

GUSTAVO ALLEGREINI KAIRALLA

**ECONOMIA CIRCULAR EM RECICLADORAS
DO SETOR TÊXTIL, ANÁLISE E DESAFIOS**

São Paulo
2025

GUSTAVO ALLEGRENI KAIRALLA

**ECONOMIA CIRCULAR EM RECICLADORAS
DO SETOR TÊXTIL, ANÁLISE E DESAFIOS**

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do *Diploma de*
Engenharia de Produção.

São Paulo
2025

GUSTAVO ALLEGREINI KAIRALLA

**ECONOMIA CIRCULAR EM RECICLADORAS
DO SETOR TÊXTIL, ANÁLISE E DESAFIOS**

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do *Diploma de*
Engenharia de Produção.

Orientador:

Professor Dr. João Amato Neto

São Paulo
2025

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação-na-publicação

Kairalla, Gustavo

ECONOMIA CIRCULAR EM RECICLADORAS DO SETOR TÊXTIL,
ANÁLISE E DESAFIOS / G. Kairalla -- São Paulo, 2025.
97 p.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de
Engenharia de Produção.

1.Economia Circular 2.Indústria Têxtil 3.Sustentabilidade 4.Reciclagem
Têxtil I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Produção II.t.

Dedico esse trabalho à minha família que me apoiou em todos os momentos ao longo dessa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho é a marca final para atingir a formação de engenheiro e tenho muito a agradecer por ter chegado até aqui.

A quem esteve sempre ao meu lado, em especial minha mãe, meu pai, minhas irmãs e minha namorada, agradeço pelo apoio incondicional e suporte ao longo dos últimos seis anos de Escola Politécnica. Foi uma trajetória longa, mas com muitos aprendizados e crescimento pessoal e profissional. Muito obrigado por estarem comigo em todos os momentos desde a entrada, o intercâmbio e a graduação.

Agradeço aos meus amigos do colégio e da universidade que dividiram ótimos momentos dentro e fora da sala de aula comigo e tornaram a jornada mais tranquila.

Agradeço também a todos os professores que tive ao longo da faculdade por transmitirem os ensinamentos teóricos e práticos, em especial ao meu orientador, professor João Amato Neto, que me auxiliou no direcionamento e na conclusão deste trabalho.

"The greatest threat to our planet is the belief that someone else will save it"

Robert Swan

RESUMO

O presente trabalho investiga a aplicação de conceitos da economia circular na indústria têxtil brasileira, com ênfase em um elo fundamental na cadeia de reciclagem: as recicadoras pré-consumo. Há uma necessidade urgente de transição do tradicional modelo linear de produção para um modelo regenerativo e sustentável. Este estudo está apoiado em uma revisão bibliográfica que abrange os principais temas que permeiam a atuação das recicadoras, tais como economia circular, estratégias de reciclagem, histórico da indústria têxtil, desafios e legislação aplicável. O objetivo é mapear os modelos de negócios dessas empresas e identificar as barreiras operacionais e sistêmicas para a implementação da circularidade. A coleta de dados empíricos foi realizada por meio de quatro entrevistas semiestruturadas com empresas do ramo, nas quais foram explorados o processo produtivo, as estratégias adotadas, os impactos e os principais desafios. Os resultados da análise comparativa concluem que todas as empresas enfrentam desafios comuns classificados nas esferas técnica, econômica e sistêmica. Na esfera técnica, o principal gargalo identificado foi a etapa de triagem e separação de resíduos, que permanece manual devido à inexistência de tecnologias de automação acessíveis para a classificação por cor no mercado nacional. Sob a ótica econômica, a viabilidade das recicadoras é afetada pelos elevados custos logísticos e de armazenagem, decorrentes da sazonalidade da oferta de resíduos e da extensão territorial do país. Por fim, a análise sistêmica apontou a ineficácia prática da legislação atual e a ausência de incentivos fiscais robustos ou linhas de financiamento específicas como barreiras críticas.

Palavras-Chave – economia circular; recicadoras; reciclagem; resíduo têxtil; indústria têxtil; sustentabilidade.

ABSTRACT

This study investigates the application of circular economy concepts within the Brazilian textile industry, emphasizing a fundamental link in the recycling chain, the pre-consumer recyclers. There is an urgent need to transition from the traditional linear production model to a regenerative and sustainable one. This work is underpinned by a literature review regarding the main themes surrounding recyclers' operations, such as circular economy, recycling strategies, the history of the textile industry, and the challenges and legislation pertaining to textile recyclers. The present study investigates the business models of recyclers and identifies operational and systemic barriers to circularity. Empirical data collection were collected through four semi-structured interviews with companies in the sector, focusing on production processes, strategies, impacts, and barriers. The results of the comparative analysis indicate that all companies face common challenges, classified into technical, economic, and systemic spheres. In the technical sphere, the primary barrier identified was the waste sorting and separation stage. This remains a manual process due to the lack of affordable automation technologies for color classification in the domestic market. From an economic perspective, the viability of recyclers is strained by high logistical and storage costs resulting from the seasonality of waste supply and the country's vast territorial extension. Finally, the systemic analysis highlighted the practical ineffectiveness of current legislation and the absence of robust tax incentives or specific financing credit as critical barriers.

Keywords - circular economy; recyclers; recycling; textile waste; textile industry; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

1	Produção global de fibras têxteis	25
2	Objetivos de desenvolvimento sustentável	26
3	Diagrama borboleta da economia circular	31
4	Cadeia de valor da economia circular	33
5	Processos da fabricação têxtil	43
6	Processo de reciclagem e fiação têxtil	46
7	Empresa B: aparas de algodão após a coleta	67
8	Empresa B: aparas de algodão após triagem e classificação	67
9	Empresa B: fibras de aparas recicladas	68
10	Empresa B: fibras coloridas embaladas	68
11	Empresa B: fios reciclados enrolados	69
12	Empresa C: etapas do processo produtivo	72
13	Empresa C: coleta do resíduo em lotes	73
14	Empresa C: resíduos Têxteis	73
15	Empresa C: segregação do resíduo em cores	74
16	Empresa C: fiação	74
17	Empresa C: conicaleira	75
18	Empresa C: produto final pré-embalagem	75

LISTA DE TABELAS

1	Resumo de implementações da economia circular	34
2	Quadro de desafios enfrentados pela reciclagem têxtil	51
3	Características da abordagem metodológica	55
4	Características da abordagem metodológica	57
5	Roteiro das entrevistas semiestruturadas	59
6	Quadro de desafios validados enfrentados por recicadoras da indústria têxtil pré-consumo	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	<i>Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção</i>
EC	<i>Economia Circular</i>
EMF	<i>Ellen MacArthur Foundation</i>
ODS	<i>Objetivos de Desenvolvimento Sustentável</i>
ONU	<i>Organização das Nações Unidas</i>
C2C	<i>Cradle-to-cradle</i>
ACV	<i>Avaliação do Ciclo de Vida</i>
REP	<i>Responsabilidade Estendida do Produtor</i>
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
PNRS	<i>Política Nacional dos Resíduos Sólidos</i>
GRS	<i>Global Recycled Standard</i>

SUMÁRIO

1	Introdução	24
1.1	Contexto e relevância do tema	24
1.2	Motivação	27
1.3	Objetivos	27
1.4	Estrutura do trabalho	27
2	Revisão Bibliográfica	29
2.1	Economia circular: fundamentos e princípios	29
2.2	Estratégias circulares	32
2.2.1	Ecodesign	35
2.2.2	Upcycling	35
2.2.3	Downcycling	36
2.2.4	Recycling	37
2.2.4.1	Recycling primário	37
2.2.4.2	Recycling mecânico	38
2.2.4.3	Recycling químico	38
2.3	Indústria têxtil	39
2.3.1	Contexto histórico	39
2.3.1.1	Protoindustrialização	39
2.3.1.2	Mecanização da indústria	40
2.3.1.3	Novos produtos e geografias	40
2.3.1.4	Fast fashion	41
2.3.1.5	Ultra-fast fashion	41
2.3.2	Ecossistema, produção e reciclagem	42

2.4	Recicladoras têxteis	44
2.4.1	Desafios e legislação	47
3	Metodologia	54
3.1	Estratégia e contexto da pesquisa	54
3.2	Estudo de casos múltiplos	55
3.2.1	Seleção dos casos	56
3.2.2	Coleta e análise de dados	57
3.2.3	Roteiro de entrevistas semiestruturadas	58
4	Estudos de caso	61
4.1	Estudo de caso 1 - empresa A	61
4.2	Estudo de caso 2 - empresa B	65
4.3	Estudo de caso 3 - empresa C	71
4.4	Estudo de caso 4 - empresa D	78
5	Resultados e discussão	81
5.1	Análise comparativa	81
5.1.1	Caracterização das empresas e modelo de negócios	81
5.1.2	Processo produtivo, qualidade e estratégias	82
5.1.3	Impactos ambientais e econômicos	84
5.2	Consolidação dos desafios enfrentados	87
6	Conclusões e contribuições	91
	Referências	93

1 INTRODUÇÃO

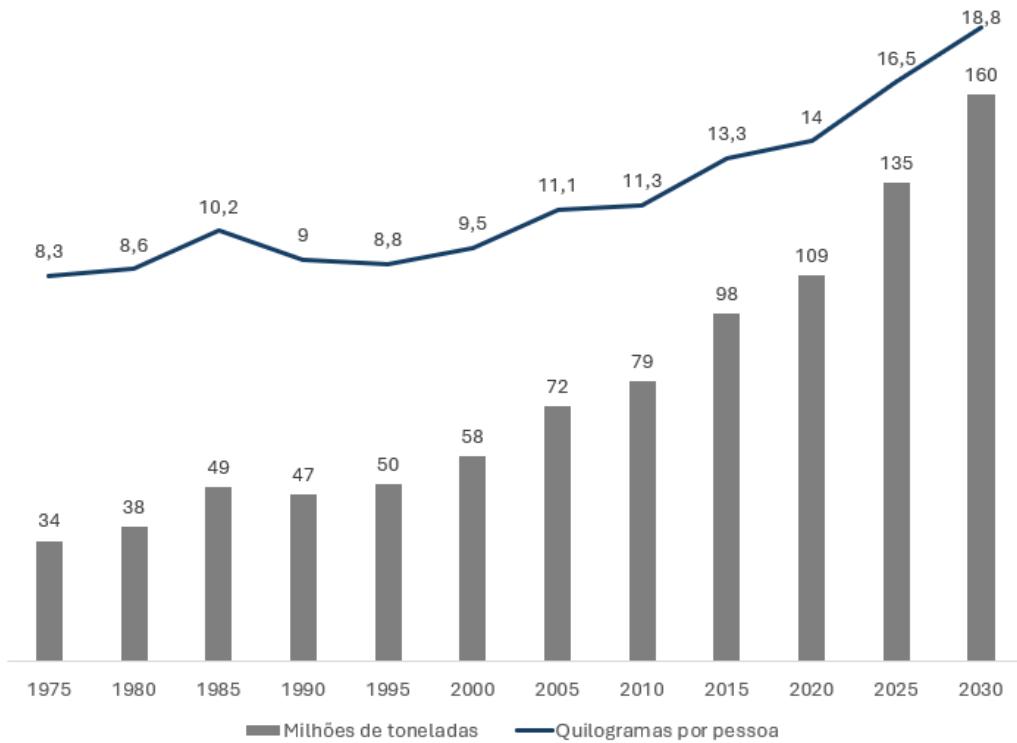
1.1 Contexto e relevância do tema

A indústria têxtil representa um dos pilares da economia brasileira, o faturamento da cadeia têxtil e de confecção foi de 203,9 bilhões de reais em 2023, contra 193,2 bilhões de reais em 2022, segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2024). Além disso, a indústria é um berço do empreendedorismo brasileiro com mais de 25 mil empresas registradas e 9 milhões de trabalhadores formais diretos e indiretos. Isso torna o setor o segundo maior empregador da indústria de transformação, ficando atrás apenas do setor de alimentos (ABIT, 2024).

Em uma perspectiva global, o setor têxtil é extremamente ativo e demonstrou sólido crescimento ao longo das últimas décadas. O crescimento se reflete em uma produção que acompanhou o crescimento populacional e o consumo exacerbado de roupas e vestimentas da moda têxtil (Textile Exchange, 2024).

Segundo o estudo da Textile Exchange (2024) houve um crescimento constante no volume de produção de fibras têxteis, incluindo diversos tipos de fibras como algodão, lã, poliéster, nylon e outros, desde 1990, sendo que a produção per capita não só acompanhou a produção bruta como, na verdade, superou essa produção. É estimado que, em 2030, a produção de fibras têxteis atinja o valor de 18,8 quilogramas de fibras produzidas por pessoa. A Figura 1 a seguir demonstra esse crescimento em uma relação volumétrica e populacional.

Figura 1: Produção global de fibras têxteis



Fonte: Adaptado de Textile Exchange (2024)

O surgimento da indústria têxtil deu-se com um modelo clássico linear de produção baseado em *"take-make-dispose"*, que foi responsável por um crescimento acelerado da produção e das tecnologias, entretanto isso acarretou um ecossistema de produção insustentável (OTEKENARI, 2020). Esse modelo tem como consequência um enorme desperdício de resíduos têxteis e um uso exacerbado de recursos naturais, o que afeta o equilíbrio natural do meio ambiente (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Por conta disso, mudanças ambientais significativas como aquecimento global e escassez de recursos naturais estão ocorrendo com grau mais acentuado, o que fez diversos países irem atrás de modelos mais sustentáveis (GENG et al., 2012). Nesse contexto, a economia circular surge como uma solução que, por definição da Ellen MacArthur Foundation (2017), é um modelo industrial restaurador e regenerativo benéfico para a sociedade, o ambiente e os negócios. No contexto de uma nova economia têxtil, as roupas, tecidos e fibras são mantidas em seu maior grau de valor durante o uso e depois são reinseridas na cadeia, sem que sejam descartadas criando um sistema disruptivo e criando valor para todos os elos da cadeia (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

O tema ganha importância mundial na medida em que diversos eventos estão sendo

redirecionados para discutir o tema da economia circular de forma internacional. Exemplo disso é o *International Day of Zero Waste* que foi criado pelas Nações Unidas em 2022 com o objetivo de trazer para a pauta temas voltados para a resolução de problemas de poluição ambiental (United Nations, 2022). Em 2025, o *International Day of Zero Waste* teve como temática central o foco na necessidade urgente de reduzir o impacto de resíduos sólidos gerados pela indústria têxtil, tanto no processo quanto no descarte do produto final. O dia carregou o título *Towards zero waste in fashion and textiles*, promovendo discussões e palestras que tangenciavam a sustentabilidade e circularidade no setor (United Nations, 2025).

Além disso, a reciclagem e a utilização de aplicações da EC na economia estão diretamente relacionadas a alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ROSA, 2023). A Agenda 2030 e os 17 ODS da ONU enfatizam a atenção global para a sustentabilidade e alguns deles são influenciados diretamente pela adoção de práticas circulares na economia. São eles o objetivo 9 - Indústria, Inovação e Tecnologia, o qual diz que as edificações sustentáveis devem ser projetadas para garantir resiliência e adaptabilidade em meio às mudanças climáticas; e o objetivo 12 - Consumo e Produção Responsáveis, que tem um papel muito importante na prevenção de resíduos por meio da reciclagem, um dos pilares deste estudo. Os ODS podem ser vistos por completo na Figura 2 (United Nations, 2023).

Figura 2: Objetivos de desenvolvimento sustentável



Fonte: United Nations (2023)

1.2 Motivação

A partir do cenário delineado anteriormente, o presente estudo é motivado pela urgência de adaptação e mudança na indústria têxtil. Há uma necessidade evidente de transição de um modelo linear da indústria brasileira, o qual é insustentável pela geração exacerbada de resíduos, para um modelo de economia circular. Já é reconhecido que o modelo tradicional de *"take-make-dispose"* não é mais compatível com os objetivos e os desafios socioambientais do mundo contemporâneo (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Além disso, pela importância e relevância da indústria têxtil no Brasil, conforme apontado pelos dados da ABIT (2024), tanto na receita gerada quanto na empregabilidade, acentua-se a importância e a motivação para a busca de um modelo com soluções sustentáveis que busquem estabilidade ambiental a longo prazo, minimizando os impactos e otimizando o uso de recursos.

1.3 Objetivos

O objetivo central deste trabalho de conclusão de curso é contribuir para a compreensão dos desafios enfrentados por recicadoras da indústria têxtil. Para tanto, serão realizados estudos de caso que investigarão o modelo de negócios e impactos decorrentes de práticas que já estão sendo aplicadas por empresas que se colocam como recicadoras da indústria.

Dessa forma, os objetivos do trabalho são:

- Mapear e descrever o modelo de negócios de recicadoras da cadeia produtiva têxtil brasileira no que tange a EC;
- Entender e mapear os desafios enfrentados pelas recicadoras da indústria têxtil brasileira.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho de formatura está organizado em seis partes com o intuito de guiar o leitor de forma lógica pelos seguintes capítulos: introdução, revisão bibliográfica, metodologia, estudos de caso, resultados e discussão, e conclusões e contribuições.

- **Capítulo 1 - Introdução:** apresenta o panorama global do estudo ao iniciar com a contextualização e relevância da economia circular para a indústria têxtil. Este capítulo também contém a motivação por trás da pesquisa, os objetivos gerais da pesquisa e, por fim, descreve a estrutura completa do trabalho.
- **Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica:** constrói a fundamentação teórica necessária para a compreensão do estudo. Para isso inicia-se com a revisão dos conceitos, fundamentos e princípios da EC, seguida por uma análise das principais estratégias circulares. O capítulo contextualiza a indústria têxtil, desde sua evolução histórica até a dinâmica atual com o ecossistema moderno e por fim, o processo de produção e reciclagem com os desafios que permeiam as recicadoras têxteis.
- **Capítulo 3 - Metodologia:** expõe a metodologia utilizada para atingir os objetivos da pesquisa. Nesse sentido, descreve as características da abordagem (qualitativa e exploratória) e os critérios de escolha dos estudos de caso, bem como o método para a coleta de dados e os procedimentos para análise dos mesmos.
- **Capítulo 4 - Estudos de Caso:** reflete a apresentação detalhada das entrevistas realizadas com empresas recicadoras selecionadas para o trabalho. O capítulo descreve o modelo de negócios das organizações com enfoque nas práticas e tecnologias de EC implementadas na gestão de resíduos sólidos têxteis.
- **Capítulo 5 - Resultados e discussão:** organiza os principais dados e achados que foram coletados por meio dos estudos de caso. Os resultados de cada estudo são consolidados para evidenciar os desafios encontrados e estratégias de economia circular utilizadas pelas recicadoras.
- **Capítulo 6 - Conclusões e contribuições:** o capítulo final é responsável por sintetizar as principais contribuições da pesquisa. Para isso, retoma os objetivos propostos, resume as descobertas, aponta limitações e explora possibilidades futuras de investigação na área para aprimoramento de futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão da literatura foi realizada como base para a contextualização teórica necessária para o cumprimento dos objetivos deste trabalho. Primeiramente, foram discutidos os principais conceitos e teorias que permeiam a Economia Circular, sua função e definição.

