

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LUCAS RENER CAVIOLI

Estudo das interações entre os atores de um ecossistema de
embalagens

São Carlos
2025

LUCAS RENER CAVIOLI

Estudo das interações entre os atores de um ecossistema de
embalagens

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dra. Janaína Hornos da Costa Mascarenhas

São Carlos
2025

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

C382e	Cavioli, Lucas Rener Estudo das interações entre os atores de um ecossistema de embalagens / Lucas Rener Cavioli; orientadora Janaina Hornos da Costa Mascarenhas; coorientador Camila Gonçalves Castro. São Carlos, 2025. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2025. 1. Efeito rebote. 2. Economia circular. 3. Logística reversa. 4. Embalagens de vidro.. I. Título.
-------	---

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Lucas Rener Cavioli**

Data da Defesa: 30/05/2025

Comissão Julgadora:

Resultado:

Janaina Hornos da Costa Mascarenhas (Orientador(a))

Aprovado

Camila Gonçalves Castro

Aprovado

Guilherme Henrique Duarte de Oliveira

Aprovado



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

*Aos meus pais, Ana Paula e Marcelo, e à
minha irmã Lizandra, pelo apoio
durante todos esses anos.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, Ana Paula e Marcelo, pelo apoio incondicional desde o momento que escolhi Engenharia Ambiental como minha profissão e por me ensinar a ter fé e ter esperança nos momentos desafiadores da vida. Também agradecer a minha irmã, Lizandra, por ser minha principal inspiração e me tornar uma pessoa, profissional e irmão cada vez melhor. Em muitas ocasiões ficamos apenas eu e você, e me sentia sendo cuidado como uma segunda mãe.

À minha orientadora Professora Dra. Janaína Mascarenhas, da Escola de Engenharia de São Carlos, por defender a Economia Circular dentro do ambiente acadêmico e possibilitar minha pesquisa e as de outros(as) alunos(as) a saírem do papel em prol do desenvolvimento sustentável.

À Dra. Camila Castro, que acreditou no meu potencial durante o processo seletivo para a IC e me escolheu como orientando para a realização da pesquisa. Desde as reuniões semanais até nosso encontro em Budapeste, tenho certeza de que fiz a escolha certa. Todos os conhecimentos compartilhados ao longo dessa jornada foram extremamente enriquecedores e marcaram de forma significativa a minha graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação científica concedida por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica (PIBIC-USP).

Aos meus amigos da Engenharia Ambiental, em especial: Batata, Pepper, Crea, Gi, Cabra, Andréina, Juliana, Jorel, Milena, Paty, Heinz, Acerola, Gisele, Smart, Pampers e Jeri. Ter a companhia de vocês foi essencial, compartilhando conquistas, dividir as angústias e encontrar apoio sincero em cada conversa fez toda a diferença. Vocês tornaram essa caminhada mais leve, divertida e inesquecível.

Aos colegas que fizeram parte das extracurriculares durante esses anos, principalmente à ENG AJ, onde consegui aprender com pessoas incríveis (principalmente amigos das turmas 018, 017 e 016) e achar meu objetivo dentro da Engenharia Ambiental.

Aos amigos da época da escola que estão comigo até hoje, que mesmo cada um em cidades diferentes, conseguimos manter a amizade e torcer um pelo outro. Em especial a minha querida amiga Ana Luisa, que está comigo desde meus 3 anos de idade e viu de perto e apoia todas as etapas da minha vida até aqui.

À toda equipe do NUMA (Núcleo de Manufatura Avançada), onde fui acolhido como aluno de IC e contribuíram para o meu desenvolvimento e à minha pesquisa.

A todos os professores da EESC-USP que foram parte da minha formação. Obrigado pelo ensino de qualidade e compartilharem experiências dentro da Universidade, nos preparando para o futuro.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação, seja de maneira direta ou indireta. Cada palavra de apoio, gesto de incentivo ou troca de conhecimento fez parte dessa trajetória e será sempre lembrado com apreço.

