fiscalização, é importante para otimizar a recuperação de volumes e amortizar os investimentos realizados, como abordado por Ruskai, Pajtók Tari e Patkós (2021) e Bokan, Orlic e Bagarić (2023). Isso abre a possibilidade de redução da cadeia de suprimentos, diminuindo custos de frete para a destinação adequada e sustentável das embalagens usadas, bem como para outros plásticos de outros participantes que possam aderir a essa cadeia (Zhang *et al.* (2021).

A criação de sistemas sustentáveis, a diversificação da produção e a contribuição para o desenvolvimento econômico local abrem caminho para um futuro sustentável e lucrativo (Jarzębowski; Bourlakis; Bezat-Jarzębowska, 2020). É sabido que a adoção da reciclagem e produção local (Justman, 1994) potencialmente traz benefícios ao meio ambiente, tais como a redução de transportes (Zimon; Tyan; Sroufe, 2019). Além disso, outros impactos positivos incluem o desenvolvimento econômico e social local, conforme abordado por diversos autores (Kiss; Ruskai; Takács-György, 2019; Pató; Kiss, 2020; Jarzębowski; Bourlakis; Bezat-Jarzębowska, 2020; Olatayo; Mativenga; Marnewick, 2022; Abbate *et al.*, 2023).

A inclusão de participantes na cadeia, no entanto, não deve impactar negativamente em seu desempenho. A coordenação da cadeia requer total atenção e colaboração entre os participantes, envolvendo não apenas a eficiência na coleta e retorno das embalagens, mas também processos relacionados à qualidade, descontaminação das embalagens e rastreabilidade do uso da matéria-prima reciclada (Foschi; Bonoli, 2019; Jarzębowski; Bourlakis; Bezat-Jarzębowska, 2020; Zhang *et al.*, 2021; Welle, 2023).

5.3. Proposição 3

A cadeia de suprimentos curta pode gerar valor com o auxílio de um sistema de normas e fiscalizações governamentais que visem dar suporte ao desenvolvimento de produtos circulares.

A legislação atual trata dos deveres e responsabilidades dos participantes da cadeia de suprimentos. Embora a CSC possa aderir às mesmas normas, alguns ajustes podem ser necessários. A inclusão de incentivos poderia impulsionar esse processo.

Relação entre a CSC e as Leis, Políticas e Incentivos

A atual estrutura da cadeia de suprimentos e logística reversa está configurada para atender à legislação, em particular a Lei Nº 7.802, de 11 de julho de 1989, e o Decreto 4074/2022. Esses regulamentos delineiam as diretrizes para o destino final adequado dos resíduos e embalagens, sendo elementos fundamentais na gestão sustentável e responsável da cadeia.

Os diversos participantes da cadeia, cientes dos custos associados ao cumprimento da legislação, buscam sinergias entre parceiros e até mesmo concorrentes para a construção da cadeia de logística reversa e para a redução dos custos totais. No entanto, o produto resultante da logística reversa não consegue cobrir adequadamente esses custos, gerando um déficit considerável na operação. Essa disparidade entre custos e receitas representa um desafio significativo, requerendo uma revisão estratégica para equilibrar a equação financeira e assegurar a sustentabilidade a longo prazo da logística reversa, conforme explorado por Tundys e Wiśniewski (2020).

Um ponto controverso na legislação trazido por vários participantes da cadeia é a questão da propriedade das embalagens usadas, suscitando questionamentos sobre a possibilidade de outros membros da cadeia, além das indústrias, realizarem a reciclagem. Há um forte sentimento de que o plástico das embalagens vazias possui um valor significativo e que sua destinação e reciclagem poderiam ser realizadas localmente para atender os mercados locais, como discutido por Sanchez *et al.* (2020). Contudo, revisitar essa legislação referente à propriedade das embalagens demandaria medidas como um aumento na fiscalização e a imposição de multas para desvios intencionais de processos. A alteração na propriedade da embalagem teria potencial impacto no preço final do defensivo agrícola.

A legislação atual não aborda o uso do plástico reciclado para fins diversos. Os paradigmas estabelecidos pela indústria, visando evitar usos inadequados que possam representar riscos para pessoas e o meio ambiente, podem ser repensados por meio de uma análise de viabilidade técnica. Isso abriria a possibilidade de explorar usos alternativos do plástico reciclado em setores que não o agrícola.

Não foram mencionadas leis ou incentivos fiscais que promovam a utilização abrangente de plástico reciclado. Pelo contrário, observam-se discrepâncias nas alíquotas de

impostos pagas pela matéria-prima reciclada em comparação com o material virgem. A reavaliação das alíquotas de impostos em comparação com o plástico virgem tem o potencial de reduzir os custos na cadeia de valor, conferindo maior atratividade ao material reciclado para diversos participantes. Além disso, essa medida pode impulsionar a eficiência e diminuir os custos relacionados à logística reversa, bem como à produção de embalagens ou produtos circulares. Essa abordagem estratégica, aliada à implementação de ações adicionais que incentivem a adoção do plástico reciclado, foi amplamente discutida por pesquisadores renomados, como De Oliveira, Luna e Campos (2019), Tashkeel *et al.* (2021) e Olatayo, Mativenga e Marnewick (2022).