2.1 Economia circular: fundamentos e princípios

A EC representa uma mudança sistêmica fundamental ao transformar radicalmente a produção e os sistemas de consumo em relação ao modelo de economia linear, o qual é definido como *"take-make-dispose"* (KIRCHHERR et al., 2017). O modelo tradicional, que trata os recursos como infinitos e o descarte como única possibilidade de dar um fim ao produto, está se tornando cada vez mais insustentável e incompatível com o futuro da humanidade (OTEKENARI, 2020).

Por conta dessa urgência, muitas escolas e autores passaram a publicar estudos e proposições de definições e modelos de EC (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017). A ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2019) define a EC como um modelo de produção e consumo que visa minimizar o desperdício, maximizar a utilização dos recursos disponíveis no processo industrial e dissociar o crescimento econômico da necessidade de consumir recursos finitos ao adotar um modelo cada vez mais circular. Já Morseletto (2020) caracteriza-a por ser restauradora e regenerativa por design, buscando manter materiais, componentes e produtos em seu mais alto valor agregado e utilidade prática pelo maior tempo possível, alcançando isso ao desvincular o desenvolvimento econômico dos impactos negativos causados pelo esgotamento de recursos naturais (MORSELETTO, 2020).

O conceito de EC é abordado por diferentes autores pelo interesse mútuo de acadêmicos e membros da indústria por ser o modo de implementação do desenvolvimento sustentável nos negócios (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2015). A EC é tida como um modelo que

tem o potencial de instituir novos padrões de comportamento, permitindo que a sociedade atinja níveis de sustentabilidade e bem-estar com um impacto material, energético e ambiental quase nulo (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

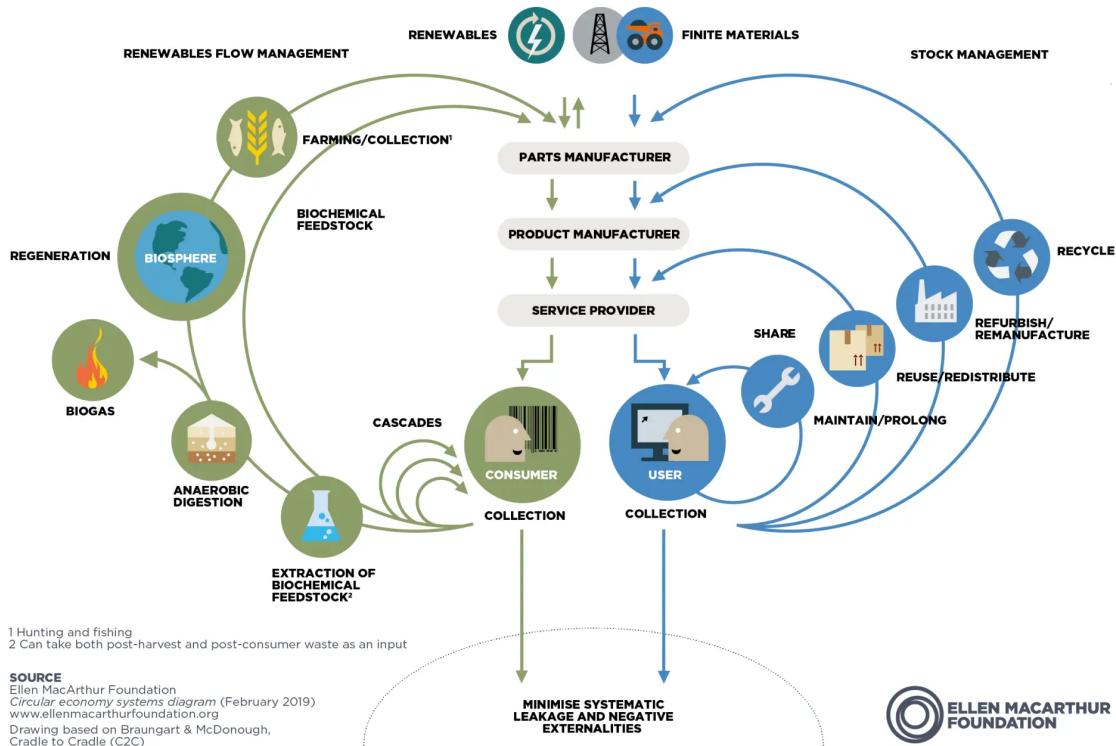
Com uma abordagem diferente, Blomsma e Brennan (2017) argumentam que a principal função da EC é conectar e integrar noções e conceitos teóricos já existentes que até então não eram conectados, traçando um paralelo com a definição do modelo "guarda-chuva" (HIRSCH; LEVIN, 1999).

Além disso, conforme o conceito de EC foi ganhando popularidade ao longo dos anos, seu entendimento se relacionou com outros conceitos vigentes na literatura (GEISSDO-ERFER et al., 2016). Dessa forma, Geissdoerfer et al. (2016) entendem que uma das principais influências é o *Cradle-to-Cradle* de McDonough e Braungart (2002).

O *Cradle-to-Cradle* é um conceito que vai além da mera sustentabilidade como redução de danos, representando uma visão de mundo futura onde a atividade humana é ativa na busca pela melhora da saúde do planeta (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002).

Este conceito foi um dos pilares para uma das definições mais utilizadas de EC formulada pela Ellen MacArthur Foundation. O Diagrama Borboleta, como mostra a Figura 3, é uma representação visual da economia circular. O nome "borboleta" vem de seu formato característico, com duas "asas" que representam os dois ciclos fundamentais de materiais da economia: o Ciclo Técnico e o Ciclo Biológico. Ele ilustra de forma clara como podemos redesenhar o sistema econômico, saindo do modelo linear de *take-make-dispose* (OTEKENARI, 2020) para um modelo restaurador e regenerativo por design (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

Figura 3: Diagrama borboleta da economia circular



Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2019)

O Ciclo Biológico (asa esquerda do diagrama) representa o fluxo de materiais biodegradáveis. Ou seja, são todos os materiais que podem retornar ao ambiente de forma segura para se decompor e regenerar o capital natural (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

O Ciclo Técnico (asa direita do diagrama) representa o fluxo de produtos e materiais finitos como metais, plásticos e componentes eletrônicos. Como eles não se decompõem naturalmente, o objetivo é mantê-los circulando na economia pelo maior tempo possível, preservando seu valor agregado (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

Por fim, no centro do diagrama está o agente responsável pelo ciclo, o ser humano, representado como consumidor e usuário dos bens biológicos e técnicos. As decisões de compra, os modelos de negócio e as políticas públicas fazem os materiais fluírem por esses ciclos de forma eficaz (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

O desenvolvimento desse diagrama precede os três princípios fundamentais da EC de acordo com a ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2019), que são:

- Eliminar Resíduos e Poluição: este primeiro princípio foca em projetar produtos

e sistemas de forma a evitar a geração de resíduos e poluição desde o início. Isso envolve a escolha de materiais seguros, a otimização de processos produtivos e o design para durabilidade.

- Circular Produtos e Materiais: este segundo princípio tem como objetivo manter produtos, componentes e materiais em uso contínuo, preservando seu valor intrínseco pelo maior tempo possível. Isso é alcançado através de diversas estratégias, como manutenção, reuso, reparo, reforma, remanufatura e reciclagem.
- Regenerar a Natureza: o último princípio busca ativamente melhorar os sistemas naturais. Isso implica o uso de recursos renováveis, a devolução segura de nutrientes biológicos ao meio ambiente e a promoção de práticas agrícolas e florestais regenerativas que aumentem a biodiversidade e a saúde dos ecossistemas.

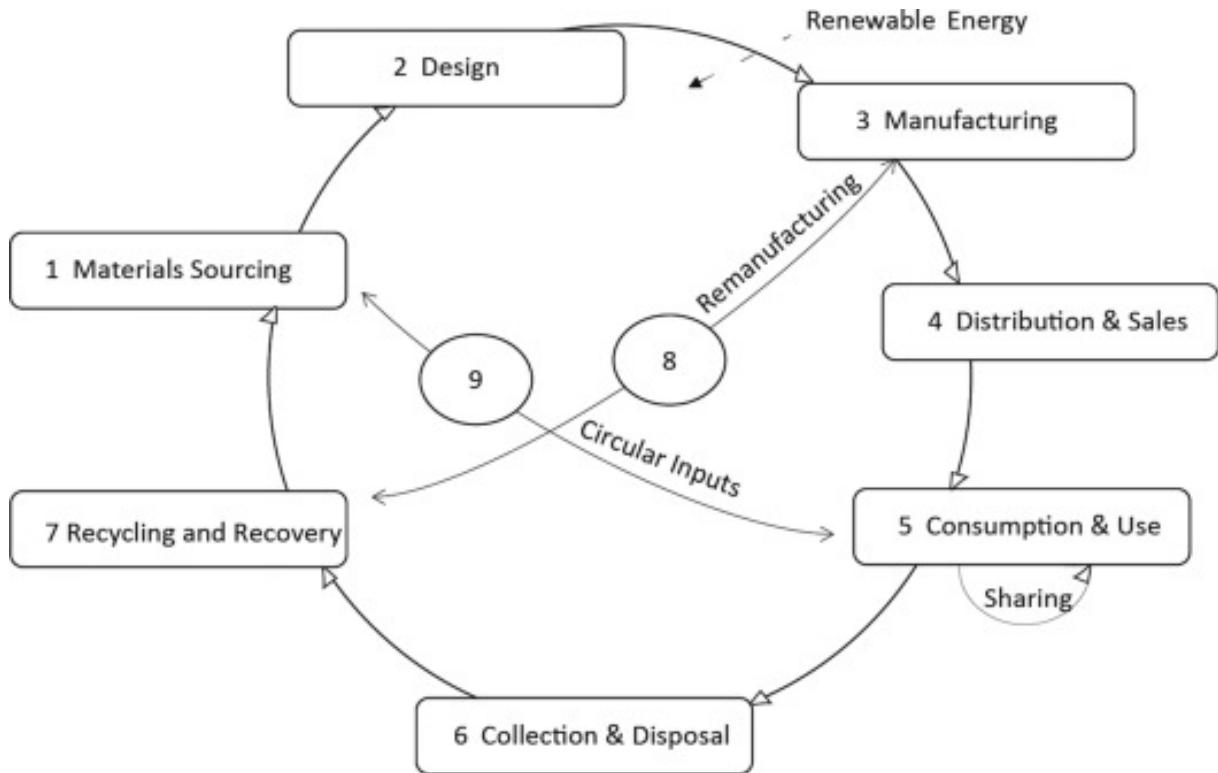
Com o objetivo de colocar em prática a EC baseada em seus princípios fundamentais, existem diversas estratégias e tecnologias que serão revisadas na seguinte seção.

2.2 Estratégias circulares

Dentre as diversas abordagens que visam colocar em prática elementos da EC, alguns conceitos são mais notáveis e adotados na literatura sustentável. Em sua pesquisa Kalmykovaa, Sadagopanb e Rosadoc (2018) discutem o desenvolvimento e a implementação de estratégias de EC. A construção do estudo se deu por uma base de cerca de 100 estudos de caso diferentes que foram encontrados em diferentes fontes e envolveram tanto artigos acadêmicos quanto não acadêmicos.

Com o estudo, foi desenvolvida uma cadeia de valor da EC que envolve nove etapas distintas em um ciclo fechado guiado pelo fluxo de materiais e manutenção da energia. Os materiais seguem o fluxo de acordo com a Figura 4, sendo que há diversas possibilidades da maneira como os materiais circulam pelo fluxo. Existem pequenos *loops*, como o de "Compartilhamento" dentro da etapa número cinco, e nós que são "cortados" pelas etapas oito e nove (KALMYKOVAA; SADAGOPANB; ROSADOC, 2018).

Figura 4: Cadeia de valor da economia circular



Fonte: Kalmykova, Sadagopanb e Rosadoc (2018)

Para cada uma das etapas Kalmykova, Sadagopanb e Rosadoc (2018) listaram uma série de estratégias que se encaixam no contexto específico da atividade numerada. Dessa forma foi possível entender de forma prática como cada um desses conceitos pode ser aplicado, o que é resumido na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo de implementações da economia circular

Etapa da Cadeia de Valor	Estratégias de Implementação da EC
1. Fornecimento de Materiais	Substituição de materiais por outros renováveis. Compras verdes. Produção de energia a partir de subprodutos ou recuperação de calor residual. Concessão de créditos fiscais e subsídios. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).
2. Design	Design para desmontagem/reciclagem. Design para modularidade com produtos que podem ser reparados individualmente. <i>Ecodesign</i> , focado nos impactos ambientais do produto durante todo o seu ciclo de vida. Personalização ou produção sob encomenda.
3. Manufatura	Aumento da eficiência energética nos processos. Aumento da produtividade dos materiais. Manufatura reproduzível e adaptável.
4. Distribuição e Vendas	Design otimizado de embalagens. Redistribuição e revenda de produtos para estender sua vida útil.
5. Consumo e Uso	Compartilhamento do produto. Produto como serviço, onde o produtor mantém a propriedade do produto e o cliente paga pelo seu uso. Reutilização direta de produtos ou seus componentes. Virtualização. <i>Stewardship</i> . Rotulagem ecológica.
6. Coleta e Descarte	Responsabilidade Estendida do Produtor (REP). Reciclagem Incentivada. Construção logística/infraestrutura. Separação ecológica. Sistemas de devolução e troca (<i>take-back and trade-in</i>).
7. Reciclagem e Recuperação	Uso de subprodutos. <i>Cascading</i> . <i>Downcycling</i> . Recuperação de substâncias. Recuperação de energia. Extração de bioquímicos. Reciclagem funcional. Reciclagem de alta qualidade. Simbiose Industrial. Restauração. <i>Upcycling</i> .
8. Remanufatura	Reforma dos produtos. Atualização constante. Manutenção e Reparo.
9. Insumos Circulares	Uso de matéria-prima de base biológica que dura mais do que um ciclo de vida.

Fonte: Adaptado de Kalmykova, Sadagopanb e Rosadoc (2018)

Assim, conforme apresentado na Figura 4, a Tabela 1 elenca as diversas estratégias que viabilizam o ciclo da economia circular. As estratégias abrangem todas as nove etapas da cadeia, demonstrando a complexidade e a amplitude de ações necessárias para fechar o ciclo dos materiais. Com o objetivo de aprofundar o entendimento dessas estratégias, quatro conceitos de grande relevância na literatura serão analisados mais detalhadamente.

2.2.1 Ecodesign

O *ecodesign*, também descrito como Design Ecológico ou Design para o Meio Ambiente, é uma estratégia de implementação da EC que reflete a integração sistemática de considerações ambientais em todas as fases do processo de design e de desenvolvimento do produto, ou seja, ele integra aspectos diversos tanto do design como de conceitos ecológicos de produção (KARLSSON; LUTTROPP, 2006).

Segundo Charter e Tischner (2001), atender às necessidades da sociedade de forma responsável é o foco de todas soluções sustentáveis. O *ecodesign* se manifesta em meio a essas soluções em produtos e serviços que são intencionalmente desenvolvidos para gerar o máximo de valor positivo e o mínimo de impacto negativo nas esferas econômica, ambiental, social e ética, desde sua concepção até depois de seu descarte (CHARTER; TISCHNER, 2001).

A evolução moderna do *ecodesign* reflete uma mudança de paradigma. Inicialmente, as preocupações ambientais na indústria focavam-se em soluções *"end-of-pipe"* (fim de tubo), que consistiam em tratar os descartes gerados ao final do processo produtivo. O *ecodesign* representa uma transição para uma abordagem preventiva e sistêmica, que integra as considerações ambientais desde as fases iniciais do projeto, nas quais as decisões têm maior impacto e menores custo de implementação (SCHÄFER; LÖWER, 2021).

Em resumo, os princípios fundamentais do *ecodesign* baseiam-se em uma visão holística que não se limita apenas à fase de produção. O pilar central é a ACV, que abrange desde a extração da matéria-prima e passa pela fabricação, distribuição e uso até o fim da vida útil do produto (VALLET et al., 2013).

2.2.2 Upcycling

Na literatura, o *upcycling* pode ser definido como a prática de transformação de produtos e resíduos sólidos que estão em fim de vida, em novos materiais ou produtos com maior valor agregado (BRAUNGART; McDONOUGH; BOLLINGER, 2007). Ou seja, é

o processo de transformar subprodutos, resíduos, materiais de baixo valor, em produtos de maior qualidade, valor estético ou valor ecológico (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2013).

Nesse sentido, o *upcycling* é, em sua essência, um processo de design que enxerga o material não como um fim, mas como um subproduto com potencial enorme de exploração e valorização, o que estende a vida útil do produto e está intrinsecamente ligado à valorização da matéria-prima (ASCHEMANN-WITZEL; STANGHERLIN, 2021).

Os materiais e subprodutos que podem atravessar o processo de *upcycling* são inúmeros, o que torna sua aplicabilidade muito abrangente e importante em diversos contextos (ASCHEMANN-WITZEL; STANGHERLIN, 2021). Há uma relação direta entre o *upcycling* e o conceito de C2C de (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002), dado que em ambos os casos há a manutenção da condição de uso dos materiais e a preservação do conteúdo promovida por ciclos, tanto técnicos quanto biológicos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017) (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

2.2.3 Downcycling

O *downcycling* é definido como um processo de ciclo aberto no qual o material reciclado tem uma qualidade inferior e menor funcionalidade em comparação ao material original (HELBIG et al., 2022). O estudo de Reike, Vermeulen e Witjes (2018) aponta ainda que a maior parte do que é comumente chamado de reciclagem é, na verdade, uma forma de *downcycling* do produto.

Em diversas ocasiões, o *downcycling* é frequentemente inevitável por conta da mistura de diferentes polímeros, no caso de produtos e materiais de plástico, e por conta da degradação inerente das fibras a cada novo ciclo de *downcycling* (RAGAERT; DELVA; GEEM, 2017).

Ao comparar o conceito de EC refinado pela ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2017) com o conceito de *downcycling*, percebe-se que o segundo é um funil de uso, em que o material perde valor a cada ciclo até se tornar um resíduo a ser descartado ou incinerado (REIKE; VERMEULEN; WITJES, 2018). Nesse sentido, o *downcycling* não possui um ciclo fechado como o da EC e o do conceito C2C de McDonough e Braungart (2002), dado que os materiais possuem um fim claro de descarte.

2.2.4 Recycling

O último conceito apresentado nesta seção é o de *recycling*, também entendido como reciclagem de alta qualidade. Esse é o conceito que está mais atrelado ao C2C de McDonough e Braungart (2002) já que é descrito como um processo de ciclo fechado. Na reciclagem de alta qualidade, o material é recuperado de um produto descartado e reprocessado para fabricar um novo produto com a mesma função e qualidade do original (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002).