RESUMO

CAVIOLI, L. R. **Estudo das interações entre os atores de um ecossistema de embalagens**. 2025. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

A degradação ambiental associada ao modelo linear de produção e consumo tem estimulado a adoção da Economia Circular (EC), que busca o retorno da matéria prima e do produto à cadeia produtiva. O vidro, por ser 100% reciclável, destaca-se como material estratégico dentro dessa lógica, entretanto estratégias circulares podem gerar o chamado Efeito Rebote (ER), quando ganhos de eficiência estimulam o aumento do consumo e comprometem os benefícios ambientais. Este trabalho teve como objetivo estudar o ecossistema de embalagens de vidro no Brasil, com a análise do gerenciamento dos resíduos do produto, a Logística Reversa (LR), os impactos positivos e negativos da reciclagem, a cooperação entre os atores e os possíveis ER's. Foi adotado um estudo de caso com análise qualitativa e quantitativa, incluindo a aplicação do framework dos 9R's da EC, análise de relatórios, artigos e notícias do setor, e entrevistas com empresas, associações e organizações sociais. Os resultados mostram que, embora o vidro tenha vantagens ambientais relevantes, a cadeia enfrenta desafios como informalidade na coleta, baixos índices de reciclagem e logística concentrada em regiões específicas. Identificaram-se também impactos sociais e econômicos negativos, sendo os ER's do ecossistema estudado, como a precarização do trabalho dos catadores e a baixa atratividade financeira do vidro reciclado. Em relação à cooperação entre os atores ainda é limitada, o que compromete o desempenho do sistema, principalmente a importância das cooperativas e catadores para garantir a circularidade do produto. Conclui-se que o fortalecimento das políticas públicas e da articulação entre os envolvidos, como também novos investimentos de infraestrutura a fim de viabilizar economicamente a reciclagem, é essencial para garantir a transição do modelo linear para o circular no ecossistema de embalagens de vidro no Brasil.

Palavras-chave: Efeito rebote. Economia circular. Logística reversa. Embalagens de vidro.

ABSTRACT

CAVIOLI, L. R. **Study of the interactions between the actors in a packaging ecosystem.** 2025. Monograph (Final Paper) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

Environmental degradation associated with the linear model of production and consumption has driven the adoption of the Circular Economy (CE), which aims to return raw materials and products to the production chain. Glass, being 100% recyclable, stands out as a strategic material within this logic. However, circular strategies can generate the so-called Rebound Effect (RE), where efficiency gains stimulate increased consumption and compromise environmental benefits. This study aimed to analyze the glass packaging ecosystem in Brazil, focusing on waste management, Reverse Logistics (RL), the positive and negative impacts of recycling, cooperation among stakeholders, and potential REs. A case study was conducted using both qualitative and quantitative approaches, including the application of the 9Rs framework of the CE, analysis of industry reports, articles, and news, as well as interviews with companies, associations, and social organizations. The results show that although glass has significant environmental advantages, the value chain faces challenges such as informal collection practices, low recycling rates, and logistics concentrated in specific regions. Negative social and economic impacts were also identified, such as the precarious working conditions of waste pickers and the low financial attractiveness of recycled glass, which were classified as REs in the studied ecosystem. Cooperation among stakeholders is still limited, which undermines system performance, particularly considering the key role of cooperatives and waste pickers in ensuring product circularity. The study concludes that strengthening public policies, fostering stakeholder collaboration, and investing in infrastructure are essential to economically enable recycling and support the transition from a linear to a circular model in Brazil's glass packaging ecosystem.