A disseminação do uso do plástico reciclado, embora promova a adoção de uma cadeia de suprimentos curta, reduzindo custos logísticos e trazendo a produção e consumo do reciclado para o mercado local, também demanda um novo modelo de gestão da cadeia e um aumento da fiscalização por parte das autoridades governamentais. Esse equilíbrio entre flexibilidade e regulamentação será crucial para o sucesso e sustentabilidade dessa abordagem (Ruszkai; Pajtók Tari ; Patkós, 2021; Bokan; Orlić; Bagarić, 2023; Tashkeel *et al.*, 2021).

Relação entre as Leis, Políticas e Incentivos e o processo operacional - escala de recuperação

De maneira geral, a cadeia está estruturada para atender à legislação vigente (Lei Nº 7.802, de 11 de julho de 1989; DECRETO 4074/2022). A eficácia desse processo e a escala do volume recuperado refletem o cumprimento das leis, baseadas em processos de conscientização e fiscalização.

A legislação define os papéis de cada participante na cadeia e estabelece a existência de elos como os postos e centrais de recebimento, que atualmente estão integrados em número considerável na extensa cadeia de logística reversa, cobrindo todo o país e proporcionando capilaridade para a entrega e coleta de embalagens pós-uso.

O não cumprimento da obrigação de devolver as embalagens por parte dos produtores rurais resulta em multas e pode ter impactos negativos em outros processos, como o licenciamento das operações, podendo levar à paralisação das atividades e gerar prejuízos econômicos.

É relevante ressaltar que a legislação possui uma abordagem voltada para a proteção ambiental, promovendo um desempenho elevado da cadeia no que diz respeito ao percentual de volume de embalagens devolvidas pelos produtores aos distribuidores, retornando para as indústrias que, por sua vez, promovem a reciclagem desse material plástico para a produção de

novas embalagens, impulsionando a economia circular. Parte desse plástico também é destinada a outros mercados e à produção de produtos devidamente homologados pela indústria.

Apesar de alcançar o objetivo de destinação sustentável, é importante notar que o custo associado ao cumprimento da legislação é elevado, o que abre oportunidades para a revisão da cadeia e, conseqüentemente, da legislação. Essa revisão pode visar a redução de custos e a geração de valor, em vez de déficit, para os participantes atuais ou novos da cadeia de suprimentos (De Oliveira; Luna; Campos, 2019; Ruskai; Pajtók Tari ; Patkós, 2021; Olatayo; Mativenga; Marnewick, 2022; Bokan; Orlic; Bagarić, 2023).

5.4. Análise das proposições

A cadeia em questão demonstra uma estrutura eficiente, com uma coordenação adequada, que trabalha com materiais que de forma geral facilitam a reciclagem e gera um plástico reciclado de qualidade, que poderia ser destinado para vários fins, suplantando alguns paradigmas.

Desta forma, pode-se inferir que a Cadeia de Suprimentos Curta (CSC) pode alavancar o processo e a escala de recuperação das embalagens plásticas de defensivos agrícolas, e potencialmente de plásticos oriundos de outros segmentos, suportado pelo desenvolvimento de produtos circulares e de seus processos que levam a viabilidade técnica para o uso de plásticos por diferentes produtos e segmentos, conforme a proposição P1. Além disso, uma revisão na legislação, especialmente no que diz respeito às responsabilidades dos diversos atores da cadeia, e o estímulo ao uso de plástico reciclado, podem contribuir para potencializar esses avanços, validando a proposição P3.

Potencialmente, a adoção da Cadeia de Suprimentos Curta (CSC), onde a reciclagem das embalagens plásticas é realizada próxima ao local de geração do resíduo, pode resultar na redução de custos relacionados à armazenagem e frete. Isso se torna especialmente significativo se outros setores forem integrados, gerando volumes que contribuam para a amortização dos investimentos realizados em recursos-chave por participantes atuais ou novos na cadeia. Além dos benefícios econômicos, a CSC traz outros relacionados ao meio ambiente pela diminuição da geração de gases do efeito estufa e sociais (Vegter; Van Hillegersberg; Olthaar. 2023), alinhando-se com a proposição P2.

Em síntese, as proposições apresentadas são válidas, e a adoção da CSC tem o potencial de agregar valor à cadeia, possibilitando a redução dos custos associados ao transporte e armazenamento (Pató e Kiss, 2020). Em 2022, os custos da operação foram distribuídos da

seguinte maneira: a indústria arcou com 88%, os produtores agrícolas com 7%, e os canais de distribuição com 5% (INPEV, 2022).