Os autores definem esse conceito como a reciclagem ideal dos materiais e a perpetuação dos nutrientes técnicos, que são materiais projetados para circular indefinidamente em sistemas industriais sem perda de qualidade. Ou seja, a proposta dos autores é eliminar o conceito de "resíduo" dado que uma cadeia circular mantenha-se em pleno funcionamento ao longo de múltiplos ciclos de vida (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002) (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

É importante destacar que nos diversos âmbitos da EC, a reciclagem de alta qualidade é uma das estratégias que mantém os materiais e produtos em circulação em seu mais alto valor. Sendo assim, é um dos últimos recursos técnicos para o ciclo técnico observado no Diagrama Borboleta, priorizando estratégias que preservem a energia e o trabalho já embutidos no produto, como reuso, reparo e outros (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

No momento em que essas estratégias não são mais possíveis de ser feitas para manter o produto, o processo de *recycling* entra para garantir a melhor restauração para que os produtos possam ser reutilizados. O estudo de Reike, Vermeulen e Witjes (2018) reforça a visão de que o *recycling* é uma estratégia chave na EC.

A literatura sobre a gestão de resíduos sólidos e EC ainda classifica os diferentes processos de *recycling* em uma hierarquia que reflete a transformação do material e a retenção de seu valor. Os principais são: primário, mecânico e químico.

2.2.4.1 Recycling primário

O primeiro processo da linha hierárquica do *recycling*, a reciclagem primária, é o processo mais puro e de maior valor da cadeia.

O *recycling* primário consiste no reprocessamento de resíduos sólidos e apara industrial que são gerados dentro do próprio processo de fabricação e são reintroduzidos na mesma linha de produção. Ou seja, na prática o material nunca deixa o ambiente fa-

bril de produção e não chega a se tornar um produto de fato para o consumidor final (WORRELL; REUTER, 2014).

Esse tipo de *recycling* é o que se encaixa perfeitamente no conceito de C2C de McDonough e Braungart (2002), dado que a contaminação ambiental é mínima e a composição do material é controlada na raiz da fabricação. Além disso, é a forma mais eficiente de reciclagem em termos de energia e conservação de recursos secundários, pois evita perdas de processo, necessidade de transporte e reprocessamento pós-consumo (WORRELL; REUTER, 2014).

2.2.4.2 Recycling mecânico

O segundo processo da linha hierárquica do *recycling*, a reciclagem mecânica, é o processo mais comum e amplamente reconhecido na metodologia de reciclagem pós-consumo.

O *recycling* mecânico envolve a recuperação de um resíduo através de processos físico-mecânicos que não alteram a estrutura química fundamental dos materiais envolvidos. São exemplos de reciclagem mecânica: triagem, limpeza, moagem, fusão, extrusão e outros. Nesse sentido, o objetivo do processo é transformar o resíduo em um granulado ou *pellet* (pequeno aglomerado de material) que possa ser usado na fabricação de novos produtos (RAGAERT; DELVA; GEEM, 2017).

A aplicação do *recycling* mecânico é utilizada em diversos setores da economia por ser uma das estratégias mais simples e eficientes em termos de custos e energia e possui destaque, principalmente, na reciclagem de polímeros (AL-SALEM; LETTIERI; BAEYENS, 2009). A problemática da sociedade envolvendo a abundância de materiais de plásticos descartados sem tratamento é um dos motivos de existir uma vasta e pioneira literatura a respeito da reciclagem mecânica de polímeros e derivados (HOPEWELL; DVORAK; KOSIOR, 2009) (MUZATA; MATUANA; RABNAWAZ, 2024).

2.2.4.3 Recycling químico

A terceira estratégia da hierarquia do *recycling*, a reciclagem química, é o processo mais nobre dos já citados, sendo inclusive chamada de reciclagem avançada.

O *recycling* químico pode ser definido como um conjunto de processos que altera a estrutura química de um produto ou material para revertê-lo aos seus subprodutos fundamentais ou a compostos químicos básicos da cadeia de composição (RAGAERT; DELVA; GEEM, 2017). Os processos normalmente envolvem a utilização de calor, pressão,

catalisadores solventes e outros, de forma que a estrutura molecular do material seja quebrada (SCHADE et al., 2024). Além disso, a reciclagem química pode lidar com resíduos sólidos mais complexos, mistos e até contaminados por outros materiais, algo que é inviável no *recycling* mecânico (RAGAERT; DELVA; GEEM, 2017).

O resultado final da estratégia é uma matéria-prima com qualidade idêntica à da matéria-prima virgem, que pode ser reintroduzida na indústria para produzir novos materiais, fechando o ciclo da EC (em linha com o C2C) de forma completa (RAGAERT; DELVA; GEEM, 2017) (SCHADE et al., 2024).

Da mesma forma que a literatura do *recycling* mecânico apoiou-se no estudo de estratégias para tratar polímeros e plásticos, o *recycling* químico é uma estratégia mais recente, mas o método é visto como uma rota extremamente promissora para a aplicação da EC no setor (LASE et al., 2023).

2.3 Indústria têxtil

2.3.1 Contexto histórico

A indústria têxtil representa um dos setores mais antigos e dinâmicos da economia global, tendo sido a protagonista da primeira grande transformação industrial da humanidade. Sua evolução não se resume a uma simples sucessão de inovações tecnológicas, mas reflete profundas mudanças nas relações de produção, nos padrões de consumo, na geopolítica mundial e, mais recentemente, nos debates sobre sustentabilidade (YÜLEK et al., 2019). Analisar suas fases históricas é fundamental para compreender a cadeia de valor contemporânea e os desafios que se apresentam, como a transição para uma economia circular, que é um dos focos deste estudo.

2.3.1.1 Protoindustrialização

Antes da Revolução Industrial, a tecelagem e fiação eram, em grande parte, atividades domésticas ou artesanais. Com as inovações, como a máquina de fiar e o tear mecânico, a produção passou gradualmente para fábricas, impulsionando ganhos enormes de produtividade e a ascensão do algodão como material dominante na indústria (TAYLOR, 1988).

No Brasil, a produção têxtil antes do século XIX era majoritariamente artesanal e voltada para o consumo doméstico. A tecelagem de algodão era comum, especialmente

em regiões como Minas Gerais, mas a política colonial portuguesa restringia o desenvolvimento de manufaturas que pudessem competir com os produtos da metrópole. Era uma produção de subsistência, profundamente diferente do sistema fabril que surgiria posteriormente (FURTADO, 2007).

2.3.1.2 Mecanização da indústria

A indústria têxtil foi o berço da Revolução Industrial inglesa da segunda metade do século XVIII, com inovações disruptivas que facilitaram a fiação e tecelagem da matéria-prima. A produção passou do campo à cidade, impulsionada pela aceleração do maquinário disponível (HARLEY, 2012).

A adoção de tecnologias industriais não só acelerou a produção, como também barateou preços e ampliou mercados, tornando o vestuário, que antes era caro, mais acessível a camadas maiores da população. Esse processo criou cadeias produtivas nacionais e, em seguida, transnacionais, já que a produção intensiva em mão de obra buscou locais com custos mais baixos, afetando padrões de comércio e trabalho (HARLEY, 2012).

2.3.1.3 Novos produtos e geografias

A virada para o século XX trouxe uma nova onda de inovações características da Segunda Revolução Industrial. A indústria química emergiu com força, introduzindo as primeiras fibras artificiais, como a viscose, derivada da celulose e, posteriormente, as sintéticas, como o nylon e o poliéster, derivados do petróleo. Essas novas matérias-primas ofereceram características como durabilidade, resistência e baixo custo, competindo diretamente com as fibras naturais e diversificando enormemente a produção (JENKINS, 2003).

Com o passar das décadas, a evolução tecnológica foi amplificando a capacidade de produção de diversos materiais e produtos. A partir disso, a combinação de produção em massa, padronização e transporte global consolidou a indústria têxtil como um setor fortemente integrado internacionalmente. O pioneirismo inglês deu espaço a economias emergentes, onde o custo de produção era extremamente barato, alavancando o setor como um todo (YÜLEK et al., 2019).

2.3.1.4 Fast fashion

O final do século XX e o início do XXI foram dominados pela consolidação das cadeias globais de valor e pela ascensão do modelo de negócios conhecido como *fast fashion*. Grandes varejistas, como a Zara, desenvolveram sistemas logísticos e de produção extremamente ágeis, capazes de levar as tendências das passarelas às lojas em questão de semanas (TOKATLI, 2008). Este modelo se baseia na produção em massa, baixos custos e na constante renovação dos produtos, estimulando o consumo de alta frequência e a descartabilidade das peças (LIPOVETSKY, 1989).

O *fast fashion* acelerou a ”corrida para o fundo” (“*race to the bottom*”), na qual as grandes marcas buscam incessantemente os menores custos de produção, pressionando os salários e as condições de trabalho em países produtores como Bangladesh, Vietnã e Camboja (CLAUDIO, 2007). Do ponto de vista ambiental, este modelo intensificou o consumo de recursos naturais, o uso de produtos químicos e gerou um volume sem precedentes de resíduos têxteis pós-consumo, tornando a indústria uma das mais poluentes do globo (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

2.3.1.5 Ultra-fast fashion

A compulsão consumista da humanidade não se limitou apenas ao *fast fashion*, mas foi ainda mais acelerada a partir da digitalização das compras e da compressão de tempo entre o design das roupas e a produção efetiva. Este modelo de negócio, predominantemente digital e impulsionado por dados, é operado por gigantes do *e-commerce*, e foi denominado por diversos autores da literatura como ”*ultra-fast fashion*” ou como ”a era digital do *fast fashion*”. Ele não apenas intensifica os problemas ambientais e sociais de seu predecessor, mas também redefine a relação do consumidor com o vestuário, tratando-o como um bem de consumo quase descartável (QU, 2024).

Em vez de se basear em previsões de tendências, as empresas de *ultra-fast fashion* utilizam algoritmos para rastrear as redes sociais e identificar micro-tendências emergentes, alimentando diretamente seus sistemas de design. A partir disso, adotam uma estratégia de produção em pequenos lotes, conhecida como ”teste e repetição”. Milhares de novos estilos são lançados diariamente em quantidades mínimas e apenas aqueles que demonstram popularidade imediata têm sua produção escalada (RAJVANSHI; CALDWELL; JOHNSON, 2023). Essa abordagem minimiza riscos de insucesso e é sustentada por uma cadeia de suprimentos hiper-ágil composta por uma vasta rede de pequenas oficinas conectadas digitalmente, que garantem velocidade e custos operacionais baixíssimos. O

ciclo é completado por um marketing digital agressivo, focado na cultura de influenciadores e na promoção de conteúdo gerado pelos usuários das redes sociais (RAJVANSI; CALDWELL; JOHNSON, 2023).

Esse modelo de negócios, apesar de lucrativo, gera consequências socioambientais em uma escala muito maior do que o já visto no *fast fashion* tradicional, intensificando as externalidades negativas já conhecidas do setor têxtil (CAMARGO; PEREIRA; SCARPIN, 2020). Do ponto de vista ambiental, a introdução diária de milhares de novos itens promove uma cultura de hiperconsumo e descarte, resultando em uma geração exponencial de resíduos têxteis. As peças, de baixa qualidade feitas para não durar, raramente são reparadas ou revendidas sobrecregando locais de descarte. Tudo isso é feito de forma a viabilizar a velocidade e o baixo custo, assim, o modelo depende massivamente de fibras sintéticas derivadas de combustíveis fósseis, como o poliéster, que liberam microplásticos e não são biodegradáveis. Além disso, a necessidade de entregas internacionais rápidas aumentou a dependência do transporte aéreo, cuja pegada de carbono é significativamente maior (DZHENGIZ; HAUKKALA; SAHIMAA, 2023) (NIINIMÄKI et al., 2020) (QU, 2024).

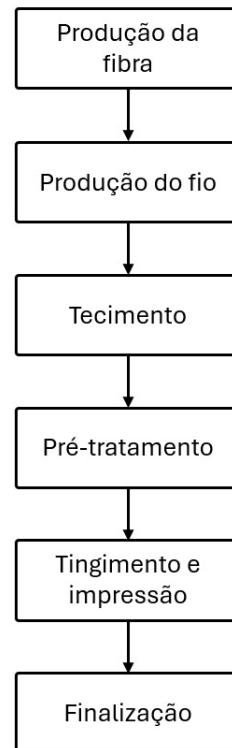
Diante desse cenário atual do setor têxtil, são inúmeros os desafios a serem enfrentados para melhorar o impacto ambiental. A necessidade de soluções que se baseiem nas ferramentas e métodos da EC no setor têxtil vem se mostrando cada vez mais necessária pela incompatibilidade do modelo *ultra-fast fashion* com o meio-ambiente (NIINIMÄKI et al., 2020) (DZHENGIZ; HAUKKALA; SAHIMAA, 2023).

2.3.2 Ecossistema, produção e reciclagem

A indústria têxtil é um ecossistema complexo que envolve uma série de agentes formadores da cadeia e dos fluxos de materiais. Os principais agentes envolvem os fornecedores de matéria-prima, os transformadores da matéria-prima em produto, os distribuidores e varejistas, instituições de suporte, consumidores e recicladores. A responsabilidade de obter uma cadeia de produção mais sustentável é de todos, conforme Happonen e Malahat (2022) e o próprio conceito de C2C, todos têm papel fundamental na adoção da EC.

Todos os *stakeholders* possuem um papel no processo de produção ou tratamento do produto final e a aplicabilidade da EC depende do entendimento do ciclo de produção. Segundo Pensupa et al. (2017), a cadeia produtiva da indústria têxtil pode ser resumida em 6 processos, dispostos na Figura 5 a seguir.

Figura 5: Processos da fabricação têxtil



Fonte: Adaptado de Pensupa et al. (2017)

As etapas podem ser resumidas baseado no estudo de Pensupa et al. (2017) e SEBRAE (2000):

- **Produção da fibra:** envolve a obtenção da matéria-prima que pode ser natural de origem animal ou vegetal, como algodão e lã; ou química, sendo as artificiais derivadas de polímeros ou as sintéticas derivadas de petroquímicos.
- **Produção do fio:** a fiação é o processo de conversão de fibras descontínuas ou filamentos contínuos em um fio com linearidade, coesão e resistência à tração. O processo engloba a abertura e limpeza da massa de fibras, seguida pela cardagem, que as desembaraça e alinha paralelamente. As fitas de fibras são, então, estiradas para afinar sua espessura e, por fim, recebem uma torção que consolida a estrutura, transformando o material frágil em um fio robusto.
- **Tecimento:** as duas metodologias de construção são a tecelagem e a malharia. A tecelagem consiste no entrelaçamento de dois conjuntos de fios (urdume e trama) em um tear, resultando em tecidos planos. A malharia, por sua vez, é um processo de formação de laçadas ou malhas entrelaçadas por meio de agulhas, que confere

aos tecidos de malha sua característica elasticidade e flexibilidade. O produto final é um tecido cru, sem acabamento.

- **Pré-tratamento:** o objetivo desta etapa é remover impurezas naturais (ceras, óleos) e industriais do tecido cru. Processos como a desengomagem, a purga e o alvejamento são empregados para limpar o material e obter uma base branca e uniforme.
- **Tingimento e impressão:** esta etapa é a responsável pela estética do tecido. O tingimento é o processo de impregnação de corantes em toda a estrutura do tecido. Enquanto a estamparia refere-se à aplicação localizada de pigmentos ou corantes segundo um padrão ou desenho específico.
- **Finalização:** composto por tratamentos finais, de natureza química ou mecânica, aplicados ao tecido para modificar ou conferir propriedades funcionais, táteis e visuais que o adequam ao seu uso final. Estes tratamentos podem incluir amaciamento, controle de encolhimento, aplicação de resinas para resistência a amassamento, ou funcionalidades avançadas como tratamentos hidrofóbicos.

Esse fluxo de fabricação expõe as fragilidades da produção têxtil já expostas em relação aos impactos ao meio-ambiente apontados por diversos autores como Niinimäki et al. (2020) e Claudio (2007), além de muitos outros. A necessidade da aplicação de conceitos e estratégias da EC conforme definido pela ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2017) e do C2C, de (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002) mostra-se cada vez mais essencial pelas mudanças na metodologia de fabricação que volta-se para uma aceleração do descarte das roupas.

2.4 Recicladoras têxteis

Segundo Juanga-Labayen, Labayen e Yuan (2022), o resíduo têxtil pode ser classificado em três grupos diferentes. O primeiro, e foco deste estudo, é o resíduo pré-consumo que é caracterizado como um "resíduo limpo", tratando-se de um subproduto gerado durante o próprio processo de fabricação e confecção têxtil. O segundo resíduo é o resíduo pós-consumo que, por sua vez, consiste em roupas ou têxteis domésticos (como lençóis, camisetas e casacos) que são descartados pelos usuários. Isso acontece quando os itens estão gastos, danificados ou simplesmente perdem o valor para o consumidor após o fim da vida útil. Finalmente, o terceiro resíduo é o resíduo têxtil industrial, que é classificado

como resíduo sujo, sendo gerado por aplicações têxteis de natureza industrial (JUANGA-LABAYEN; LABAYEN; YUAN, 2022).

Para qualquer um dos três tipos de resíduo, a reciclagem envolve 5 macro-etapas delimitadas por Broega, Carvalho e Moraes (2011) como:

- **Coleta e transporte**
- **Identificação e separação**
- **Desmontagem e esmagamento**
- **Lavagem ou limpeza**
- **Pré-produção de matérias-primas secundárias**

Essas 5 macro-etapas irão variar de acordo com o elo da cadeia têxtil que está sendo analisado, mas de forma geral todo processo de reciclagem têxtil permeia as 5 etapas (BROEGA; CARVALHO; MORAES, 2011).

Apesar das 5 etapas descritas acima, para entender com mais precisão o processo de reciclagem e reintrodução na cadeia têxtil, Zonatti (2013) discute os processos de desfibramento (reciclagem) e fiação que são chaves na reciclagem de resíduos pré-consumo.

A Figura 6, a seguir, reflete o fluxograma de atividades principais que correlacionam o processo de desfibramento e posterior processo de fiação.

Figura 6: Processo de reciclagem e fiação têxtil



Fonte: Adaptado de Zonatti (2013)

Um resumo de cada uma das principais etapas que envolvem etapas produtivas pode ser descrito conforme Zonatti (2013) e Pereira (2009):

- **Desfibramento dos retalhos:** processo de destrinchamento dos resíduos têxteis que se configuram como aparas e retalhos.
- **Cardagem:** processo de abertura dos fardos de fibras destrinchadas que tem por objetivo abrir e misturar as fibras recicladas.

- **Limpeza e paralelização:** são processos em sequência que envolvem a eliminação de impurezas das fibras removendo *neps* (pequenos nós). As fibras passam por equipamentos (reunideira, laminadeira, penteadeira e passadeira) que as transformam em uma fita de fibras.
- **Estiragem (fiação):** o processo envolve a transformação da fita de fibras em fios após pequenos cilindros moldarem a espessura do fio.
- **Torção:** processo final que envolve a torção dos fios ao redor de um eixo por meio de filatórios que podem ser a rotor.

Dentro do processo de fiação, a titulação de fios pode ser extremamente variável e dividida em três grandes grupos: (i) fios singelos, que são mais irregulares e mais grossos; (ii) fios penteados, que são um pouco mais resistentes e precisam passar pelas penteadeiras; (iii) fios *open-end*, que são mais adequados ao uso com corantes, mas são menos resistentes devido à torção excessiva no rotor (PEREIRA, 2009).