Keywords: Rebound effect. Circular economy. Reverse logistics. Glass bottles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo da logística reversa do vidro.....	15
Figura 2: Linha do tempo com as publicações sobre a logística reversa do vidro.....	16
Figura 3: Fluxo da economia linear.....	18
Figura 4: Geração de resíduos sólidos no Brasil.....	18
Figura 5: Modelo da economia circular (Diagrama Borboleta).....	19
Figura 6: Estratégias dos 9R's.....	20
Figura 7: Possíveis relações entre as etapas de sistemas de logística reversa.....	22
Figura 8: Componentes químicos do vidro.....	23
Figura 9: Distribuição das embalagens de vidro.....	24
Figura 10: Estrutura dos potenciais efeitos rebotes	26
Figura 11: Protocolo de codificação.....	29
Figura 12: Ciclo infinito do vidro.....	32
Figura 13: Impactos negativos e positivos da logística reversa e reciclagem do vidro.....	39
Figura 14: Estrutura dos efeitos rebotes no ecossistema de vidro.....	41
Figura 15: Fluxo do processo do ecossistema de embalagens de vidro.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Definição das Estratégias-R.....	21
Tabela 2: Lista das entrevistas.....	31
Tabela 3: Resultado consolidado das estratégias-R.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRABE – Associação Brasileira de Bebidas

ABRE – Associação Brasileira de Embalagem

ABREMA – Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro

ANAMMA – Associação Nacional de Órgãos Municipais de Meio Ambiente

CNI – Confederação Nacional da Indústria

DS – Desenvolvimento Sustentável

EC – Economia Circular

EEA – Agência Europeia do Ambiente (*European Environment Agency*)

EMF – Ellen MacArthur Foundation

ER – Efeito Rebote

LR – Logística Reversa

ONG - Organização Não Governamental

PEV – Ponto de Entrega Voluntária

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

R's – Conjunto de estratégias sustentáveis (Recusar, Repensar, Reduzir, Reutilizar, Reparar, Renovar, Remanufatura, Reaproveitar, Reciclar e Recuperar)

CO₂ – Dióxido de Carbono

°C – Graus Celsius

kg – Quilograma

Pop – População

ton – Tonelada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. Economia Circular.....	17
3.2 Indústria do Vidro.....	22
3.2.1. Embalagens de vidro.....	23
3.2.2 Logística reversa das embalagens de vidro.....	25
3.3 Efeito Rebote.....	26
4. MÉTODO DE PESQUISA.....	27
4.1. Estudar as alternativas no gerenciamento dos resíduos de vidro sob a ótica da economia circular.....	28
4.2. Impactos positivos e negativos da reciclagem e da logística reversa no ecossistema de vidro.....	28
4.3. Identificar possíveis efeitos rebotes no ecossistema do vidro.....	30
4.4. Estudar a cooperação entre os atores do ecossistema de vidro.....	30
5. RESULTADOS.....	32
5.1 Estudar as alternativas no gerenciamento dos resíduos de vidro sob a ótica da economia circular.....	32
5.1.1 Reciclagem.....	32
5.1.2 Reutilizar.....	34
5.1.3 Reaproveitar.....	34
5.1.4 Renovar.....	35
5.1.5 Reduzir.....	35
5.1.6 Panorâma das estratégias-R.....	36
5.2 Impactos positivos e negativos da reciclagem e da logística reversa no ecossistema de vidro.....	37
5.3 Identificar possíveis efeitos rebotes no ecossistema do vidro.....	40
5.4 Estudar a cooperação entre os atores do ecossistema de vidro.....	42
6. CONCLUSÃO.....	48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
8. ANEXOS.....	58

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de produtos pelas organizações é um processo colaborativo que busca alinhar as exigências funcionais às expectativas dos clientes, com o objetivo de atender às suas necessidades. Com o consumo em constante crescimento, as empresas são pressionadas a lançar novos produtos em prazos cada vez menores, o que intensifica a necessidade de aprimorar técnicas que promovam a sustentabilidade ao longo de todo o ciclo produtivo (Détienne; Martin; Lavigne, 2005).

Os produtos estabelecem uma relação constante com o meio ambiente por meio dos fluxos de energia e materiais que ocorrem em todas as etapas do seu ciclo de vida, desde a extração até o descarte (Židonienė; Kruopienė, 2015). Para que esse ciclo se torne mais sustentável, é fundamental adotar princípios de circularidade, como a redução no consumo de matéria-prima, o reaproveitamento de peças por meio de reparos e manutenções, além da reciclagem de materiais (Platcheck *et al.*, 2008).