Quadro 5- CSC para reciclagem de embalagem de defensivo: Proposições, implicações práticas e oportunidades de estudo

PROPOSIÇÃO	IMPLICAÇÕES PRÁTICAS	OPORTUNIDADES DE PESQUISA
1) A cadeia de suprimentos curta pode gerar valor por meio do desenvolvimento de produtos demandados na mesma localidade onde a matéria prima é descartada para reciclagem.	<ul style="list-style-type: none"> a) O processo de desenvolvimento das embalagens deve considerar materiais que facilitem a reciclabilidade, como um único tipo de polímero; b) O excedente não utilizado na produção de embalagens pode ser direcionado para produtos de consumo local, promovendo a expansão do mercado secundário; c) Desenvolvimento de novos produtos seguros e confiáveis a partir do material reciclado, assegurando a viabilidade técnica. 	Desenvolver um projeto de produto circular com base em plástico reciclado, originado de embalagens de defensivos agrícolas, comercializado para atender à demanda local onde o material original foi consumido.
2) A cadeia de suprimentos curta proporciona geração de valor por meio de economia logística para aquisição de matéria prima e para os produtos vendidos.	<ul style="list-style-type: none"> a) Diminuição do custo com transporte devido à redução dos trechos percorridos entre coleta e reciclagem; b) Redução do tempo e espaço de armazenagem; c) Desenvolvimento de recicladores locais; d) Redução de elos na cadeia, eliminando postos ou centrais e direcionando a coleta diretamente para os recicladores locais; e) Redução do transporte entre distribuição de produtos reciclados e consumo; f) Desenvolvimento de cadeias locais, incentivando a economia local; g) Possibilidade de um segundo processo de descontaminação nas instalações de reciclagem. 	Avaliação da viabilidade técnica e econômica da inserção de novos recicladores locais para atender à demanda, considerando critérios como capacidade de coleta, triagem, processamento, qualidade e mitigação de riscos relacionados à descontaminação das embalagens.
3) A cadeia de suprimentos curta pode gerar valor com o auxílio de um sistema de normas e fiscalizações governamentais que visem dar suporte ao desenvolvimento de produtos circulares.	<ul style="list-style-type: none"> a) Ajustes na legislação em relação ao papel dos atores da cadeia para a adoção da CSC; b) Incentivos fiscais ou financeiros contribuem para DPC; c) A fiscalização garante o nível de recuperação do material para reciclagem; d) Revisão da legislação sobre a propriedade da embalagem pode incentivar a reciclagem local. 	<p>Análise da cadeia de valor com a introdução da equalização de impostos comparada com material virgem.</p> <p>Avaliação do impacto da fiscalização em uma operação local, com novos atores e responsabilidades.</p>

Fonte: Preparado pelo autor (2023)

No entanto, para que esses benefícios se concretizem, torna-se imperativo realizar alterações em alguns paradigmas, especialmente no que diz respeito à revisão da legislação. Isso implica na análise e ajuste das alíquotas fiscais, que deveriam, no mínimo, equilibrar-se com aquelas aplicadas à matéria-prima virgem (De Oliveira; Luna; Campos, 2019). Além disso, é essencial promover mudanças nos processos e controles relacionados ao procedimento de

descontaminação das embalagens (Welle, 2023), um aspecto crucial para mitigar riscos tanto para os manipuladores quanto para os consumidores finais.

A redução da demanda por transporte e armazenamento não apenas atende às expectativas de alguns entrevistados, como produtores e distribuidores, mas também desempenha um papel significativo na diminuição das emissões de gases de efeito estufa. Isso ocorre ao reduzir os trajetos relacionados ao frete entre os centros de recebimento e os recicladores, conforme destacado por diversos autores, como Zhang, Qing e Yu (2019) e Ruzskai, Pajtók Tari e Patkós (2021).

A busca pela introdução dos conceitos do DPC contribui para gerar valor na cadeia, uma vez que aumenta a reciclabilidade da embalagem e auxilia na superação dos desafios relacionados à coleta e separação. Esses desafios foram identificados por Cestari *et al.* (2021), O'Rourke *et al.* (2022) e León Albiter *et al.* (2022).

Finalmente, o Quadro 5 apresenta algumas implicações práticas advindas da adoção da CSC e sugere oportunidades para pesquisas complementares. O foco no DPC visa o aumento da reciclabilidade e a adoção de materiais que, ao final, contribuam para o processo de reciclagem. De maneira oportuna, é importante avaliar produtos que atendam às demandas locais, produzidos a partir de materiais reciclados. Em relação à CSC, pode-se promover a redução de espaços e transportes, a diminuição de alguns participantes, como os postos ou centrais de recebimento de embalagens, e a inclusão de recicladores locais. É necessário determinar a viabilidade econômica considerando volumes, escala e investimento. A legislação, ao considerar novas responsabilidades e deveres, pode facilitar a adoção da CSC para reduzir o déficit na cadeia atual.