As recicadoras da indústria têxtil são empresas especializadas na reciclagem e reintrodução das perdas decorrentes do processo de confecção que foi explicado na seção anterior. O papel dessas empresas é fundamental para alcançar aquilo que é proposto em uma EC, transformando os resíduos têxteis em recursos (fios) para a confecção ou até em subprodutos que podem ser utilizados novamente pelos consumidores finais.

2.4.1 Desafios e legislação

Apesar de todos os potenciais benefícios que podem e são gerados com uma cadeia de reciclagem têxtil integrada e compromissada com os conceitos da EC, são inúmeros os desafios e barreiras sofridos pelo elo da cadeia como um todo (JUANGA-LABAYEN; LABAYEN; YUAN, 2022).

É possível separar os desafios de acordo com a estratégia de EC utilizada, sendo o *recycling* mecânico o foco deste estudo, dadas as características da linha de reciclagem têxtil a ser estudada. Segundo Loo, Yu e Hu (2023), existem diversos desafios que estão intrinsecamente ligados ao processo produtivo da reciclagem mecânica.

O primeiro desafio remete à qualidade da fibra reciclada, que sempre será mais curta que a fibra virgem, sendo que a cada ciclo de reciclagem a qualidade diminui e a fibra é encurtada. Outro desafio em destaque é a dificuldade de separação de materiais de fibras diferentes, que acaba necessitando do uso de tecnologias de triagens que aumentam

o custo da operação. Além disso, alguns resíduos têxteis são naturalmente feitos de fibras sintéticas, o que impõe desafios em relação à pureza do material e necessita de processos de reciclagem química (LOO; YU; HU, 2023).

O artigo de Juanga-Labayen, Labayen e Yuan (2022) também mapeia alguns desafios da gestão de resíduos têxteis. Os desafios de contaminação das misturas de fibras e o desafio na triagem de resíduos são destacados pelos autores. Além disso, é citada a necessidade de incentivos econômicos para a expansão e facilitação da reciclagem têxtil, uma vez que a dinâmica competitiva com produtos originados de fibras virgens é extremamente mais vantajosa em termos de custos.

Em linha com os desafios citados, Candido (2021) divide os desafios para a implementação de uma EC têxtil em quatro grandes barreiras: (i) limitação das tecnologias para reciclar diferentes tipos de fibras, (ii) questões técnicas associadas com a complexidade das roupas, (iii) mercados imaturos que não conseguem absorver o enorme volume potencial de material reciclado, e (iv) o fato de que o uso de fibras virgens em alguns casos é mais barato do que o uso de fibras recicladas (CANDIDO, 2021).

Em seu artigo, Koszewska (2018) elenca uma série de desafios da aplicação da EC na indústria têxtil e de confecção. A autora divide as barreiras para fechar o *loop* de circularidade e sustentabilidade em três grandes frentes: (i) educação e comportamento do consumidor, (ii) práticas de disposição, infraestrutura e processo de coleta e segregação, e (iii) tecnologias de reciclagem. Além disso, a autora ainda elenca problemas gerais, que englobam os três grandes grupos (KOSZEWSKA, 2018).

Em relação ao primeiro grupo de desafios são encontradas as barreiras relacionadas diretamente ao comportamento e à educação do consumidor. Trata-se de um problema cultural e de informação que mina todo o esforço de circularidade desde o seu ponto de partida. A autora aponta que existe uma baixa demanda do consumidor por produtos têxteis reciclados. Essa é uma visão que é alimentada por uma percepção generalizada de que esses produtos reciclados possuem uma qualidade inferior. Enquanto o consumidor, que é a ponta final da cadeia, associar o item reciclado ao item de baixa qualidade, o mercado de reciclagem permanecerá estático, desincentivando as marcas e a indústria a investir nessa rota (KOSZEWSKA, 2018).

Paralelamente ao desafio anterior, a autora discorre sobre um problema ainda mais básico e que está muito atrelado ao descarte pós-consumo. O cliente final não possui uma consciência da necessidade da reciclagem têxtil. Muitas pessoas não entendem que camisetas, calças, meias, casacos e outros devem ser reciclados e não podem ser tratados

como lixo comum. E mesmo aqueles que entendem a necessidade da reciclagem não sabem como fazer o descarte de forma adequada (KOSZEWSKA, 2018).

Avançando na cadeia de reciclagem têxtil, a autora elenca um segundo conjunto de barreiras críticas, focadas nas práticas de descarte, na infraestrutura e nos processos de coleta e triagem, onde os problemas logísticos são estruturais. Ela observa que, principalmente, coletores pós-consumo tendem a focar seus esforços quase que exclusivamente em têxteis reutilizáveis, ou seja, peças em bom estado que podem ser vendidas como segunda mão em brechós e lojas tradicionais. Essa abordagem, embora válida para o reuso, acaba por negligenciar os enormes fluxos de resíduos têxteis que não podem ser reutilizados (KOSZEWSKA, 2018).

Ainda sob essa segunda perspectiva, a autora entende que o desafio mais técnico nesta fase é a carência de processos e *know-how* generalizado em grande escala. Materiais que não podem ser reutilizados exigem soluções de reciclagem mais caras e acabam sendo deixados para trás. Mais especificamente, falta a capacidade de coletar e, principalmente, classificar os têxteis de forma eficiente por tipo de fibra. A reciclagem química ou mecânica eficaz depende dessa classificação precisa e, sem ela, os fardos de têxteis coletados são uma mistura inutilizável. Por fim, a autora aponta para a simples baixa disponibilidade de infraestrutura adequada para essa coleta e triagem em níveis local e regional, tornando o processo inconveniente para o consumidor e logisticamente complexo para as empresas de pequeno e médio porte (KOSZEWSKA, 2018).

Na última categoria, de tecnologia da reciclagem, a autora identifica uma série de desafios complexos e interdependentes, apresentando cinco desafios diferentes. O primeiro deles é a falta de tecnologias de reciclagem que sejam economicamente viáveis, especialmente quando se trata da enorme fração de têxteis considerados de baixa qualidade. O segundo desafio, e que vai em linha com os listados anteriormente, é a carência de processos e *know-how* generalizado para realizar, em grande escala, a tarefa de separar os diferentes tipos de fibra que compõem as misturas e as estruturas compostas. A maioria das roupas hoje é uma mistura de algodão e poliéster, ou contém elastano, e a tecnologia para separar essas fibras em escala industrial ainda é incipiente. E mesmo no caso teórico em que a tecnologia existe, o processo de recuperação em si é extremamente caro, criando uma barreira econômica que impede a implementação prática da solução (KOSZEWSKA, 2018).

Além disso, o fato de o mercado final de materiais reciclados ser dominado por materiais e misturas de baixa qualidade agrava ainda mais esse cenário. Isso, porque o incentivo

financeiro para investir em processos de reciclagem caros e de alta qualidade é baixo, pois o produto resultante compete com opções de baixa qualidade e baixo preço. Por fim, como último e quinto desafio dessa categoria a autora aponta que os custos com a logística de transporte dos resíduos são muito altos e há uma baixa disponibilidade de indústrias de reciclagem têxtil a nível local e regional. Assim, mesmo que um material seja perfeitamente coletado e triado, o custo de transportá-lo até uma das poucas plantas existentes pode inviabilizar todo o processo (KOSZEWSKA, 2018).

Finalmente, para além das três categorias delimitadas pela autora, ela ainda menciona dois desafios que permeiam todo o sistema têxtil. O primeiro é a falta de rastreabilidade na cadeia global de resíduos. Ou seja, não há clareza por onde o têxtil descartado vai, por onde ele passa e qual seu destino final, o que impede uma gestão e logística reversa eficiente. O segundo desafio é o próprio cenário político em que os coletores, recicladores e gestores de resíduos operam. A ausência de regulamentações claras, incentivos fiscais robustos ou políticas de responsabilidade estendida do produtor cria um ambiente de negócios desfavorável para a circularidade (KOSZEWSKA, 2018).

O estudo dos autores Thomas et al. (2024) destaca três principais desafios na aplicação da EC no setor têxtil. De forma resumida, o estudo aponta que os principais obstáculos à economia circular têxtil são econômicos, técnicos e sistêmicos. O primeiro deles é o fato da reciclagem atual focar apenas no *downcycling*, um processo que, ao ser realizado múltiplas vezes, destrói o comprimento da fibra e o valor econômico do material (THOMAS et al., 2024).

O segundo desafio está muito atrelado à reciclagem pós-consumo e se decompõe em três subcategorias. O fato de a matéria-prima variar na mistura de fibras e tecidos, a falta de tecnologia adequada para realizar a separação e triagem dos resíduos no momento da coleta e a contaminação por resíduos químicos, muitas vezes os próprios corantes das roupas, que acabam liberando toxinas e poluindo o meio-ambiente (THOMAS et al., 2024).

Ademais, o estudo aponta que o sistema da indústria da moda não está fundamentalmente construído para a circularidade. Os incentivos da indústria estão desalinhados, sendo movidos por vendas e lucros em vez de sustentabilidade. As empresas exigem que as mudanças sejam de custo zero e evitam investir até que as tecnologias estejam provadas e os custos alinhados, deixando incerto quem deve pagar pela transição. Por fim, a própria matéria-prima da moda contemporânea, o *fast fashion*, é um obstáculo, pois sua péssima qualidade torna a recuperação da matéria-prima inviável (THOMAS et al., 2024).

A Tabela 2 abaixo consolida os principais desafios apresentados anteriormente, que são barreiras para a reciclagem têxtil mecânica, bem como suas respectivas referências bibliográficas.

Tabela 2: Quadro de desafios enfrentados pela reciclagem têxtil

Desafios	Referência
1.Baixa qualidade da fibra reciclada (encurtamento)	Loo, Yu e Hu (2023) Thomas et al. (2024) Loo, Yu e Hu (2023)
2.Separação e triagem de resíduos de diferentes fibras	Juanga-Labayen, Labayen e Yuan (2022) Koszewska (2018) Thomas et al. (2024)
3.Contaminação de resíduos feitos de fibras sintéticas	Loo, Yu e Hu (2023) Juanga-Labayen, Labayen e Yuan (2022) Koszewska (2018)
4.Limitação de tecnologias e <i>know-how</i> para reciclar diferentes tipos de fibras	Candido (2021) Koszewska (2018)
5.Tecnologias economicamente viáveis	Koszewska (2018)
6.Complexidade técnica das roupas que vão ao varejo	Candido (2021) Koszewska (2018) Thomas et al. (2024)
7.Mercados imaturos com baixa demanda	Candido (2021) Koszewska (2018)
8.Baixa competitividade de custos em relação à fibra virgem	Juanga-Labayen, Labayen e Yuan (2022) Candido (2021)
9.Consciência do consumidor	Koszewska (2018)
10.Baixo incentivo para investimento em reciclagem de qualidade	Koszewska (2018) Thomas et al. (2024)
11.Alto custo e baixa infraestrutura logística para a coleta de resíduos	Koszewska (2018)
12.Falta de rastreabilidade do resíduo	Koszewska (2018)
13.Ausência de incentivos fiscais robustos e regulamentações no setor	Juanga-Labayen, Labayen e Yuan (2022) Koszewska (2018)

Fonte: Elaboração própria

A partir da lista dos treze principais desafios listados na Tabela 2, pode-se agrupá-los em três frentes diferentes. Existem desafios que estão relacionados a fatores econômicos, como os custos logísticos, os custos com tecnologias e a baixa competitividade de custos em relação à fibra virgem. O segundo grupo é o de desafios técnicos que envolvem a produção, como a separação e triagem, a limitação das tecnologias, a baixa qualidade da fibra reciclada, a complexidade técnica das vestimentas e a contaminação de fibras sintéticas. O terceiro grupo engloba desafios sistêmicos, ou seja, desafios que fazem parte do sistema têxtil, mas não estão diretamente relacionados à produção, como a consciência do consumidor, a imaturidade do mercado, a falta de rastreabilidade do resíduo, a ausência de incentivos fiscais e o baixo incentivo para investimento em reciclagem de qualidade.

Nesse sentido, é importante entender o contexto da legislação brasileira no que tange à reciclagem têxtil e os incentivos à sustentabilidade. Segundo Zonatti (2013), as leis a respeito da gestão de resíduos sólidos começaram a ser discutidas em 1990, com um projeto de lei instaurado em 1991 (PL 203). O próximo marco deu-se em 1999 com a Proposição Conama 259 intitulada "Diretrizes Técnicas para a Gestão de Resíduos Sólidos" (Brasil, 2011).

Após isso, em 2003 o Governo Federal realizou a criação do Programa Nacional de Resíduos Sólidos com o objetivo de promover a integração das tratativas de saneamento ambiental. Ainda neste ano foi realizada a primeira Conferência do Meio Ambiente. No ano seguinte, o Ministério do Meio Ambiente promoveu diversos grupos de discussão para a elaboração de uma proposta para a regulamentação dos resíduos sólidos, dado que a proposição da Conama 259 já estava defasada (Brasil, 2011).

Em 2005, com a contribuição de diversos entes públicos e debates entre ministérios, foi encaminhado o anteprojeto de lei "Política Nacional de Resíduos Sólidos". Além disso, também foi o ano em que ocorreu a segunda Conferência do Meio Ambiente, sendo os resíduos sólidos um dos temas centrais de discussão (Brasil, 2011).

Finalmente, em 2010, o plenário da Câmara dos Deputados aprovou o PL 203/91. Este é o projeto de lei que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos e que impõe obrigações ao governo, empresários e cidadãos no que diz respeito ao gerenciamento de resíduos sólidos. Após a aprovação em todas as instâncias, é sancionada, no Diário Oficial da União, a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. A lei introduz conceitos-chave na questão do compartilhamento de responsabilidades entre as três esferas citadas no PL 203/91, além de estabelecer uma ordem de prioridade na gestão, que determina o descarte em aterros sanitários como a última opção de gerenciamento

dos resíduos sólidos (Brasil, 2011) (Brasil, 2010).

Além da PNRS, outra importante lei no contexto de reciclagem e economia circular, é a Lei 14.260/2021, ou Lei de Incentivo à Reciclagem. O seu conceito central é estimular financeiramente a cadeia de reciclagem através de um mecanismo de mecenato ambiental. O principal benefício é uma dedução de 1% do imposto de renda (IRPJ) devido caso sejam feitos investimentos em projetos de reciclagem previamente aprovados pelo Ministério do Meio Ambiente. Vale destacar que o incentivo fiscal é dado apenas para projetos, e não se enquadra em custos operacionais do dia a dia. Isso significa que, apesar da natureza das recicadoras têxteis ser atrelada à EC, o incentivo fiscal só será obtido em caso de novos projetos específicos que a empresa pode vir a realizar (Brasil, 2021).

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os procedimentos adotados para alcançar os objetivos propostos neste trabalho de formatura, que envolvem a compreensão dos desafios na aplicação da economia circular na gestão de resíduos da indústria têxtil brasileira, com foco específico em empresas recicadoras de resíduos pré-consumo do setor. Para isso, a metodologia foi estruturada para obter uma contextualização aprofundada das práticas circulares e seus impactos.

3.1 Estratégia e contexto da pesquisa

O aluno obteve primeiro contato com o tema da EC na disciplina ”Produção e Sustentabilidade” oferecida no módulo acadêmico da Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP lecionada pelo professor orientador desta pesquisa. Na ocasião, foi desenvolvido um trabalho disciplinar a respeito da EC no setor têxtil de maneira generalizada. Assim, em conjunto com o professor orientador, delimitou-se o tema desta pesquisa para a focalização específica em recicadoras pré-consumo da indústria têxtil.

Utilizando a nomenclatura de Oliveira (2011), é possível definir a pesquisa em relação a cinco fatores que permeiam a escolha da metodologia adotada: objetivo, natureza, escolha do objeto de estudo, técnica de coleta de dados e técnica de análise de dados.

Cada um dos fatores engloba algumas opções que caracterizam as pesquisas, conforme disposto a seguir:

- **Classificação quanto aos objetivos da pesquisa:** descriptiva, exploratória, explicativa ou exploratório-descritiva.
- **Classificação quanto à natureza da pesquisa:** qualitativa, quantitativa ou qualitativa-quantitativa.
- **Classificação quanto ao objeto de estudo:** estudo de caso único, estudo de casos

múltiplos, amostragens probabilísticas, amostragens não-probabilísticas ou estudo censitário.

- **Classificação quanto à técnica de coleta de dados:** entrevista, questionário, observação, pesquisa documental, pesquisa bibliográfica, pesquisa, triangulação, pesquisa-ação ou experimento.
- **Classificação quanto à técnica de análise de dados:** análise de conteúdo, estatística descritiva, estatística multivariada ou triangulação na análise.

A partir das opções definidas por Oliveira (2011), a abordagem metodológica desse trabalho de formatura é caracterizada conforme a Tabela 3. Cada uma das características será discutida nessa seção.

Tabela 3: Características da abordagem metodológica

Objetivo	Natureza	Objeto de estudo	Técnica de coleta de dados	Técnica de análise de dados
Pesquisa exploratória	Pesquisa qualitativa	Estudo de casos múltiplos	Entrevistas	Análise de conteúdo

Fonte: Elaboração própria baseada em Oliveira (2011)

A pesquisa é caracterizada como qualitativa, porque permite uma abrangência maior na captura dos objetivos da mesma, ou seja, é a abordagem ideal para avaliar as nuances da implementação de estratégias da EC em ambientes reais e físicos de negócio. Além disso, o caráter exploratório justifica-se pela dinâmica dessas estratégias, onde as práticas e os modelos de negócio ainda estão em desenvolvimento e evolução, não há uma consolidação clara no setor.

3.2 Estudo de casos múltiplos

Conforme disposto na Tabela 3, para atender aos objetivos delineados, a estratégia de pesquisa adotada foi a de estudo de casos múltiplos. Esta escolha fundamenta-se em Yin (2001), que define o estudo de caso como uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo em profundidade e em seu contexto de vida real, especialmente

quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente evidentes. Essa abordagem é essencial para o presente estudo, visto que as dinâmicas das recicadoras e do modelo de negócios de EC são inseparáveis do ambiente em que operam (YIN, 2001).

A opção por múltiplos casos, em detrimento de um caso único, visa conferir maior robustez aos resultados. Segundo Yin (2001), as evidências oriundas de casos múltiplos são frequentemente consideradas mais convincentes, proporcionando maior validade externa ao estudo. A seleção das recicadoras não segue uma lógica de amostragem, mas sim uma lógica de replicação. Isso permite que os diferentes casos sejam analisados para verificar se os padrões da EC se repetem ou se divergem por razões previsíveis.

Dessa forma, a análise cruzada das recicadoras no setor têxtil brasileiro permitirá uma generalização analítica, expandindo e generalizando teorias sobre EC, em vez de enumerar frequências estatísticas. Essa triangulação de evidências possibilitará conclusões mais assertivas sobre as similaridades e particularidades na aplicação de estratégias circulares no elo da cadeia têxtil estudado.