A evolução da economia global se baseou no modelo linear de produção e consumo, em que os produtos são fabricados a partir de matérias-primas virgens, vendidos, utilizados e descartados como resíduos. Apesar dos grandes avanços na melhoria da eficiência dos usos de recursos, qualquer sistema fundamentado no consumo, em vez de adotar práticas restaurativas de uso dos recursos, leva a perdas significativas ao longo de toda a cadeia de valor (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Por isso, tem se intensificado o estudo e a aplicação de um modelo econômico alternativo, em contraposição ao linear: o modelo circular.

Diante dessa tendência, muitos países passaram a adotar metas e regulamentações voltadas à mitigação dos impactos ambientais. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabeleceu diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento adequado dos resíduos (Cunha; Cunha; Augustin, 2014). No contexto da Economia Circular (EC), a PNRS destaca a importância da responsabilidade compartilhada entre todos os agentes do ecossistema, sendo produtores, fabricantes, distribuidores, consumidores e coletores, para garantir a efetividade da Logística Reversa (LR) (Brasil, 2010).

Um exemplo dessa aplicação é do ecossistema de embalagens de vidro, material amplamente consumido no país e que se destaca por ser 100% reciclável, mantendo sua qualidade mesmo após sucessivos ciclos de reciclagem (Morais *et al.*, 2022). O ciclo é representado na Figura 1.

Figura 1: Ciclo da logística reversa do vidro

Fonte: Moraes *et al.* (2022)

Com seu grande potencial de reciclagem e reúso, o vidro se destaca como uma alternativa viável para substituir totalmente a matéria-prima original. Dessa forma, reduz significativamente o consumo de recursos naturais, como areia, sódio e calcário (Lemos, 2012). Isso representa uma grande vantagem do ponto de vista ambiental, pois promove a economia de matérias-primas e contribui também para a redução da geração de resíduos.

No Brasil, o consumo médio anual de produtos de vidro, por habitante, é de aproximadamente 30,5 kg, sendo que cerca de 35% dessa massa corresponde a embalagens (Freitas; Magnabosco, 2019 *apud* Dourado, 2020). De acordo com a Associação Brasileira de Bebidas (Abrabe), a reciclagem de garrafas de vidro pode reduzir em até 30% a extração de matérias-primas da natureza. Além disso, para cada 10% de cacos de vidro reutilizados no processo produtivo, há uma economia de 2,9% no consumo de energia e uma redução de 5% na emissão de CO₂ na atmosfera (Associação Brasileira de Bebidas, 2022).