6. Conclusão

Uma cadeia curta, no contexto da reciclagem de embalagens de defensivos e produção de produtos locais, refere-se a um sistema mais direto e próximo entre os diversos estágios da cadeia de suprimentos. Isso implica em reduzir as distâncias físicas e os intermediários entre a produção, reciclagem e comercialização, promovendo uma abordagem mais localizada e eficiente.

Entre os impactos gerados, destaca-se a redução do impacto ambiental, resultante da diminuição nos transportes e das emissões de carbono associadas à logística. A redução de custos ocorre devido à presença de menos intermediários e distâncias menores, o que geralmente resulta em custos de transporte mais baixos. A promoção de uma reciclagem mais eficiente acontece pela facilitação da coleta e reciclagem das embalagens. Além disso, há o

fortalecimento da resiliência da cadeia de suprimentos a interrupções logísticas, uma vez que ela depende menos de longas distâncias e cadeias complexas. Adicionalmente, destaca-se o estímulo à economia local, proporcionando oportunidades para produtores locais e gerando empregos nos setores de reciclagem e produção. Ao adotar uma cadeia curta, existe o potencial de criar um ciclo mais sustentável e integrado, no qual os benefícios se estendem não apenas aos participantes diretos, mas também à comunidade local e ao meio ambiente.

Esta pesquisa, por meio de um estudo de caso prático, visa entender e reestruturar a cadeia de suprimentos dedicada à reciclagem de embalagens plásticas de defensivos agrícolas para torná-la mais curta, buscando a otimização do transporte e armazenagem e economicamente viável. Além disso, considera a reciclagem das embalagens usadas próximo ao local de consumo, visando a produção de produtos circulares destinados ao consumo local.

Esse enfoque não apenas reduz a extração de recursos, mas também elimina a emissão de gases de efeito estufa associada ao transporte de materiais, otimizando custos e, assim, promovendo a preservação do meio ambiente. Adicionalmente, essa abordagem tem o potencial de estimular investimentos e a criação de novos empregos locais, contribuindo, em última instância, para o desenvolvimento de uma economia sustentável e regional.

A atual estrutura destinada à reciclagem de embalagens plásticas utilizadas em defensivos agrícolas, regulamentada pela Lei Nº 7.802, de 11 de julho de 1989, e Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, abrange integralmente o território nacional e engloba 100 centrais e 290 postos de recebimento, conforme indicado no relatório do INPEV. Dentro dessa cadeia, observa-se uma dinâmica na qual a indústria realiza a venda dos defensivos agrícolas para distribuidores, os quais, por sua vez, revendem esses produtos para os produtores agrícolas.

O processo de gestão das embalagens usadas compreende a descontaminação e a segregação por tipo de matéria-prima pelos produtores. Posteriormente, essas embalagens são encaminhadas para postos ou centrais de recebimento, onde são direcionadas para recicladores ou incineradores em fases subsequentes do processo.

Uma parcela do material, em conformidade com os princípios da EC, é empregada na fabricação de novas embalagens destinadas à indústria. Nesse contexto, a produção é direcionada para localidades próximas aos principais centros de envase. No entanto, o volume excedente pode ser direcionado para processos de reciclagem e produção local, atendendo a demandas específicas.

Durante esse procedimento, a otimização do transporte, avaliada pela relação entre peso, volume e capacidade dos veículos, encontra restrições nos trajetos do produtor até os postos, sendo somente após a prensagem das embalagens nas centrais que se torna possível otimizar os

fretes. É importante destacar, no entanto, que a atual configuração da cadeia favorece a reciclagem, superando obstáculos associados à coleta e triagem do material, viabilizando a produção de plástico reciclado de elevada qualidade.

É crucial ressaltar que o desempenho atual está diretamente vinculado ao cumprimento da legislação vigente, e quaisquer mudanças nas leis devem contemplar métodos eficazes de controle e fiscalização, especialmente no tocante ao processo de descontaminação.

No entanto, a cadeia atual apresenta deficiências e necessita de uma revisão para a redução dos custos associados a todos os participantes.

A sugestão de implementar uma cadeia de suprimentos mais curta se destaca como uma estratégia promissora, não apenas reduzindo distâncias, mas também desempenhando um papel crucial na redução das emissões de gases do efeito estufa. A adoção da Cadeia de Suprimentos Curta (CSC) não apenas confere benefícios ambientais por meio de práticas sustentáveis, alinhando-se com as Metas de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, mas também impulsiona o desenvolvimento econômico regional.

Além dos benefícios ambientais, a alteração na cadeia oferece vantagens logísticas e operacionais, reduzindo os elos, o que resulta em uma diminuição da pegada ambiental e da necessidade de espaços para armazenagem. A implementação de uma cadeia de suprimentos mais curta não apenas se alinha a práticas sustentáveis, mas também proporciona ganhos econômicos e operacionais para os participantes envolvidos.