3.2.1 Seleção dos casos

A seleção das empresas recicadoras para os estudos de caso segue um conjunto lógico de critérios que alinham-se com os objetivos deste trabalho. Nesse sentido, é preciso investigar empresas com as seguintes características:

- Atuação no setor têxtil: a empresa deve ter como atividade principal ou como uma de suas principais linhas de negócio a reciclagem de resíduos sólidos provenientes da indústria têxtil.
- Implementação de práticas circulares: a empresa deve possuir processos consolidados que se alinhem a uma ou mais estratégias de circularidade discutidas na revisão bibliográfica.
- Relevância no Mercado: serão buscadas empresas com reconhecimento no setor, independentemente do porte, que possam fornecer *insights* valiosos sobre os desafios e oportunidades da economia circular.
- Disponibilidade para participação: a seleção final dependerá da disposição e do acesso concedido pelas empresas para a realização de entrevistas e coleta de dados. O contato inicial será facilitado por meio de conexões setoriais, incluindo o contato

com o Sr. Américo Guelere Filho, que é fundador da ESGTex, comunidade de interesse e aprendizagem em práticas ESG focada no setor da moda.

3.2.2 Coleta e análise de dados

Com o objetivo de garantir a profundidade e a validade da pesquisa, a coleta de dados será realizada por meio de múltiplas fontes, caracterizando uma triangulação de dados, já que a forma de coleta será a entrevista semiestruturada para cada uma das populações (ZAPPELLINI; FEUERSCHÜTTE, 2015).

Essas entrevistas serão conduzidas com profissionais-chave responsáveis pela área de sustentabilidade ou de produção dentro das empresas selecionadas. O formato semiestruturado foi escolhido por oferecer um equilíbrio entre um roteiro predefinido, garantindo que todos os tópicos essenciais sejam cobertos, e a flexibilidade para explorar novas questões e aprofundar temas que surjam durante a conversa.

Para facilitar a comparação entre os estudos de caso, os temas principais a serem tratados, e que permeiam os objetivos deste estudo, foram codificados conforme a Tabela 4. O resumo de cada uma das entrevistas será transscrito no próximo capítulo, onde poderão ser capturadas todas as informações acerca dos temas.

Tabela 4: Características da abordagem metodológica

Tema da entrevista	Codificação para análise
Características da Empresa	CE
Modelo de Negócios	MN
Processo de Produção	PP
Controle de Qualidade	CQ
Estratégias de EC Adotadas	EECA
Impactos Ambientais	IA
Impactos Econômicos	IE
Barreiras e Desafios	BD
Oportunidades Futuras	OF

Fonte: Elaboração própria

3.2.3 Roteiro de entrevistas semiestruturadas

Conforme explicado anteriormente, a pesquisa seguirá um roteiro para as entrevistas semiestruturadas de modo a coletar as informações necessárias para o estudo. O roteiro foi dividido em blocos temáticos para facilitar a condução da entrevista, conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5: Roteiro das entrevistas semiestruturadas

Bloco 1: Caracterização da empresa e modelo de negócios
1. Poderia descrever a história da empresa e como ela se posicionou no mercado desde sua criação?
2. Qual é o porte da empresa em termos de faturamento anual, volume de processamento de resíduos, número de funcionários e outros?
3. Quais são os principais tipos de resíduos têxteis que são processados pela empresa (ex: aparas de produção, fibras específicas como algodão, poliéster)?
4. Como funciona o modelo de negócio da empresa? Vocês compram os resíduos? Recebem por meio de parcerias? Qual é o produto final gerado e quem são seus principais clientes?
Bloco 2: Processos e estratégias da EC
5. Poderia detalhar o fluxo do processo de reciclagem na empresa, desde a chegada do resíduo até o produto final?
6. Quais estratégias de circularidade são aplicadas durante o processo? Poderia dar exemplos práticos?
7. Quais são as principais tecnologias e maquinários utilizados no seu processo? Houve necessidade de desenvolver ou adaptar tecnologias para o contexto têxtil?
8. Como a empresa garante a qualidade do material reciclado? Existem desafios relacionados à contaminação ou à mistura de fibras nos resíduos recebidos?
Bloco 3: Impactos ambientais e econômicos
9. Quais são os principais benefícios econômicos percebidos com a adoção do modelo de negócio circular?
10. Quais foram os principais desafios ou barreiras econômicas para implementar e escalar essas operações?
11. Em relação ao impacto ambiental, a empresa mensura os benefícios gerados? (ex: quantidade de resíduos desviados de aterros, economia de água, redução de emissões de gás carbônico). Se sim, quais métricas são utilizadas?
12. Na sua percepção, qual é o principal ganho ambiental da sua operação para a cadeia têxtil como um todo?

Bloco 4: Desafios e oportunidades

13. Quais são as maiores dificuldades enfrentadas pela empresa no âmbito da reciclagem? Essas dificuldades são eventuais gargalos para a expansão da reciclagem têxtil no Brasil?
 14. Quais políticas públicas ou incentivos poderiam acelerar a transição para uma economia mais circular no setor têxtil brasileiro?
 15. Como você enxerga a evolução do mercado de reciclagem têxtil nos próximos 5 a 10 anos? Quais tendências e oportunidades estão no horizonte da empresa?
 16. A empresa possui planos de inovação, como a implementação de novas tecnologias (ex: reciclagem química avançada) ou o desenvolvimento de novos produtos a partir dos materiais reciclados?
-

Fonte: Elaboração própria

4 ESTUDOS DE CASO

Este capítulo contém o resumo dos estudos de caso realizados para a pesquisa. Cada estudo de caso foi feito a partir de uma entrevista semiestruturada com recicadoras da indústria têxtil conforme disposto no capítulo anterior, totalizando quatro empresas analisadas. As empresas terão seus nomes representados por letras a fim de manter o sigilo sobre os dados compartilhados durante as entrevistas e na troca de informações.

Além disso, cada tema codificado conforme o capítulo anterior, que permeia os objetivos deste trabalho, terá sua codificação exposta no contexto da transcrição das entrevistas para fins comparativos no capítulo seguinte.

4.1 Estudo de caso 1 - empresa A

A empresa A é uma empresa familiar com mais de 35 anos de história localizada em Jaraguá do Sul, Santa Catarina, que atua diretamente na cadeia têxtil posicionando-se como uma indústria transformadora que foca em processos da EC. O papel central da empresa é absorver os resíduos gerados por indústrias de confecção parceiras, reciclar esses resíduos e reintegrá-los no ciclo produtivo. Além disso, a empresa A conta com terceiros que ajudam no desenho e implementação dos processos de logística reversa e melhorias. Isso inclui a criação de procedimentos para a segregação correta dos materiais na fonte, etapa crítica para garantir qualidade e rastreabilidade do material, o acompanhamento do processo de reciclagem e criação de novos fios, e a reincorporação do fio de volta à indústria, fechando o ciclo de forma sustentável. (CE e MN)

O foco principal da operação da empresa A é o trabalho com fibras naturais, predominantemente o algodão, mas também poliéster. Para isso, a empresa A criou processos que fazem com que a segregação do algodão seja feita na base da produção, evitando ao máximo a contaminação com outras fibras. Além disso, a empresa A caracterizou-se como uma empresa voltada ao *upcycling* do produto, ou seja, especializou-se na produção de fios mais nobres e de maior qualidade do que as recicadoras tradicionais que focam no

downcycling dos produtos. (MN e PP)

Em relação ao processo produtivo (PP) e às estratégias adotadas (EECA), a empresa A entende que a qualidade do produto final é determinada na origem, especificamente nas mesas de corte das confecções parceiras. Os resíduos que são desperdiçados nessa etapa são segregados por cor pelos parceiros, ou seja, a empresa A já recebe os resíduos com etiquetagem e classificação, o que torna a disciplina do parceiro uma etapa fundamental do processo. Apesar de ser uma etapa chave, o controle de qualidade realizado pela empresa A é manual e visual não havendo processos robustos. (CQ)

Assim, uma vez que o resíduo chega na empresa A ele passará pelo fluxo de *recycling* mecânico adotado na linha de produção da empresa (PP):

- **Pré-preparação (picador):** os retalhos maiores são triturados em pedaços menores para facilitar o processamento;
- **Desfibramento:** os pedaços de resíduo têxtil picados são submetidos a um processo mecânico que utiliza cilindros com pontas metálicas para rasgar o tecido e abri-lo de volta à sua forma de fibra.
- **Mistura e preparação:** a fibra reciclada, que é naturalmente mais curta e menos resistente que a fibra virgem, é misturada em proporções controladas com algodão virgem. Essa etapa é fundamental para garantir a qualidade do fio, e por isso, a empresa A caracteriza-se pela adoção da estratégia de *upcycling*.
- **Cardagem:** a mistura de fibras passa pelas cardas, que são máquinas responsáveis por remover impurezas e *neps* (pequenos emaranhados de fibras) e alinhar as fibras. Essa é uma etapa vital, porque naturalmente o material reciclado contém mais irregularidades que o virgem.
- **Fiação:** a mecha de fibras passa pelo processo de fiação *open-end*, que consiste na torção realizada por um rotor de alta velocidade. Esse método confere uma estrutura de fio mais robusta, que pode ser utilizado para produzir moletom ou camisas de malha fina.

O controle da produção (PP) é realizado pelos sistemas dos maquinários que monitoram o fluxo do material, mas há uma lacuna no controle de peso, que só é possível medir pelo volume de entrada versus o de saída. A capacidade produtiva é de cerca de 300 toneladas por mês de desfibramento, gerando cerca de 200 toneladas mensais de produção de fio. Vale ressaltar que maquinários de fiação operam com velocidades reduzidas e

maior índice de paradas ao processar fibras mais curtas, característica intrínseca de fibras recicladas.

A garantia de qualidade (CQ) do processo é mantida através do atendimento das normas NBR, com destaque para o processo de fiação com as NBR 13214 e 13215, e a utilização de maquinários de alta qualidade. No desfibramento são utilizadas marcas como Balkan e Laroche e na cardagem Rieter e Trutzschler, com isso todo o maquinário é importado. Além disso, a empresa A utiliza os parâmetros da Uster como principal *benchmark* da qualidade. A Uster fornece dados comparativos globais que classificam a qualidade dos fios (em termos de irregularidade, pontos grossos, pontos finos, etc.) em percentis (5%, 25%, 50%). Ao se guiar por esses padrões, a empresa A consegue validar tecnicamente a qualidade do seu produto *upcycled*, provando que ele pode competir em performance com fios produzidos a partir de matéria-prima virgem. Recentemente, a própria Uster lançou uma tabela de referência específica para fios reciclados, um indicativo da maturação e profissionalização deste nicho de mercado.

Com relação aos impactos ambientais, a empresa A entende que o principal benefício ambiental é a redução da demanda por algodão virgem, uma cultura agrária de alto impacto que consome enormes volumes de água e pesticidas (IA). Adicionalmente, ao utilizar resíduos já tingidos para produzir seus fios coloridos, o processo de reciclagem elimina a necessidade de um novo ciclo de tingimento, um processo bastante poluente na indústria têxtil, o que resulta novamente em uma economia de água e também de produtos químicos (IA). A empresa A não adota nenhuma quantificação precisa desses impactos, com exceção do volume mensal de resíduos absorvidos (300 toneladas) que pode ser considerado o volume de descarte que iria para aterros (IA). De qualquer forma, o processo também possui impactos, uma vez que não é todo resíduo que é reciclado e há uma perda de cerca de 30% durante o processo de reciclagem mecânica.

Do ponto de vista econômico, a principal vantagem da utilização de conceitos da EC, percebida pela empresa A é a geração de valor para um material que seria descartado a baixo custo (IE). Um resíduo têxtil descartado, sem qualquer controle de segregação, pelas grandes confecções pode ser vendido por cerca de R\$0,60/kg, enquanto um resíduo devidamente segregado pode atingir valores de R\$2,30 a R\$2,50/kg. O valor agregado é justificável pela qualidade e necessidade de segregação dos diferentes tipos de resíduos para facilitar a reciclagem mecânica pela empresa A, que compra os resíduos na faixa de preço citada. Após o processo de reciclagem e *upcycling* adotado pela empresa A o fio reciclado pode ser vendido entre R\$26,00 e R\$27,00/kg, enquanto um fio virgem equivalente custaria algo ao redor de R\$19,00 e R\$20,00/kg. Assim, a empresa A obtém

os ganhos econômicos quando maximiza o preço de venda e reduz o custo de aquisição. (IE)

Apesar do preço de venda mais caro, algumas grandes redes de varejo como Riachuelo, Renner e C&A são pioneiras na utilização de fios reciclados para confecção de produtos para consumo final, o que confere selos de aderência a princípios da EC e dos ODS, além de marketing para a marca que atrai consumidores que compactuam de práticas ambientais (IE e IA). A empresa A consegue vender diretamente para essas grandes magazines pelo processo de *upcycling*, já que produz fios de titularidade maior, como fios 30 NE, que podem ser utilizados para produzir camisas. Mas a empresa A também produz fios de titularidade menor, como 8 NE, que são utilizados para produzir moletos e são mais comuns em recicadoras que não possuem uma estratégia de EC de *upcycling*. (EECA)

Por fim, a empresa A destacou os principais desafios e oportunidades no seu contexto e da indústria têxtil. Em relação aos desafios há um enorme desafio técnico que permeia a etapa de triagem e segregação. Como exposto, essa etapa é manual e realizada pela indústria parceira, mas limita consideravelmente a escalabilidade e encarece a operação. Outro desafio está relacionado a incapacidade de reciclar mecanicamente outros materiais e fibras sintéticas que necessitam de uma reciclagem química para quebrar as cadeias dos polímeros. A empresa A citou que no Brasil a reciclagem química para a indústria têxtil está longe da realidade por ser um processo de alto custo e que atualmente esses materiais são destinados a aterros ou coprocessamento. (BD)

Além disso, a empresa A destacou a ausência de políticas públicas robustas que incentivam o crescimento do setor de produção de reciclados, que acabam assumindo os custos e atrasam o desenvolvimento da EC no setor têxtil. Para competir com o preço da indústria tradicional de matéria-prima virgem a reciclagem necessita de um fluxo contínuo e previsível de resíduos de alta qualidade, algo que a atual infraestrutura no Brasil não consegue garantir. (BD)

Apesar dos desafios a empresa A citou que há conversas com uma companhia sediada em Portugal que está desenvolvendo um maquinário específico para realizar a segregação de forma automática utilizando sensores ópticos. A longo prazo também citou que a reciclagem química, que está sendo desenvolvida na China eventualmente pode chegar no país. Mas tudo isso dependerá de altos investimentos no setor, capaz de importar as novas tecnologias estrangeiras. (OF)

4.2 Estudo de caso 2 - empresa B

A empresa B é uma indústria de reciclagem têxtil consolidada, com 19 anos de atuação no mercado, fundada por um técnico têxtil com experiência prévia em grandes companhias do setor. Localizada em Timbó, Santa Catarina, a empresa opera em uma planta industrial com aproximadamente 17.000 m² de área construída e emprega cerca de 70 funcionários. Essa unidade é dedicada à reciclagem e fiação e foi a unidade foco da entrevista. A empresa B possui uma outra unidade voltada para a produção de malhas e tecidos sustentáveis que iniciou as atividades em 2017. (CE)

A empresa B apresenta um faturamento anual estimado em 40 milhões de reais. O foco é a reciclagem mecânica de resíduos têxteis, processando um volume mensal de 350 toneladas, majoritariamente de algodão. Desse total, a maior parte (90%) é proveniente de malhas, mas também são processados tecidos planos como sarja, alguns dos quais podem conter uma pequena percentagem de fibra de poliéster fiada. A empresa possui uma integração vertical parcial que se conecta à segunda unidade, utilizando 20 toneladas do fio reciclado para a fabricação própria de malhas e tecidos planos, as 280 toneladas restantes de fio são comercializadas no mercado. (CE e MN)

O modelo de negócios da empresa B baseia-se na aquisição de resíduos (aparas de talhamento) de duas formas principais: cerca de 80% do volume provém de parceiros estratégicos que já fornecem o material pré-classificado por cor. Hoje a empresa B trabalha com cerca de 20 parceiros que estão localizados próximos à indústria e possuem a confiança na separação inicial. Os 20% restantes são coletados diretamente pela empresa em confecções, sendo esse material então enviado para uma triagem terceirizada, que realiza a separação por cor antes do processamento. O produto final da empresa B é o fio reciclado, além da malha e do tecido plano produzidos internamente. A comercialização é estritamente B2B (Business-to-Business), fornecendo matéria-prima para outras indústrias, como fornecedores da varejista Renner e fabricantes de barbantes e produtos para artesanato. A empresa não atua no mercado B2C (Business-to-Consumer), não vendendo peças de roupa ou produtos acabados ao consumidor final. (MN)

O processo produtivo (PP) da empresa B é centrado no *recycling* mecânico (EECA) do resíduo têxtil em um novo fio. As principais etapas foram descritas pelo fundador da seguinte forma:

- **Coleta:** os caminhões próprios da empresa B realizam rotas pré-definidas para buscar resíduos nos fornecedores (confecções).

- **Triagem e Classificação:** pode ser feita pelo parceiro ou terceirizada, onde os resíduos são separados pela coloração.
- **Prensa e Armazenagem:** após a segregação por cores, os resíduos são prensados e armazenados antes de entrarem na linha de produção.
- **Pré-preparação (picador):** os resíduos já prensados são cortados e picotados em tamanho uniforme.
- **Desfibramento:** as máquinas (recicladeiras) rasgam os tecidos e os abrem novamente em seu estado de fibra. As fibras são armazenadas e servirão como matéria-prima para a próxima etapa.
- **Cardagem:** as fibras passam pelas cardas que são máquinas responsáveis por retirar impurezas e nós das fibras.
- **Fiação:** as latas de fibra passam pelo processo de fiação *open-end* conferindo rigidez por meio da torção das fibras.
- **Embalagem:** os fios (produto final) são embalados em sacos de, aproximadamente, 25kg e estocados para pronta-entrega.

As principais etapas que dependem de intervenção manual no processo são a triagem inicial por cor (quando não vem do parceiro) e a embalagem final do fio. Além disso, o transporte do material entre as etapas de cardagem e as máquinas de fiação também é realizado manualmente. Vale destacar que, em termos de tecnologia, as máquinas possuem painéis de controle individuais, mas não há um sistema de gestão integrado que conecte todas as etapas da fábrica. (PP)

Segundo a empresa B, todo o processo de reciclagem mecânica gera perdas de material, estimadas entre 20% e 25% do volume total que entra na fábrica. Esta perda é significativamente superior à de uma fiação tradicional de matéria-prima virgem, que fica entre 8% e 10%. A perda na etapa de desfibramento (reciclagem) gira entre 5% e 7%, enquanto a perda na etapa de fiação fica entre 12% e 17%. A principal causa dessa perda elevada é a qualidade variável do insumo: por ser um material já processado, ele sofreu agressões químicas (como tingimentos, especialmente em cores escuras) ou mecânicas, já que tecidos planos, por serem mais "amarrados", exigem mais força da máquina para desfibrar, quebrando mais a fibra. (CQ e EECA)

A empresa B, em linha com as estratégias de EC, atua como sua própria recicladora, ou seja, ela consegue reintroduzir resíduos que foram descartados durante o processo de

reciclagem na linha de reaproveitamento da produção. Mas vale destacar que a eficiência é reduzida a cada introdução por conta dos danos sofridos do resíduo durante o processo produtivo. As Figuras 7, 8, 9, 10 e 11, a seguir, foram compartilhadas a fim de demonstrar exemplos de resíduos, fibras e fios da empresa B.