Em última análise, a busca pela sustentabilidade na gestão de resíduos plásticos demanda uma abordagem equilibrada, que considere não apenas os aspectos ambientais, mas também os impactos econômicos e operacionais associados à implementação de mudanças na cadeia de suprimentos.

A transição para a CSC exige uma avaliação metódica da viabilidade econômica. Estudos adicionais são necessários para compreender as potenciais economias em transporte e armazenagem, considerando os investimentos necessários para estruturar e capacitar a nova proposta da cadeia, possivelmente incluindo recicladores nas regiões. Além disso, a análise da possibilidade de incorporar plásticos de outros segmentos pode ser considerada como uma estratégia para expandir a produção, contribuindo para a redução da amortização de eventuais investimentos necessários.

No que diz respeito à produção local, é preciso avaliar e determinar a demanda por produtos locais, considerando fatores como escala e custos. No âmbito da legislação, a introdução de incentivos e a revisão de alíquotas para a utilização de plásticos reciclados podem impulsionar significativamente os volumes.

Entretanto, destacam-se alguns desafios práticos que podem ser enfrentados por meio de iniciativas extensionistas, complementando os estudos teóricos propostos neste trabalho. Isso inclui o entendimento de como preparar a cadeia de suprimentos para viabilizar o processo de transição, bem como a determinação de quais processos e produtos podem ser configurados para atender à demanda local, explorando o potencial volume disponível na região.

Considera-se que esse estudo, ao propor soluções, pode contribuir com alternativas que dependem de alterações na legislação via projetos de lei ou de políticas públicas. O ganho operacional é viável do ponto de vista ambiental, do ponto de vista econômico, de cadeia de suprimentos, mas depende de esforço legislativo.

Em síntese, esta pesquisa não apenas propõe uma abordagem sustentável na gestão de resíduos plásticos, mas também destaca desafios práticos que requerem ações concretas para a efetiva implementação da cadeia de suprimentos mais curta. Essa proposta está alinhada com os objetivos de desenvolvimento sustentável, promovendo benefícios econômicos e ambientais significativos para as regiões envolvidas.

Finalmente, é válido ressaltar que o conceito de Cadeia de Suprimentos Curta (CSC) pode se estender a outros segmentos, setores e regiões, visto que se acredita existir uma grande capacidade de generalização. Tal abordagem apresenta um alto potencial para estimular o empreendedorismo de pequenas e médias empresas locais.

Entretanto, é importante reconhecer as limitações deste estudo, especialmente no que diz respeito ao tamanho da amostra, que se restringe a uma única região e suas características e representantes peculiares. A dinâmica, a vocação e os estímulos das empresas em outras regiões também precisam ser avaliados. A extrapolação dos resultados aqui apresentados pode requerer uma nova análise mais abrangente para garantir uma compreensão mais sólida e abrangente das possíveis aplicações e impactos do conceito de CSC em diferentes contextos

7. Referências

ABBATE, S.; CENTOBELLI, P.; CERCHIONE, R.; GIARDINO, G.; PASSARO, R. **Coming out the egg: Assessing the benefits of circular economy strategies in agri-food industry.** *Journal of Cleaner Production*, v. 385, p. 135665, 2023.

ABIPLAST, Associação Brasileira da Indústria do Plástico, **Preview 2022**. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/preview2019/>. Acesso em junho de 2023.

BARCELOS, S. M. B. D.; SALVADOR, R.; BARROS, M. V., DE FRANCISCO, A. C.; GUEDES, G. **Circularity of Brazilian silk: Promoting a circular bioeconomy in the production of silk cocoons**. *Journal of Environmental Management*, v. 296, p. 113373, 2021.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo** 4ªed. Lisboa: Edições, v. 70, 2008.

BAUER, M. W.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto: imagem e som**. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 2002. 516 p.

BOCKEN, N. M.; DE PAUW, I.; BAKKER, C.; VAN DER GRINTEN, B. **Product design and business model strategies for a circular economy**. *Journal of industrial and production engineering*, v. 33, n. 5, p. 308-320, 2016.

BOKAN, N.; ORLIĆ, O.; BAGARIĆ, P. **Farmers of tomorrow: the transformative strength of short food supply chains**. *Socijalna Ekologija*, v. 32, n. 1, 2023.

BRASIL, Presidência da República, Casa Civil, **Lei Nº 7.802, de 11 de julho de 1989**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7802. Acesso em março de 2023.

BRASIL, Presidência da República, Casa Civil, **Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4074. Acesso em março de 2023.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, **Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010)**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/sitio/>. Acesso em junho de 2021.

CASTIGLIONE, C.; ALFIERI, A. **Economic sustainability under supply chain and eco-industrial park concurrent design**. *Procedia CIRP*, v. 90, p. 19-24, 2020.

CESTARI, S. P.; J. MARTIN, P.; R. HANNA, P.; P. KEARNS, M.; MENDES, L. C.; MILLAR, B. **Use of virgin/recycled polyethylene blends in rotational moulding**. *Journal of Polymer Engineering*, v. 41, n. 6, p. 509-516, 2021.

CHIDEPATIL, A.; CÁRDENAS, J. F. M.; SANKARAN, K. **Circular Economy of Plastics: Wishful Thinking or A Way Forward?** *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, v. 103, n. 4, p. 647-653, 2022.

CHIN, H. H.; VARBANOV, P. S.; YOU, F.; SHER, F.; KLEMEŠ, J. J. **Plastic circular economy framework using hybrid machine learning and pinch analysis**. Resources, Conservation and Recycling, v. 184, p. 106387, 2022.

COLORADO, H. A.; VELÁSQUEZ, E. I. G.; MONTEIRO, S. N. **Sustainability of additive manufacturing: the circular economy of materials and environmental perspectives**. Journal of Materials Research and Technology, v. 9, n. 4, p. 8221-8234, 2020

COSENZA, J. P.; DE ANDRADE, E. M.; DE ASSUNÇÃO, G. M. **A circular economy as an alternative for Brazil's sustainable growth: Analysis of the national solid waste policy**. Rev. Gest. Ambient. Sustentabilidade, v.9, n.1. p.-118343, 2020.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS, CSCMP's **Definition of Supply Chain Management**. Disponível em: <http://www.cscmp.org> , glossário. Acesso em julho de 2022.

DE JONG, A. M.; MELLQUIST, A. **The potential of plastic reuse for manufacturing: A case study into circular business models for an on-line marketplace**. Sustainability, v. 13, n. 4, p. 2007, 2021.

DE OLIVEIRA, C. T.; LUNA, M. M.; CAMPOS, L. M. S. **Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain and its reverse logistics towards circular economy**. Journal of Cleaner Production, v. 235, p. 562-573, 2019.

DIAZ, A.; SCHÖGGL, J. P.; REYES, T.; BAUMGARTNER, R. J. **Sustainable product development in a circular economy: implications for products, actors, decision-making support and lifecycle information management**. Sustainable Production and Consumption, 2021.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, **O que é Economia Circular**. Disponível em <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>. Acesso em junho de 2021.

ENGELSETH, P. Developing exchange in short local foods supply chains. International Journal on Food System Dynamics, v. 7, n. 3, p. 229-242, 2016.

FOSCHI, E.; BONOLI, A. **The commitment of packaging industry in the framework of the European strategy for plastics in a circular economy.** Administrative Sciences, v. 9, n. 1, p. 18, 2019.

GASDE, J.; WOIDASKY, J.; MOESSLEIN, J.; LANG-KOETZ, C. **Plastics recycling with tracer-based-sorting: Challenges of a potential radical technology.** Sustainability, v. 13, n. 1, p. 258, 2020.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M.; HULTINK, E. J. **The Circular Economy—A new sustainability paradigm?** Journal of Cleaner Production, v. 143, p. 757-768, 2017.

GHISELLINI, P.; ULGIATI, S. **Circular economy transition in Italy. Achievements, perspectives and constraints.** Journal of cleaner production, v. 243, p. 118360, 2020.

GORI, F.; CASTELLINI, A. **Alternative Food Networks and Short Food Supply Chains: A Systematic Literature Review Based on a Case Study Approach.** Sustainability, v. 15, n. 10, p. 8140, 2023.

HALSTENBERG, F. A.; LINDOW, K.; STARK, R. **Leveraging Circular Economy through a Methodology for Smart Service Systems Engineering.** Sustainability, 11(13), 3517, 2019.

HAZEN, B. T.; RUSSO, I.; CONFENTE, I.; PELLATHY, D. **Supply Chain management for circular economy: conceptual framework and research agenda.** International Journal of Logistics Management, v. 32 n. 2, p. 510-537, 2020.

INPEV, Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias, **Relatório de Sustentabilidade 2022.** Disponível em: <https://inpev.org.br/index>. Acesso em junho de 2023.

IDOIAGA, N; BERASATEGI, N.; EIGUREN, A.; PICAZA, M. **Exploring children's social and emotional representations of the Covid-19 pandemic.** Frontiers in Psychology, v. 11, p. 1952, 2020.

IRAMUTEQ – versão IRaMuTeQ 0.7 alpha 2 2020 de 05/11/2020. Disponível em <http://www.iramuteq.org> . Acesso em novembro 2023.

JABBOUR, C. J. C; JABBOUR, A. B.; FIORINI, P.; WONG, C.; JUGEND, D., SELES, B.; PINHEIRO, M. A.; DA SILVA, H. **First-mover firms in the transition towards the sharing**

economy in metallic natural resource-intensive industries: Implications for the circular economy and emerging industry 4.0 technologies. *Resources policy*, v. 66, p. 101596, 2020.

JARZĘBOWSKI, S.; BOURLAKIS, M.; BEZAT-JARZĘBOWSKA, A. **Short food supply chains (SFSC) as local and sustainable systems.** *Sustainability*, v. 12, n. 11, p. 4715, 2020.