Figura 7: Empresa B: aparas de algodão após a coleta



Fonte: Empresa B

Figura 8: Empresa B: aparas de algodão após triagem e classificação



Fonte: Empresa B

Figura 9: Empresa B: fibras de aparas recicladas



Fonte: Empresa B

Figura 10: Empresa B: fibras coloridas embaladas



Fonte: Empresa B

Figura 11: Empresa B: fios reciclados enrolados



Fonte: Empresa B

A empresa B produz fios de diferentes grossuras (titulagens), especificamente os títulos 4/1, 6/1, 8/1 e 10/1, exemplos estão expostos na Figura 11. O controle final de qualidade é realizado em duas frentes, no processo de reciclagem é feita uma inspeção visual para garantir a uniformidade da cor no fio. No produto final, são realizados testes em laboratório para medir parâmetros técnicos essenciais como resistência, alongamento e a conformidade do título.

Economicamente, a operação se viabiliza pela agregação de valor ao resíduo. O custo de aquisição da matéria-prima é altamente variável, flutuando entre R\$ 0,30/kg e R\$ 2,20/kg, devido à informalidade e à dinâmica de oferta e demanda regional. O preço de venda do fio reciclado acabado também flutua, situando-se na faixa de R\$ 5,00/kg a R\$ 8,00/kg. (IE)

Do ponto de vista ambiental, embora a empresa B não realize uma mensuração formal de seus impactos, os benefícios são claros. O principal impacto positivo é o desvio de 350 toneladas de resíduos têxteis de aterros sanitários por mês. Com uma perda de processo de 20-25%, isso significa que a empresa reintroduz efetivamente cerca de 75-80% desse volume na cadeia produtiva, reduzindo a necessidade de algodão virgem, uma cultura agrária que requer intenso uso de água e defensivos agrícolas. O segundo grande ganho ambiental é a produção de fios já coloridos. O processo mecânico da empresa B dispensa totalmente o uso de água, corantes e produtos químicos para dar cor ao fio, evitando um dos processos mais poluentes e intensivos em recursos da indústria têxtil tradicional.

Por fim, o entrevistado e fundador da empresa B destacou os principais desafios e

oportunidades no contexto atual. Em relação aos desafios econômicos, hoje são três principais: a dificuldade de acesso a capital e financiamento, pois não existem linhas de crédito específicas para a atividade de reciclagem, forçando a empresa a operar com taxas de juros padrão que estão extremamente altas; segundo, o alto custo dos maquinários, que são todos importados e envolvem investimentos na casa dos milhões e, terceiro, a qualificação de mão de obra. Como o processamento de resíduos têxteis possui muitas variáveis (diferentes tipos de fios, tingimentos, composições), não existe literatura técnica ou treinamento formal disponível no mercado. Todo o conhecimento é desenvolvido internamente, através de experimentação, registros e aperfeiçoamento contínuo, um processo descrito pelo fundador como *"a escola é a sua própria empresa"*. (BD)

Além disso, há um desafio muito grande em relação aos custos da matéria-prima que, na verdade, estão intrinsecamente relacionados ao custo logístico. O custo de transporte (frete rodoviário dos caminhões) e o custo de armazenagem dos resíduos são muito elevados. O fundador relatou que muitas vezes, são oferecidos resíduos de forma gratuita à empresa B, mas os locais de ofertas são extremamente afastados, o que torna a coleta economicamente inviável, pois o custo do frete superaria o valor dos resíduos. Outro desafio e etapa-chave da reciclagem é a separação dos resíduos na origem. Quanto mais misturado o material chega, mais caro e complexo torna-se a etapa de triagem. Por essas duas razões que, hoje, a empresa B opera com 20 fornecedores específicos da região. (BD)

Em relação ao mercado externo, a empresa B destacou a recente ameaça vinda de fios reciclados da China. Nos últimos 5 anos o volume de importação a preços extremamente competitivos aumentou, devido aos incentivos governamentais no país de origem e menor custos de mão-de-obra. (BD)

Em relação às oportunidades, a empresa B entende que a principal oportunidade de mercado é a crescente demanda por fios reciclados mais finos, que possuem maior aplicabilidade em produtos como camisetas. No entanto, a produção de fios mais finos exige maior tecnologia e investimentos ainda mais altos em maquinário, o que representa um desafio financeiro significativo sem qualquer tipo de apoio governamental. Segundo a empresa B, não há planos para iniciar a reciclagem de outros resíduos, como o poliéster, a partir de uma estratégias circular de reciclagem química devido ao alto custo. (OF)

4.3 Estudo de caso 3 - empresa C

A empresa C é uma indústria de reciclagem têxtil que iniciou suas operações em 2004, com um foco exclusivo e contínuo na sustentabilidade através da reciclagem mecânica. Localizada em Blumenau, Santa Catarina, a empresa C fabrica e comercializa fios e barbantes reciclados para artesanato focado em lojas de varejo. Atualmente, os fios para artesanato, que são fios mais grossos, são o produto mais representativo da empresa girando em torno de 530 toneladas de produção mensal. Em linha com a filosofia sustentável, a companhia utiliza energia proveniente de fontes renováveis, e as empilhadeiras e paleteiras são todas elétricas. (CE)

A empresa C possui mais de 450 colaboradores, mais de 60 representantes comerciais e opera um parque fabril de aproximadamente 24.000 m², o que confere uma capacidade produtiva anual de mais de 13 mil toneladas de resíduos têxteis reciclados, dos quais 7 mil toneladas são efetivamente transformadas em fios. A principal razão para essa diferença de volume é que nem todo resíduo captado pode ser transformado em fio colorido. O maior desafio é o resíduo estampado, que compõe cerca de 40% do material recebido. Quando o material estampado é desfibrado, ele se transforma em uma fibra "mil cores", que não possui boa absorção pelo mercado de fios. Esse excedente de fibra "mil cores" é, então, direcionado para outras iniciativas e mercados, como a indústria automotiva e a construção civil, onde a cor não é um fator relevante. (CE e MN)

A partir de 2020, a empresa C adotou uma estratégia de verticalização dominando internamente todo o processo produtivo, que anteriormente era parcialmente terceirizado. Esse processo abrange desde a captação do resíduo têxtil junto às indústrias até a entrega do produto final, incluindo as etapas de classificação do resíduo por cor e tipo, e o desfibramento. O modelo de negócios para a aquisição é baseado em transações formais com indústrias parceiras negociando os preços do lote, que é adquirido por completo sem separação prévia, pagando-se um valor único por quilograma, independentemente da proporção de material estampado ou colorido. Por isso a empresa C seleciona seus fornecedores estrategicamente, evitando aqueles que geram resíduos que não podem ser processados em sua reciclagem mecânica, como confecções de lingerie ou biquínis, que utilizam majoritariamente fibras sintéticas. (MN)

O principal fluxo e processo produtivo da empresa C está relacionado à produção de fios e barbantes sustentáveis, sendo um processo extremamente detalhado e verticalizado, conforme a Figura 12.

Figura 12: Empresa C: etapas do processo produtivo



Fonte: Empresa C

Os 12 processos principais do processo produtivo (PP) são:

- **Coleta:** os resíduos têxteis pré-consumo gerados pelas indústrias parceiras são coletados com caminhões.
- **Classificação:** os resíduos, adquiridos em lotes, são selecionados e classificados manualmente por tipo e cor.
- **Picotagem:** os resíduos selecionados são picotados em tamanhos uniformes e enviados para caixas misturadoras, a fim de gerar homogeneidade nas cores.
- **Desfibrramento:** máquinas em formato de cilindro pinado fazem a desconstrução do resíduo a fim de recuperar a fibra. As fibras são transformadas em fardos para serem transportadas.
- **Abridores:** as fibras passam por uma linha de abertura que descompacta e as transforma em flocos de fibra.
- **Cardagem:** as fibras são paralelizadas em forma de mecha, resultando em uma fita de fibra.
- **Fiação:** a fiação depende de três processos, (i) afinamento para transformar a fita de fibra em fio, (ii) aplicação da torção para garantir a resistência do fio, e (iii) a formação das bobinas.
- **Binadeira:** união dos cabos de acordo com a quantidade de fios necessária para cada titulação, resultando na espessura final do produto.

- **Retorcedeira:** os fios já unidos são retorcidos e transformam-se no barbante.
- **Conicaleira:** as bobinas de barbante são repassadas em cones ou novelos, a forma final de comercialização.
- **Embalagem:** o produto final é embalado e rotulado, finalizando o processo produtivo.
- **Expedição:** os produtos são separados de acordo com cada pedido e são enviados a lojas de todo o Brasil.

As Figuras 13, 14, 15, 16, 17 e 18, a seguir, foram compartilhadas a fim de ilustrar algumas das etapas descritas acima.

Figura 13: Empresa C: coleta do resíduo em lotes



Fonte: Empresa C

Figura 14: Empresa C: resíduos Têxteis



Fonte: Empresa C

Figura 15: Empresa C: segregação do resíduo em cores



Fonte: Empresa C

Figura 16: Empresa C: fiação



Fonte: Empresa C

Figura 17: Empresa C: conicaleira



Fonte: Empresa C

Figura 18: Empresa C: produto final pré-embalagem



Fonte: Empresa C

Além do processo descrito detalhadamente, a empresa C também possui outros produtos finais, como a revenda de resíduos que foram descartados na etapa de classificação, a venda de fibra que não pode ser convertida em fio (mil cores) e uma iniciativa mais recente que engloba uma etapa de enriquecimento do fio com adição de fio virgem, uma estratégia de economia circular de *upcycling* com o objetivo de produzir fios mais finos. (EECA)

Em termos de tecnologia, embora as máquinas de desfibramento sejam projetadas para reciclagem, as máquinas de fiação (importadas da Turquia e Alemanha) são frequentemente pensadas para fibra virgem. Por isso, a empresa possui um grande setor de manutenção que realiza constantes adaptações nos equipamentos para otimizar o processamento da fibra reciclada, que é mais curta. (PP)

O controle de qualidade é um pilar central, sendo a principal razão pela qual a classificação foi internalizada. Isso permite um controle rigoroso sobre a pigmentação (contaminação por outras cores). A equipe de classificadores separa manualmente os resíduos não por cor exata, mas por tonalidade, utilizando um quadro de referência (ex: vários tons de rosa e laranja claro podem ser agrupados na categoria "salmão"). Este *blend* de tonalidades permite criar lotes de cor mais consistentes. (CQ)

A empresa C possui laboratórios nas unidades para medir características técnicas, como a resistência do fio, atendendo às demandas dos compradores. Além disso, possuem a certificação GRS (Global Recycled Standard), que exige 100% de rastreabilidade, permitindo que um lote de produto final seja rastreado até o fornecedor original do resíduo. Outro desafio de qualidade é a contaminação na origem: os resíduos chegam misturados com linhas de costura de cores contrastantes, papéis e plásticos da mesa de corte, que precisam ser removidos manualmente na classificação. Internamente, existe um controle rigoroso na troca de *setups* de cor nas máquinas (processo a seco), exigindo uma limpeza completa para evitar a contaminação cruzada entre lotes de cores diferentes. (CQ)

No âmbito econômico, a empresa destacou a ausência de incentivos fiscais ou políticas públicas de apoio para recicadoras. O benefício econômico da operação advém da capacidade de transformar o resíduo em produtos de valor agregado, como os fios para artesanato e os fios industriais, que geram margem de lucro. Essa margem precisa compensar as operações que não são lucrativas, como a revenda de fibras mil cores, que às vezes são vendidas por um valor menor do que o custo de compra do resíduo misturado. Dado que o custo de armazenagem é caro, não vale a pena ficar com o produto estampado em estoque. (IE)

Quanto aos impactos ambientais, o benefício mais facilmente mensurável é o desvio de 13.000 toneladas de resíduos têxteis de aterros sanitários por ano. Além disso, o processo de reciclagem mecânica evita o uso de água e produtos químicos (por não haver tingimento), tem baixa emissão de carbono e reduz a demanda por matéria-prima virgem, que na grande maioria dos casos é o algodão, poupando os recursos hídricos associados ao seu cultivo. (IA)

Por fim, a empresa C destacou os principais desafios e oportunidades relativos à sua operação. Um dos maiores desafios é a sazonalidade das cores. O fornecimento de cores dos resíduos varia drasticamente conforme a estação de produção das confecções (cores escuras no inverno, cores claras e pastéis no verão). No entanto, a demanda do consumidor por cores de fios para artesanato não acompanha essa sazonalidade, gerando um grande desequilíbrio: a empresa pode ter vendas de certas cores bloqueadas por falta de matéria-prima, enquanto acumula grandes estoques de outras cores que não têm saída. (BD)

A empresa C destaca que, historicamente, os maiores desafios para a implementação da empresa foram a viabilidade econômica e a barreira cultural. Segundo as entrevistadas, vinte anos atrás o mercado via o produto reciclado como algo de qualidade inferior, chegando a desencorajar a empresa de usar o termo "reciclado" no rótulo o que desincentivava a prática circular. Ainda mais com os custos do maquinário, que sendo importados e cotados em euro ou dólar, representam uma barreira econômica constante, assim como os longos prazos de entrega das próprias máquinas (seis meses ou mais). (BD)

Em um âmbito setorial, as entrevistadas acreditam que o maior desafio para a expansão da reciclagem no Brasil é a falta de comprometimento da cadeia como um todo, começando na etapa de desenvolvimento do produto. Os estilistas e faculdades de moda ainda não estão preparados para projetar pensando na reciclagem (evitando misturas de cores e materiais) ou para trabalhar com as características específicas do fio reciclado. A logística também é um gargalo; sendo o Brasil um país continental, o custo do transporte rodoviário torna inviável a coleta de resíduos em polos têxteis distantes ou de pequenos geradores, limitando a operação a fornecedores grandes e locais. (BD)

Em relação às oportunidades futuras, a empresa C está com um projeto que deve entrar em vigor no ano de 2026 para solucionar o problema dos resíduos estampados e das cores de baixa demanda. O plano envolve a aquisição de novos maquinários e a construção de uma nova fábrica para transformar essas fibras "mil cores" em novos produtos destinados a mercados que não dependem de cor, como o setor automotivo e a construção civil. Em relação à tecnologia, a empresa C está pesquisando soluções para a automação da etapa de classificação. No entanto, foi observado que as tecnologias atuais são focadas na separação por composição de fibras para resíduos pós-consumo, um problema enfrentado pela indústria têxtil europeia. A necessidade da empresa C está relacionada à separação do resíduo pré-consumo, algo que não está no escopo de tecnologias estrangeiras. (OF)

4.4 Estudo de caso 4 - empresa D

A empresa D é um ecossistema operacional de reciclagem e fiação têxtil. Fundada em 2017, a empresa D trabalha em parceria com diversas indústrias de confecção e reciclagem têxtil, sendo um *player* importante na integração e comunicação da cadeia têxtil como um todo. O entrevistado e fundador da empresa D, sediada em São Paulo, está no setor têxtil há mais de 40 anos e define a atuação como essencial no tratamento de resíduos têxteis. (CE)

O modelo de negócios da empresa D é o de um integrador de soluções de ciclo fechado. A plataforma não possui a fiação ou a tecelagem, mas desenvolveu a metodologia e a linha de produtos, ativando e adaptando tecnologicamente a rede de parceiros para executar a produção. Este ecossistema é capaz de gerenciar a cadeia de ponta a ponta: realiza a coleta de resíduos na indústria, coordena a transformação (fibra, fio, tecido) e comercializa o produto final. (MN)

Como ecossistema, a empresa D trabalha diretamente com diversas recicadoras e fiadoras, sendo o foco da entrevista na caracterização desse elo da cadeia do ecossistema. O foco principal da empresa D está na reciclagem de algodão pré-consumo (com atuação no pós-consumo também), principalmente resíduos de jeans e malhas. Resíduos de fibras sintéticas ou celulósicas, que não possuem tecnologia de reciclagem mecânica viável em escala, são destinados à simbiose industrial, explicado pelo entrevistado como um coprocessamento industrial. (MN)

Sua estratégia e proposta de valor está relacionada à integração das partes da cadeia, solucionando a coleta, a reciclagem e a venda dos materiais finais. Sob a ótica das recicadoras e fiadoras, a empresa D explicou o processo produtivo de um parceiro que adequa-se ao presente estudo (PP):

- **Coleta:** os resíduos têxteis são coletados pela empresa D.
- **Separação:** a separação em cores e tipo de material é realizada pela recicladora.
- **Pré-preparação:** os resíduos são picotados em tamanhos uniformes antes de irem para a máquina recicladora.
- **Desfibramento:** o resíduo é desfibrado para recuperar a fibra.
- **Fiação:** as fitas de fibra passam pelo processo de fiação por rotores.
- **Embalagem:** os fios são embalados para serem transportados de volta à confecção.