JAYAWARDANE, H.; DAVIES, I. J.; GAMAGE, J. R.; JOHN, M.; BISWAS, W. K. **Additive manufacturing of recycled plastics: a ‘techno-eco-efficiency’ assessment.** *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 126, n. 3-4, p. 1471-1496, 2023.

JUGEND, D.; FIORINI, P. D. C.; PINHEIRO, M. A. P.; SILVA, H. M. R.; SELES, B. M. R. P. **Building circular products in an emerging economy: an initial exploration regarding practices, drivers and barriers: case studies of new product development from medium and large Brazilian companies.** *Johnson Matthey Technology Review*, 64, 59-68, 2020.

JUSTMAN, M. **The effect of local demand on industry location.** *The Review of Economics and Statistics*, p. 742-753, 1994.

KALARGARIS, I.; TIAN, G.; GU, S. **Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil.** *Fuel Processing Technology*, v. 157, p. 108-115, 2017.

KAMP ALBÆK, J.; SHAHBAZI, S.; MCALOONE, T. C.; PIGOSSO, D. C. **Circularity evaluation of alternative concepts during early product design and development.** *Sustainability*, v. 12, n. 22, p. 9353, 2020.

KHADKE, S.; GUPTA, P.; RACHAKUNTA, S.; MAHATA, C.; DAWN, S.; SHARMA, M.; DALAPATI, G. K. **Efficient plastic recycling and remolding circular economy using the technology of trust–blockchain.** *Sustainability*, v. 13, n. 16, p. 9142, 2021.

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

KISS, K.; RUSZKAI, C.; TAKÁCS-GYÖRGY, K. **Examination of short supply chains based on circular economy and sustainability aspects.** *Resources*, v. 8, n. 4, p. 161, 2019.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. **Circular economy: the concept and its limitations.** *Ecological economics*, v. 143, p. 37-46, 2018.

LEÓN ALBITER, N.; SANTANA PÉREZ, O.; KLOTZ, M.; GANESAN, K.; CARRASCO, F.; DAGRÉOU, S., VALDERRAMA, C. **Implications of the Circular Economy in the Context of Plastic Recycling: The Case Study of Opaque PET**. *Polymers*, v. 14, n. 21, p. 4639, 2022.

MANGLA, S. K.; KUSI-SARPONG, S.; LUTHRA, S.; BAI, C.; JAKHAR, S. K.; KHAN, S. A. **Operational excellence for improving sustainable supply chain performance**. *Resources, Conservation, and Recycling*, v. 162, p. 105025, 2020.

MAYANTI, B.; HELO, P. **Closed-loop supply chain potential of agricultural plastic waste: Economic and environmental assessment of bale wrap waste recycling in Finland**. *International Journal of Production Economics*, v. 244, p. 108347, 2022.

MESTRE, A.; COOPER, T. **Circular product design. A multiple loops life cycle design approach for the circular economy**. *The Design Journal*, v. 20, n. sup1, p. S1620-S1635, 2017.

MOHAMMADHOSSEINI, H.; NGIAN, S. P.; ALYOUSEF, R.; TAHIR, M. M. **Synergistic effects of waste plastic food tray as low-cost fibrous materials and palm oil fuel ash on transport properties and drying shrinkage of concrete**. *Journal of Building Engineering*, v. 42, p. 102826, 2021.

MORENO, M.; DE LOS RIOS, C.; ROWE, Z.; CHARNLEY, F. **A conceptual framework for circular design**. *Sustainability*, v. 8, n. 9, p. 937, 2016.

NAKANDALA, D.; LAU, H.C.W. **Innovative adoption of hybrid supply chain strategies in urban local fresh food supply chain**. *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 24, n. 2, p. 241-255, 2019.

NIMMEGEERS, P.; PARCHOMENKO, A.; DE MEULENAERE, P.; D'HOOGHE, D. R.; VAN STEENBERGE, P. H.; RECHBERGER, H.; BILLEN, P. **Extending multilevel statistical entropy analysis towards plastic recyclability prediction**. *Sustainability*, v. 13, n. 6, p. 3553, 2021.

OLATAYO, K. I.; MATIVENGA, P.; MARNEWICK, A. L. **Plastic value chain and performance metric framework for optimal recycling**. *Journal of Industrial Ecology*, 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU) – BRASIL, **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em junho de 2022.

O'ROURKE, K.; WURZER, C.; MURRAY, J.; DOYLE, A., DOYLE, K.; GRIFFIN, C; RAY, D. **Diverted from landfill: reuse of single-use plastic packaging waste**. *Polymers*, v. 14, n. 24, p. 5485, 2022.

PATÓ, B.; KISS, F. **Short supply chains from an intermediary's point of view**. *On-Line Journal Modelling The New Europe*, n. 34, p. 168-183, 2020.