A principal estratégia circular adotada é a de reciclagem mecânica a partir de *upcycling*, transformando a fibra reciclada em um produto mais nobre que servirá de matéria-prima para camisa, calças e casacos nas grandes indústrias de confecção. Como dito, a empresa não opera materiais sintéticos que não podem ser reciclados de forma mecânica. (EECA)

A empresa D destaca que um ponto crítico do processo é a gestão de perdas. Ao contrário de materiais homogêneos como o alumínio, no têxtil não existe uma taxa de perda padrão. A perda pode variar de 8% a 40%, dependendo inteiramente do lote de resíduo recebido. Fatores como a qualidade do algodão original, os tratamentos químicos que recebeu, e a contaminação por outras fibras (como elastano ou poliéster) são fatores que delimitam a eficiência do processo. (PP e CQ)

A fim de garantir a qualidade do material produzido, principalmente pelo foco no *upcycling*, a empresa D adota processos de controle de qualidade intrínsecos à produção, que baseiam-se nos mesmos padrões de fios virgens (fios cuja matéria-prima é o algodão virgem). Os fios e tecidos reciclados produzidos são testados e precisam atender às normas têxteis dos padrões de qualidade do índice Uster. O objetivo é que o produto reciclado tenha performance o mais próximo possível do virgem. (CQ)

O principal impacto ambiental da operação da Empresa D não é apenas desviar resíduos do aterro sanitário, mas sim impedir o descarte incorreto. No Brasil, grande parte dos resíduos têxteis não chega a um aterro, sendo descartada em lixões a céu aberto ou terrenos baldios. O objetivo primário, no entanto, é a preservação de recursos naturais: cada quilo de fibra de algodão reciclada que a Empresa D coloca no mercado representa um quilo a menos de algodão virgem, com toda a sua pegada hídrica e de carbono, que deixa de ser produzido. (IA)

Do ponto de vista econômico o modelo consegue ser viável a partir da valorização do fio e do processo de *upcycling*. A empresa D atesta que é difícil contabilizar em específico devido à variedade de cada lote, mas lotes de maior qualidade e menor custo logístico sempre tendem a gerar ganhos maiores em relação a lotes com baixíssima qualidade que podem, inclusive, gerar prejuízos financeiros para a operação. (IE)

Por fim, a empresa D relatou os principais desafios e barreiras para o elo de reciclagem têxtil, bem como oportunidades futuras para a expansão da operação da reciclagem. Em relação às barreiras econômicas, o custo logístico é visto como o principal desafio. A empresa recicladora, foco do estudo, é quem tem que arcar com os custos logísticos no momento de aquisição resíduos e com os custos logísticos de devolução do fio reciclado

à indústria. Na visão da empresa D, esse custo deveria ser absorvido pelo gerador do resíduo, no entanto, a indústria de confecção não entende dessa forma transferindo o ônus financeiro ao reciclador, o que esprieme as margens da operação. Além disso, essa situação se agrava pelo fato de que o preço da matéria-prima virgem não embute suas externalidades negativas (custo ambiental), o que cria uma concorrência de preços desleal. (BD)

A empresa D ressaltou que o acesso à tecnologia "de ponta" é uma barreira muito grande devido ao alto custo do maquinário que possa processar misturas e automatizar a etapa de triagem. Alguns desses maquinários ainda estão em desenvolvimento, mas os equipamentos tradicionais de desfibramento e fiação, que são feitos exclusivamente para a reciclagem têxtil, são 100% importados e extremamente caros. Além disso, não há acesso a recursos ou linhas de financiamento subsidiadas para a reciclagem. A política governamental de incentivo é descrita pela empresa D como "zero" ou "ínfima". (BD)

Por fim, a empresa D entende que falta uma responsabilidade compartilhada por toda a cadeia têxtil. Isso se manifesta na resistência cultural e técnica da indústria em adotar o material reciclado e na confusão do consumidor, que é saturado por *greenwashing* e não consegue diferenciar e valorizar um produto realmente reciclado, que é mais caro. Diante desses desafios, a principal oportunidade para acelerar a indústria não reside apenas na educação do consumidor, mas fundamentalmente na criação de uma legislação e regulamentação específicas para o setor têxtil. Na visão da empresa D, uma regulação que estabeleça responsabilidades claras para os geradores de resíduos e crie mecanismos de incentivo reais é o passo fundamental para destravar o potencial da economia circular no setor. (BD e OF)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo dedica-se à análise e discussão dos dados coletados nos quatro estudos de caso apresentados no capítulo anterior, consolidando os achados empíricos para atender aos objetivos da pesquisa. A análise está estruturada de forma comparativa entre as empresas A, B, C e D com os conceitos da revisão bibliográfica.

5.1 Análise comparativa

5.1.1 Caracterização das empresas e modelo de negócios

As quatro empresas analisadas possuem divergências e semelhanças no que diz respeito aos temas CE e MN tratados nas entrevistas. As empresas A, B e C são tradicionais indústrias de reciclagem e fiação têxtil com plantas industriais e consolidação no setor há décadas focadas especificamente no pré-consumo. A empresa D, apesar de não ser uma indústria, trabalha diretamente com diversos parceiros do ramo, conseguindo mapear desafios e atuar na cadeia têxtil como um todo. Apesar dessa diferença, todas as empresas entrevistadas trabalham majoritariamente com resíduos de algodão, uma das matérias-primas mais comuns no setor de confecção têxtil.

Essa similaridade das características das empresas (CE) torna a análise comparativa acerca dos outros temas mais direcionada e condizente com a realidade do setor de reciclagem pré-consumo. Em relação ao modelo de negócios, é possível enxergar uma similaridade muito alta, mas com divergências em alguns aspectos no escopo produtivo que será tratado mais à frente. Em geral, o MN das empresas baseia-se na aquisição dos resíduos com posterior tratamento de reciclagem e venda dos fios.

As empresas A e B adotam um MN equivalente na captação dos resíduos têxteis, baseando suas operações em parcerias estratégicas com confecções que fornecem o resíduo já segregado na fonte. Este modelo, embora eficiente, expõe um primeiro desafio implícito: a dependência da disciplina e do controle de qualidade do fornecedor, que está fora da

governança da recicladora. Essa dependência acaba tendo um efeito que torna-se um desafio para a expansão da reciclagem, dado que as empresas limitam-se a absorver os resíduos de poucas indústrias e não conseguem aumentar sua base de fornecedores.

Em contrapartida, a empresa C adotou um MN de alta verticalização, internalizando todo o processo. A empresa adquire lotes sem separação prévia dos fornecedores, o que transforma a etapa de classificação manual interna em um pilar central de seu *know-how*, mas também em um significativo gargalo operacional e de custo. Já a Empresa D apresenta o modelo mais atípico, posicionando-se como um ecossistema integrador, sendo uma plataforma que gerencia toda a cadeia desde a coleta até a comercialização do produto final.

5.1.2 Processo produtivo, qualidade e estratégias

O processo produtivo (PP) central das quatro empresas é muito similar, baseando-se no *recycling* mecânico conforme descrito anteriormente na literatura. As etapas de coleta, separação (seja na origem ou interna), picotagem, desfibramento, cardagem e fiação são consistentes em todos os casos.

Nesse sentido, as quatro empresas já enfrentam um desafio intrínseco à reciclagem mecânica, que é a limitação técnica e *know-how* para reciclar diferentes tipos de fibras. Isso fica ainda mais evidente pela decisão unânime das empresas de trabalhar somente com algodão e descartar a possibilidade de trabalhar com resíduos têxteis sintéticos como poliéster e elastano. Isso ocorre, porque não é possível fazer reciclagem mecânica desses resíduos. A forma correta seria por meio de uma reciclagem química, mas esse tipo de reciclagem, conforme apontado pelas empresas A, B e D é economicamente inviável no Brasil devido aos custos das tecnologias e custos do processo.

Além disso, há a problemática da baixa qualidade da fibra reciclada, que é inerentemente mais curta e irregular que a fibra virgem. As empresas gerenciam este desafio de formas diferentes: a empresa A mistura a fibra reciclada com algodão virgem para garantir a qualidade, enquanto a empresa B relata que esta característica causa um maior índice de paradas nas máquinas e perdas de processo significativamente maiores, na faixa de 20-25%, em comparação a 8-10% da fiação virgem. A empresa A relatou perdas similares (30%) e a empresa D confirmou essa alta variabilidade (8-40%).

Outro desafio técnico é a limitação do know-how produtivo. A empresa B destacou a carência de mão de obra qualificada para esta operação específica, afirmando que

não existe treinamento formal e que o conhecimento é 100% empírico, desenvolvido internamente, nas palavras do diretor: *"a escola é a sua própria empresa"*. A empresa C corrobora este ponto ao relatar que seu maquinário importado, principalmente da Turquia e da Alemanha, é projetado para fibra virgem, exigindo adaptações constantes da equipe de manutenção para processar a fibra reciclada, mais curta.

No que tange ao posicionamento estratégico e estratégias de EC adotadas (EECA), as empresas A e D focam majoritariamente em *upcycling*, buscando produzir fios de maior valor agregado. A empresa B foca sua produção na reciclagem mecânica B2B tradicional, embora possua uma integração vertical parcial. Por fim, a empresa C direciona sua produção para diversos *players* a depender do fio produzido. Fios mais grossos são predominantemente direcionados para o mercado B2C de artesanato, enquanto fios mais finos voltam à indústria de confecção de vestimentas.

Esses diferentes modelos já revelam desafios de mercado distintos. As empresas A e D com foco maior em *upcycling* enfrentam o desafio de posicionar um produto reciclado como *"premium"* e justificar seu preço, que pode ser superior ao do virgem. Este cenário contrasta com o desafio histórico relatado pela empresa C, que no passado foi desencorajada a usar o termo *"reciclado"* por ser visto como um produto de qualidade inferior. Ambos os casos refletem o desafio de lidar com mercados imaturos e com a consciência do consumidor, que, como apontou a empresa D, é frequentemente confundido por práticas de *greenwashing*.

Em relação ao controle de qualidade (CQ) o pilar central está na etapa de triagem e separação dos resíduos, considerado por todas as empresas um dos maiores gargalos operacionais do setor. Seja feito na origem, conforme MN das empresas A e B, ou internamente, como na empresa C, o processo é manual, visual, intensivo em mão de obra e caro, o que é ainda mais agravado pela falta de tecnologia economicamente acessível. As empresas A e C, que buscaram soluções de automação, descobriram que as tecnologias europeias existentes focam na separação por composição para resíduos pós-consumo, e não na separação por cor (essencial para o pré-consumo), não resolvendo seu problema.

Ainda sob essa ótica, um desafio citado tanto pelas empresas quanto pela literatura que mistura a etapa de separação e triagem ao desafio intrínseco de reciclagem mecânica, é a contaminação de resíduos feitos de fibras sintéticas. Além da impossibilidade de reciclagem pela via mecânica, como citado anteriormente, é comum que alguns lotes de resíduos estejam contaminados com fibras que não são feitas de algodão. É extremamente difícil identificar isso de forma manual e visual, o que torna a etapa de triagem ainda mais

complexa e essencial para o PP.

Uma característica comum entre as quatro empresas entrevistadas é a utilização de normas e padrões que garantam a qualidade final do produto. As empresas A e D citam com mais clareza a utilização do sistema de classificação e padronização da Uster, referência global no controle de qualidade. Além disso, as empresas B, C e D citam a etapa de testagem em laboratórios, que normalmente envolvem testes de resistência e alongamento dos fios reciclados. Aqui, o desafio está mais interligado com as características intrínsecas da fibra reciclada que é mais curta e de menor resistência. Mas, é justamente com a utilização da padronização e dos testes que as empresas conseguem entender a qualidade do lote de resíduos para escolher a titulação correta dos fios. Todas as empresas trabalham com titulações variadas, desde títulos menores (fios mais grossos) até títulos maiores (fios mais finos) que acabam indo para indústrias de confecção diferentes. Os fios mais grossos tendem a ir para roupas mais brutas, como moletom, e fios mais finos tendem a ir para roupas mais delicadas, como camisas.

Por fim, o PP como um todo é impactado pela complexidade técnica das roupas. Esse desafio pode ser quebrado em duas perspectivas: a composição material das roupas, que envolve a mistura de diferentes tipos de fibra; e a composição estética das roupas, que envolve fibras de diferentes cores. O primeiro desafio descrito na literatura foi, também, citado pelas quatro empresas, já o segundo desafio foi evidenciado pela empresa C. O fato da empresa adquirir lotes fechados de seus fornecedores, faz com que ela não tenha certeza da estética dos retalhos e, com isso, cerca de 40% do seu volume de entrada consiste em resíduos estampados que, na etapa de desfibramento, transformam-se em uma fibra de "mil cores". Este material, embora tecnicamente reciclável, não tem aceitação de mercado, criando um gargalo que impacta diretamente a viabilidade econômica da operação.

5.1.3 Impactos ambientais e econômicos

No âmbito ambiental (IA), os impactos positivos são claros e unânimis em todas as quatro empresas. O benefício mais direto é o desvio de volumes massivos de resíduos de aterros sanitários ou do descarte irregular em lixões, como salientou a empresa D. Os volumes reportados são expressivos, como as 350 toneladas mensais da Empresa B e as 13 mil toneladas anuais da empresa C. Além disso, o processo mecânico elimina totalmente a etapa de tingimento, gerando uma enorme economia de água, produtos químicos e energia, e reduz a demanda por algodão virgem, uma cultura de alta pegada hídrica.

Todos esses impactos positivos estão diretamente atrelados aos ODS da ONU, mais

especificamente aos objetivos 6 (água limpa e saneamento), 12 (consumo responsável) e 13 (combate às mudanças climáticas). Apesar de todas as empresas terem noção qualitativa do impacto ambiental positivo que estão promovendo, também foi unânime a dificuldade de mensurar os impactos de forma quantitativa. Todas as empresas afirmaram que não possuem formas eficazes de realizar a medição dos impactos, com exceção do volume de fibra reciclada por ano.

Além dos impactos ambientais, as empresas entendem que também geram impactos sociais que estão atrelados aos ODS. Nesse sentido, o objetivo 9 (inovação e infraestrutura) está atrelado à geração de empregos a partir da inovação dos processos de reciclagem têxtil e a infraestrutura das plantas industriais.

Em relação aos impactos econômicos (IE) foi possível observar a manifestação da maior parte dos desafios sistêmicos das quatro empresas. Apesar da viabilidade econômica da operação que foi alcançada pelas quatro empresas, não foi possível obter dados precisos para medir esse impacto. A diversidade de custos de aquisição e de preços de venda dos fios fabricados entre as empresas e até dentro da mesma empresa demonstra como há variabilidade econômica no setor de reciclagem, refletindo no primeiro desafio citado, que é a baixa competitividade de custos em relação à fibra têxtil virgem. A empresa D definiu essa concorrência como "desleal", pois o preço da matéria-prima virgem não embute suas externalidades ambientais negativas. A empresa A gerencia isso vendendo seu produto *upcycled* acima do preço do virgem (R\$ 26-27/kg contra R\$ 19-20/kg), mas depende de um nicho de mercado disposto a pagar esse prêmio. Ainda sob essa perspectiva, a empresa B evidenciou um desafio identificado recentemente e que vem se agravando nos últimos meses. Além de enfrentar uma alta volatilidade de preços de aquisição das fibras no âmbito nacional, o que acaba refletindo no preço de venda dos fios reciclados, há uma competitividade internacional desleal. A empresa relatou que as indústrias de confecção estão importando fios reciclados da China que chegam ao Brasil a preços mais baratos do que os reciclados em território nacional.

Uma questão econômica, que é unânime entre as empresas e está presente na teoria, é a viabilidade econômica das tecnologias. Apesar de citado de forma abrangente na teoria, a partir da análise empírica é possível entender que o maior peso, em relação ao custo tecnológico, é o do maquinário, especialmente as máquinas de desfibramento e fiação. Todas as empresas citaram que utilizam máquinas importadas, majoritariamente de países europeus. Essa dependência externa é refletida pela pouca pesquisa tecnológica nacional e falta de incentivos na indústria local. Sendo assim, as recicadoras ficam reféns de fatores econômicos cambiais que inviabilizam a compra das máquinas em moeda estrangeira.

Outro fator determinante foi o alto custo logístico, citado pelas empresas B, C e D como uma barreira econômica primária. O custo de frete em um país continental como o Brasil que depende do modal rodoviário inviabiliza a coleta de resíduos em polos distantes. As empresas relataram que recebem com frequência contatos que querem doar os resíduos têxteis, mas estão afastados a ponto do custo logístico ser maior do que o benefício econômico da reciclagem. Todas as empresas citaram que arcaram com os custos logísticos e esse ônus financeiro não é repassado ao gerador do resíduo, o que na visão da empresa D é um desalinhamento sistêmico que desincentiva a reciclagem.

Para viabilizar a operação do ponto de vista logístico, as empresas adotam estratégias relativamente similares. As empresas A, B e C operam exclusivamente com parceiros estrategicamente localizados. Mais especificamente a empresa B relatou que possui 20 parceiros próximos à planta industrial em que confia para receber os resíduos previamente separados. A empresa C, por adotar uma estratégia verticalizada, também só opera perto da indústria, pois seu modelo baseia-se na aquisição de lotes inteiros, sem previamente saber a qualidade exata dos resíduos têxteis.

Diretamente ligado à logística e à demanda, surge o alto custo de armazenagem. Este desafio foi mencionado pela empresa B e comprovado na prática pela empresa C, que citou que o custo de manter em estoque as fibras "mil cores" é tão alto que a empresa é forçada a vendê-las abaixo do custo de aquisição, apenas para liberar espaço e capital de giro. O capital das recicadoras fica, portanto, empatado em estoques de baixa liquidez.

Este problema é exacerbado pela sazonalidade de cores, um desafio original identificado pela empresa C. A empresa recebe resíduos de cores escuras (design de inverno) quando o mercado demanda cores claras (design de verão), e vice-versa. Isso gera um descasamento de fluxo de caixa e força a manutenção de grandes estoques de fibras e fios parados por meses, cujo custo financeiro é arcado integralmente pela recicladora.

Por fim, todos esses desafios econômicos citados ainda são agravados por um desafio enfrentado de maneira unânime por todas as empresas: a ausência de incentivos fiscais e uma regulamentação específica para o setor. As empresas entrevistadas foram enfáticas ao relatar a inexistência de políticas públicas de fomento, a dificuldade de acesso ao capital e a falta de linhas de financiamento subsidiadas.

Como visto na literatura, o tópico da legislação é sensível e desdobra-se em duas leis principais: a PNRS e a Lei de Incentivo à Reciclagem. A PNRS é a lei que estabelece as diretrizes da reciclagem de resíduos sólidos, o que engloba os resíduos têxteis, mas sob uma ótica generalista. A lei estabelece responsabilidades para todos os agentes envolvidos

na gestão dos resíduos, mas na prática percebe-se que a maior responsabilidade recai sobre as recicadoras.

Por outro lado, a Lei de Incentivo à Reciclagem possui um incentivo fiscal para projetos de sustentabilidade. Entretanto, conforme explicitado, o benefício é extremamente baixo. A isenção de 1% do imposto de renda não é o suficiente para alavancar a expansão da reciclagem, a compra de novas máquinas ou a ajuda no capital de giro necessário para sustentar as atividades. Além disso, as leis não preveem uma linha subsidiada que poderia financiar a aquisição do maquinário importado conforme necessitam as empresas.

Vale ressaltar que, em todas as entrevistas conduzidas, um dos principais tópicos abordados foi a questão jurídica e as políticas públicas para o setor de reciclagem têxtil. Apesar disso, em nenhuma das conversas as companhias chegaram a citar as leis discutidas anteriormente (PNRS e Incentivo à Reciclagem). Isso pode demonstrar a falta de divulgação por parte dos órgãos públicos e conhecimento geral do setor perante às leis. Ou, ainda, que as leis são pouco aplicadas na prática e geram poucos benefícios de forma que as empresas não as enxergam como uma atual alavanca aos desafios do setor.

Nesse sentido, fica evidente a necessidade de um maior engajamento do poder público e das instituições que representam a indústria têxtil para fomentar mudanças na legislação e nas diretrizes que impulsionam a reciclagem do setor.

5.2 Consolidação dos desafios enfrentados

A discussão integrada a partir dos estudos de caso realizados ao longo do capítulo demonstrou que as recicadoras têxteis brasileiras enfrentam barreiras complexas e interdependentes nas esferas técnica, econômica e sistêmica. A Tabela 6, a seguir, consolida os desafios encontrados de forma empírica comparando-os com os já mapeados na literatura.

Tabela 6: Quadro de desafios validados enfrentados por recicadoras da indústria têxtil pré-consumo

Esfera	Desafios na literatura	Desafios na prática
Técnica	Baixa qualidade da fibra reciclada. (LOO; YU; HU, 2023) (THOMAS et al., 2024)	Desafio gerenciado com perdas maiores, adaptação das máquinas para reciclagem têxtil ou mistura com fibra virgem.
Técnica	Separação e triagem de resíduos de diferentes fibras. (LOO; YU; HU, 2023) (JUANGA-LABAYEN; LABAYEN; YUAN, 2022) (KOSZEWSKA, 2018) (THOMAS et al., 2024)	É o maior gargalo operacional, pois o processo acaba sendo manual, visual, caro e intensivo. O desafio é mitigado ao restringir os fornecedores a poucas indústrias de confiança, tanto para as empresas que fazem a triagem quanto para as que terceirizam isso ao parceiro.
Técnica	Contaminação de resíduos feitos de fibras sintéticas. (LOO; YU; HU, 2023) (JUANGA-LABAYEN; LABAYEN; YUAN, 2022) (KOSZEWSKA, 2018)	Empresas sofrem na triagem com a contaminação e descartam as fibras sintéticas devido à impossibilidade de reciclagem mecânica. A reciclagem química desses materiais ainda não é uma realidade no Brasil devido aos altos custos.
Técnica	Tecnologias economicamente viáveis. (KOSZEWSKA, 2018)	O maquinário para a reciclagem mecânica é importado de países europeus, o que torna o custo de aquisição muito alto.
Técnica	Limitação de tecnologias e <i>know-how</i> para reciclar diferentes tipos de fibras. (CANDIDO, 2021) (KOSZEWSKA, 2018)	A tecnologia de automação de triagem é inadequada, pois foca no pós-consumo. O maquinário de fiação exige adaptação técnica para fios reciclados.
Técnica	Complexidade técnica das roupas. (CANDIDO, 2021) (KOSZEWSKA, 2018) (THOMAS et al., 2024)	O problema é crítico e afeta toda a cadeia. O design não é feito para a reciclagem, fazendo com que haja misturas de resíduos inviáveis de serem recicladas.

Técnica	(<i>Mapeado empiricamente</i>)	A qualificação da mão-de-obra é essencial. Não há treinamento e a aprendizagem se dá na prática.
Sistêmica	Consciência do consumidor. (KOSZEWSKA, 2018)	É um desafio que não afeta diretamente a reciclagem pré-consumo, mas foi citado pelas empresas como um desafio geral da indústria têxtil.
Sistêmica	Mercados imaturos com baixa demanda. (CANDIDO, 2021) (KOSZEWSKA, 2018)	Já foi um desafio mais expressivo, pois o mercado atrelava "reciclado" a "baixa qualidade". Hoje, há indústrias pioneiras, mas a demanda ainda é um desafio.
Sistêmica	Falta de rastreabilidade do resíduo. (KOSZEWSKA, 2018)	O desafio é gerenciado a partir do GRS por algumas das empresas, mas ainda não é algo amplamente utilizado no setor.
Econômica e Sistêmica	Baixo incentivo para investimentos em reciclagem de qualidade. (KOSZEWSKA, 2018) (THOMAS et al., 2024)	A reciclagem de alta qualidade é um processo caro e a indústria não deseja arcar com esse preço. As recicadoras não conseguem, sozinhas, aumentar a qualidade.
Econômica e Sistêmica	Ausência de regulamentações no setor e incentivos fiscais robustos. (JUANGA-LABAYEN; LABAYEN; YUAN, 2022) (KOSZEWSKA, 2018)	Desafio crítico e enxergado como essencial. Apesar das duas leis vigentes abordadas na pesquisa, os incentivos são ínfimos e a política é muito abrangente.
Econômica	Baixa competitividade de custos em relação à fibra virgem. (JUANGA-LABAYEN; LABAYEN; YUAN, 2022) (CANDIDO, 2021)	O desafio é visto como desleal, pois as externalidades ambientais não estão embutidas no custo do material virgem. É gerenciado por tentativas de redução de custos e aumento de qualidade.
Econômica	Alto custo e baixa infraestrutura logística para a coleta de resíduos (KOSZEWSKA, 2018)	O desafio é gerenciado limitando os fornecedores a localizações próximas. É um custo que pode inviabilizar completamente a reciclagem.

Econômica	<i>(Mapeado empiricamente)</i>	Alto custo de armazenagem e estoques parados afetam o fluxo de caixa das recicladoras.
Econômica	<i>(Mapeado empiricamente)</i>	Sazonalidade na oferta de cores dos resíduos não é casada com a demanda do mercado, gerando ineficiência.
Econômica	<i>(Mapeado empiricamente)</i>	Ameaça internacional desleal de fios reciclados provenientes da China com preços baixos.

Fonte: Elaboração própria

6 CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES

O presente trabalho de formatura foi estruturado com o objetivo central de contribuir para uma compreensão dos desafios enfrentados por recicadoras da indústria têxtil brasileira no contexto da EC. Para isso, foi necessário entender o modelo de negócios e processos das recicadoras e, a partir disso, investigar os desafios enfrentados por essas empresas.

Esses objetivos foram atingidos a partir de uma revisão bibliográfica dos principais conceitos relacionados ao tema, e uma amostra de estudos de caso qualitativos realizados através de entrevistas com empresas que caracterizam-se no espectro definido.

Com isso, foi possível identificar que, embora operem com diferentes modelos de negócio, todas convergem em uma estratégia produtiva baseada no *recycling mecânico* de resíduos pré-consumo. A pesquisa conclui que os desafios para a consolidação e expansão da circularidade no setor têxtil não são triviais e se manifestam em três esferas interdependentes: técnica, econômica e sistêmica.

Na esfera técnica, o principal gargalo operacional identificado é a separação e triagem de resíduos. Por ser um processo manual, visual, intensivo em mão de obra e, consequentemente, caro, ele limita a escalabilidade da operação. A tecnologia para automação desta etapa é inadequada para o resíduo pré-consumo (focada em composição, não em cor) ou economicamente inacessível. Este desafio é agravado pela complexidade técnica das roupas, que tem um design sem foco na recicabilidade, o que resulta em materiais como resíduos estampados que não possuem aceitação de mercado e geram prejuízo. Além disso, a baixa qualidade da fibra reciclada, inherentemente mais curta, exige adaptações em maquinários que são pensados para a fibra virgem.

Na esfera econômica, a viabilidade da operação é constantemente pressionada e dificultada. O alto custo logístico, em um país de dimensões continentais e dependente do modal rodoviário, foi apontado como uma barreira primária, muitas vezes inviabilizando a coleta de resíduos, ônus que recai diretamente sobre a recicladora. Além disso, o alto

custo de armazenagem pressiona o capital de giro e força as empresas a venderem produtos abaixo do custo, gerando prejuízo. A operação enfrenta ainda uma concorrência desleal, tanto da matéria-prima virgem, cujo preço não embute suas externalidades ambientais , quanto de fios reciclados importados que chegam ao país a preços subsidiados.

Por fim, a esfera sistêmica revelou-se uma barreira crítica e fundamental. Houve unanimidade entre as empresas entrevistadas sobre a ausência total de incentivos fiscais robustos, regulamentações específicas para o setor têxtil e linhas de financiamento subsidiadas. As leis existentes, como a PNRS e a Lei de Incentivo à Reciclagem , mostraram-se insuficientes ou desconhecidas pelos agentes, atestando sua baixa eficácia prática para o setor. Assim, é importante que haja um enfrentamento direto dessas questões e projetos de lei que promovam a transformação da reciclagem têxtil em alta escala.

Como próximos passos para o desenvolvimento desse trabalho, dadas as limitações de coleta precisa de dados, poderiam ser aprofundados em conjunto os desafios de sazonalidade da oferta de cores e os desafios dos altos custos de armazenagem, sob uma ótica de otimização econômico-financeira de uma das empresas entrevistadas. Além disso, poderia ser feita uma pesquisa abrangente com o objetivo de mapear todos os *players* que atuam como reciclador e fiador para entender a magnitude e importância desse elo da cadeia de reciclagem têxtil em âmbito nacional. Por fim, poderia ser realizado, também, um estudo do ponto de vista jurídico-financeiro que aprofundasse na implementação de incentivos fiscais robustos e linhas de financiamento para as recicadoras têxteis, ressaltando a viabilidade dessas políticas no contexto brasileiro.

REFERÊNCIAS

ABIT. *Perfil do setor*. 2024. Acessado em: 03 de maio de 2025. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>.

Textile Exchange. The global fiber market. *Materials Market Report 2024*, 2024. Disponível em: <<https://2d73cea0.delivery.rocketcdn.me/app/uploads/2024/09/Materials-Market-Report-2024.pdf>>.

OTEKENARI, D. E. Moving beyond take-make-dispose to take-makeuse for sustainable economy. *International Journal of Scientific Research in Education*, v. 13, n. 3, p. 497–516, 2020.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 114, n. 7, p. 11–32, 2016.

GENG, Y. et al. *Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis*. 2012. Acessado em: 04 de maio de 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611002460>>.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *A new textiles economy: redesigning fashion's future*. 2017. Acessado em: 03 de maio de 2025. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>>.

United Nations. *Towards zero waste in fashion and textiles*. 2022. Disponível em: <<https://www.un.org/en/observances/zero-waste-day>>.

United Nations. International day of zero waste 2025. 2025. Disponível em: <<https://www.unep.org/events/un-day/international-day-zero-waste-2025>>.

ROSA, L. A. B. da. Economia circular e objetivos de desenvolvimento sustentável: principais tendências de pesquisa. 2023.

United Nations. *THE 17 GOALS*. 2023. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>>.

KIRCHHERR, J. et al. *Breaking the Barriers to the Circular Economy*. 2017. Acessado em: 20 de maio de 2025. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/10/8/2758#B2-sustainability-10-02758>>.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions*. 2017. Acessado em: 20 de maio de 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302835#bib0325>>.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *The circular economy in detail*. 2019. Acessado em: 20 de maio de 2025. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-circular-economy-in-detail-deep-dive>>.

- MORSELETTO, P. *Restorative and regenerative: Exploring the concepts in the circular economy*. 2020. Acessado em: 20 de maio de 2025. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12987>>.
- MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. *The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context*. [S.l.], 2015. v. 140, 369-380 p. Acessado em: 21 de maio de 2025. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10551-015-2693-2>>.
- BLOMSMA, F.; BRENNAN, G. *The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity*. 2017. Acessado em: 20 de maio de 2025. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.12603>>.
- HIRSCH, P. M.; LEVIN, D. Z. *Umbrella Advocates Versus Validity Police: A Life-Cycle Model*. [S.l.], 1999. v. 10, n. 2, 199-212 p. Acessado em: 21 de maio de 2025. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2640312>>.
- GEISSDOERFER, M. et al. *The Circular Economy – A new sustainability paradigm?* 2016. Acessado em: 22 de maio de 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616321023>>.
- MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. [S.l.]: North Point Press, 2002.
- KALMYKOVA, Y.; SADAGOPANB, M.; ROSADOC, L. Circular economy – from review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation Recycling*, v. 135, p. 190–201, 2018. Acessado em: 30 de junho de 2025.
- KARLSSON, R.; LUTTROPP, C. Ecodesign: what's happening? an overview of the subject area of ecodesign and of the papers in this special issue. *Journal of Cleaner Production*, v. 14, p. 1291–1298, 2006. Acessado em: 07 de julho de 2025.
- CHARTER, M.; TISCHNER, U. *Sustainable solutions: developing products and services for the future*. Greenleaf Publishing, 2001. Acessado em: 14 de julho de 2025. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=VKo0DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT17&ots=zTd9_8wtJJ&sig=bnxngGREYxG2UfX74IEv6LTXqek&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>.
- SCHÄFER, M.; LÖWER, M. Ecodesign—a review of reviews. *Sustainability*, v. 13, 2021. Acessado em: 07 de julho de 2025. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/1/315>>.
- VALLET, F. et al. Using ecodesign tools: An overview of experts' practices. *Design Studies*, 2013. Disponível em: <<http://hal.science/hal-01251846v1/document>>.
- BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652606002587>>.
- MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. *The upcycle. Beyond sustainability - designing for abundance*. [S.l.]: North Point Press, 2013.

- ASCHEMANN-WITZEL, J.; STANGHERLIN, I. Upcycled by-product use in agri-food systems from a consumer perspective: A review of what we know, and what is missing. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 168, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162521001815>>.
- HELBIG, C. et al. A terminology for downcycling. *Journal of Industrial Ecology*, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/360727530_A_terminology_for_downcycling>.
- REIKE, D.; VERMEULEN, W. J.; WITJES, S. The circular economy: New or refurbished as ce 3.0? — exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 135, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302756>>.
- RAGAERT, K.; DELVA, L.; GEEM, K. V. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X17305354>>.
- WORRELL, E.; REUTER, M. A. *State-of-the-art for Practitioners, Analysts, and Scientists*. [S.l.]: Elsevier, 2014.
- AL-SALEM, S.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (psw): A review. *Waste Management*, v. 29, p. 2625–2643, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09002190>>.
- HOPEWELL, J.; DVORAK, R.; KOSIOR, E. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 364, 2009. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2008.0311>>.
- MUZATA, T. S.; MATUANA, L. M.; RABNAWAZ, M. Challenges in the mechanical recycling and upcycling of mixed postconsumer recovered plastics (pcr): A review. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, v. 08, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666086524000122>>.
- SCHADE, A. et al. Plastic waste recyclinga chemical recycling perspective. *ACS Sustainable Chemistry Engineering*, v. 12, 2024. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.4c02551>>.
- LASE, I. S. et al. How much can chemical recycling contribute to plastic waste recycling in europe? an assessment using material flow analysis modeling. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 192, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344923000538>>.
- YÜLEK, M. A. et al. The textile and clothing industrialization cycle. *M U İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, v. 41, p. 256–277, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/338284963_The_Textile_and_Clothing_Industrialization_Cycle>.
- TAYLOR, D. *The Textile Industry 1700–1850*. [S.l.: s.n.], 1988.
- FURTADO, C. *Formação Econômica do Brasil*. [S.l.]: Companhia das Letras, 2007.

- HARLEY, C. K. Was technological change in the early industrial revolution schumpeterian? evidence of cotton textile profitability. *Explorations in Economic History*, v. 49, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014498312000381>>.
- JENKINS, D. *The Cambridge History of Western Textiles*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2003.
- TOKATLI, N. Global sourcing: insights from the global clothing industry—the case of zara, a fast fashion retailer. *Journal of Economic Geography*, v. 8, p. 21–38, 2008. Disponível em: <<https://academic.oup.com/joeg/article-abstract/8/1/21/910523>>.
- LIPOVETSKY, G. *O império do efêmero - a moda e seu destino nas sociedades modernas*. [S.l.]: Companhia das Letras, 1989.
- CLAUDIO, L. Waste couture: Environmental impact of the clothing industry. *Environmental Health Perspectives*, v. 115, p. 449–454, 2007. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1964887/>>.
- QU, Z. The rise of shein: Navigating the digital era of fast fashion and its comprehensive impacts. *Advances in Economics Management and Political Sciences*, v. 76, p. 248–254, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/379918500_The_Rise_of_SHEIN_Navigating_the_Digital_Era_of_Fast_Fashion_and_Its_Comprehensive_Impacts>.
- RAJVANSIHI, A.; CALDWELL, J.; JOHNSON, A. D. *Shein Is the World's Most Popular Fashion Brand—at a Huge Cost to Us All*. 2023. Time Magazine. Acessado em: 20 de setembro de 2025. Disponível em: <<https://time.com/6247732/shein-climate-change-labor-fashion/>>.
- CAMARGO, L. R.; PEREIRA, S. C. F.; SCARPIN, M. R. S. Fast and ultra-fast fashion supply chain management: an exploratory research. *International Journal of Retail Distribution Management*, v. 48, p. 537–553, 2020. Disponível em: <<https://www.emerald.com/ijrdm/article-abstract/48/6/537/234152/Fast-and-ultra-fast-fashion-supply-chain?redirectedFrom=fulltext>>.
- DZHENGIZ, T.; HAUKKALA, T.; SAHIMAA, O. (un)sustainable transitions towards fast and ultra-fast fashion. *Fashion and Textiles - International Journal of Interdisciplinary Research*, v. 10, 2023. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1186/s40691-023-00337-9>>.
- IIINIMÄKI, K. et al. The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth Environment*, v. 1, p. 189–200, 2020. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s43017-020-0039-9>>.
- HAPPONEN, A.; MALAHAT, G. A mapping study of the current literature on digitalization and industry 4.0 technologies utilization for sustainability and circular economy in textile industries. *LUT University*, 2022. Disponível em: <<https://lutpub.lut.fi/handle/10024/168788>>.
- PENSUPA, N. et al. Recent trends in sustainable textile waste recycling methods: Current situation and future prospects. *Topics in current chemistry*, v. 375, n. 16, 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s41061-017-0165-0>>.

- SEBRAE. *Análise de eficiência econômica e da competitividade da cadeia têxtil brasileira.* [S.l.]: IEL, 2000.
- JUANGA-LABAYEN, J. P.; LABAYEN, I. V.; YUAN, Q. A review on textile recycling practices and challenges. *Textiles*, v. 2, n. 1, p. 174–188, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/textiles2010010>>.
- BROEGA, C.; CARVALHO, C.; MORAES, C. Metodologia de eco-design no ciclo de moda: Reutilização e reciclagem do desperdício de vestuário. *IV Congresso Internacional de Pesquisa e Design*, 2011.
- ZONATTI, W. F. Estudo interdisciplinar entre reciclagem têxtil e o design: avaliação de compósitos produzidos com fibras de algodão. *Escola de Artes, Ciências e Humanidades*, 2013. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-13032013-015305/publico/mestrado.pdf>>.
- PEREIRA, G. de S. Materiais e processos têxteis. *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina*, 2009. Disponível em: <<https://wiki.ifsc.edu.brmediawiki/images/temp/0/07/20090218180450!MPTEX6.pdf>>.
- LOO, S.-L.; YU, E.; HU, X. Tackling critical challenges in textile circularity: A review on strategies for recycling cellulose and polyester from blended fabrics. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 11, n. 5, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110482>>.
- CANDIDO, R. Recycling of textiles and its economic aspects. *Fundamentals of Natural Fibres and Textiles*, p. 599–624, 2021.
- KOSZEWSKA, M. Circular economy — challenges for the textile and clothing industry. *AUTEX Research Journal*, v. 18, n. 4, p. 337–347, 2018.
- THOMAS, K. et al. Fundamental challenges and opportunities for textile circularity. *Sustainability*, v. 16, n. 24, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su162411117>>.
- Brasil. Linha do tempo da política nacional de resíduos sólidos. *Ministério do Meio Ambiente*, 2011. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/linha-do-tempo.html>>.
- Brasil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Casa Civil*, 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>.
- Brasil. Lei nº 14.260, de 8 de dezembro de 2021. *Casa Civil*, 2021. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14260.htm>.
- OLIVEIRA, M. F. de. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em administração. *UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS*, 2011. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/567/o/Manual_de_metodologia_cientifica_-Prof_-Maxwell.pdf>.
- YIN, R. K. *Estudo de caso, planejamento e métodos*. [S.l.]: Bookman, 2001.
- ZAPPELLINI, M. B.; FEUERSCHÜTTE, S. G. O uso da triangulação na pesquisa científica brasileira em administração. *Administração: Ensino e Pesquisa*, v. 16, n. 2, p. 241–273, 2015. Disponível em: <<https://raep.emnuvens.com.br/raep/article/view/238>>.