RAFTOWICZ, M.; KALISIAK-MĘDELSKA, M.; STRUŚ, M. **Redefining the supply chain model on the milicz carp market**. *Sustainability*, v. 12, n. 7, p. 2934, 2020.

RENTIZELAS, A.; SHPAKOVA, A.; MAŠEK, O. **Designing an optimised supply network for sustainable conversion of waste agricultural plastics into higher value products**. *Journal of Cleaner Production*, v. 189, p. 683-700, 2018.

RUSZKAI, C.; PAJTÓK TARI, I.; PATKÓS, C. **Possible Actors in Local Foodscapes? LEADER Action Groups as Short Supply Chain Agents: A European Perspective**. *Sustainability*, v. 13, n. 4, p. 2080, 2021.

SANCHEZ, F. A. C.; BOUDAOU, H.; CAMARGO, M.; PEARCE, J. M. **Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy**. *Journal of Cleaner Production*, v.264, n.10, p. 121602, 2020.

SAUERWEIN, M.; DOUBROVSKI, E.; BALKENENDE, R.; BAKKER, C. **Exploring the potential of additive manufacturing for product design in a circular economy**. *Journal of Cleaner Production*, v. 226, p. 1138-1149, 2019.

SCHYNS, Z.O.G; SHAVER, M.P. **Mechanical recycling of packaging plastics: A review**. *Macromolecular rapid communications*, v. 42, n. 3, p. 2000415, 2021.

SOLARZ, K.; RAFTOWICZ, M.; KACHNIARZ, M.; DRADRACH, A. **Back to Locality? Demand Potential Analysis for Short Food Supply Chains**. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, n. 4, p. 3641, 2023.

STAHEL, W.R. **The product life factor. An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies: The Role of the Private Sector** (Series: 1982 Mitchell Prize Papers), NARC, 1982.

TASHKEEL, R.; RAJARATHNAM, G. P.; WAN, W., SOLTANI, B.; ABBAS, A. **Cost-Normalized Circular Economy Indicator and Its Application to Post-Consumer Plastic Packaging Waste**. *Polymers*, v. 13, n. 20, p. 3456, 2021.

TOCHÁČEK, J.; GREGOR, J., KROPÁČ, J.; PAVLAS, M., POUL, D.; UCEKAJ, V. **Plastics recycling as a part of circular economy**. *Chemical Engineering Transactions*, v. 88, p. 1303-1308, 2021.

TUNDYS, B.; WIŚNIEWSKI, T. **Benefit optimization of short food supply chains for organic products: A simulation-based approach**. *Applied Sciences*, v. 10, n. 8, p. 2783, 2020.

VAN DAM, S.; SLEESWIJK VISSER, F.; BAKKER, C. **The impact of co-creation on the design of circular product-service systems: learnings from a case study with washing machines**. *The Design Journal*, v. 24, n. 1, p. 25-45, 2021.

VAN FAN, Y.; CUCEK, L.; KLEMEŠ, J. J.; VUJANOVIC, A; VARBANOV, P. S. **Life Cycle Assessment Approaches of Plastic Recycling with Multiple Cycles: Mini Review**. *Chemical Engineering Transactions*, v. 94, p. 85-90, 2022.

VEGTER, D.; VAN HILLEGERSBERG, J.; OLTHAAR, M. **Performance measurement system for circular supply chain management**. *Sustainable Production and Consumption*, v. 36, p. 171-183, 2023.

VERGARA, S.C. **Métodos de pesquisa em administração**. Atlas, 2005.

VIMAL, K. E. K.; KANDASAMY, J.; GITE, V. **A framework to assess circularity across product-life cycle stages—A case study**. *Procedia CIRP*, v. 98, p. 442-447, 2021.

WELLE, F. **Recycling of post-consumer polystyrene packaging waste into new food packaging applications—Part 1: Direct food contact**. *Recycling*, v. 8, n. 1, p. 26, 2023.

WWF BRASIL, **Atlas do Plástico – Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos – 2020**. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/>. Acesso em junho de 2021.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**, São Paulo: Bookman editora, 2015.

YOGESH P. D., YOGESH P.; BORADE, A..B. **Developing the plastic green supply chain management framework and implementation strategy to deliver the sustainability needs of Plastic processing industries.** International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD), Vol. 9, Issue 3, Jun 2019.

ZHANG, X.; QING, P.; YU, X. **Short supply chain participation and market performance for vegetable farmers in China.** Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, v. 63, n. 2, p. 282-306, 2019.

ZHANG, A.; WANG, J. X.; FAROOQUE, M.; WANG, Y.; CHOI, T. M. **Multi-dimensional circular supply chain management: A comparative review of the state-of-the-art practices and research.** Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, v. 155, p. 102509, 2021.

ZIMON, D.; TYAN, J.; SROUFE, R. **Drivers of sustainable supply chain management: Practices to alignment with UN sustainable development goals.** International Journal for Quality Research, v. 14, n. 1, 2020.