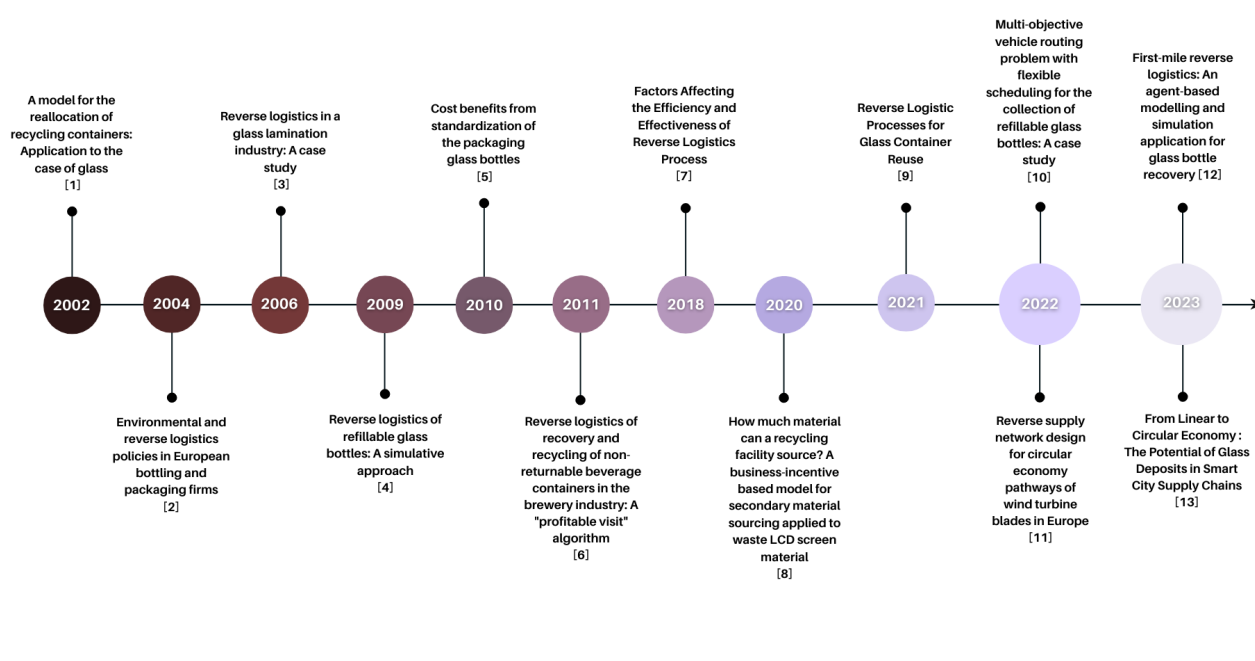
Entretanto, o simples fechamento de ciclos do material e a promoção da reciclagem não são suficientes para melhorar o cenário ambiental. Embora a EC seja crucial para a sustentabilidade, ela tem sido vista como uma solução para a crise ambiental sem considerar um dos principais fatores que impedem seu potencial: o Efeito Rebote (ER), presentes quando a maior eficiência proporcionada pelas estratégias circulares é contrabalançada pelo aumento da produção e consumo (Zink; Geyer, 2017).

A EC, também, pode ter um efeito contrário, aumentando a produção e o uso geral dos produtos, criando possíveis impactos ambientais em vez de reduzi-los. Esse fenômeno ocorre porque a implementação de estratégias circulares cria uma maior disponibilidade e acessibilidade de produtos reciclados, o que incentiva o consumo excessivo e a produção em

larga escala (Berkhout; Muskens; Velthuijsen, 2000; Hertwich, 2005; Sorrell; Dimitropoulos, 2008).

Utilizando a plataforma Scopus para encontrar os principais artigos publicados sobre o assunto abordado neste estudo, foi usado a combinação “glass + logistic + reverse” (“vidro + logística + reversa”), pesquisando em palavras-chave. Obteve-se 25 resultados, depois de filtrados reduziram-se para 13 artigos relevantes para esta pesquisa, focados na cadeia do vidro (Figura 2). Válido ressaltar que, destes apenas uma publicação é de instituições brasileiras, o que revela a lacuna na literatura sobre o estudo de LR do vidro no país.

Figura 2: Linha do tempo com as publicações sobre a logística reversa do vidro



- [1] González-Torre e Adenso-Díaz (2002)
 [2] González-Torre, Adenso-Díaz e Artiba (2004)
 [3] Gonçalves e Marins (2006)
 [4] Cimino *et al.* (2006)
 [5] Ko, Y., Noh, I., Hwang, H. (2012)
 [6] Monsreal (2011)
 [7] Sureka, Bandara e Wickramarachchi (2018)
 [8] Boundy (2020)
 [9] Solano *et al.* (2021)
 [10] Marampoutis *et al.* (2022)
 [11] Rentizelas *et al.* (2022)
 [12] Labelle e Frayret (2023)
 [13] Sakji, Ndhiaief e Rezg (2023)

Fonte: Elaborado pelo autor

Dessa forma, cria-se a necessidade de estudos abordando este tema, fomentando a aplicação correta da PNRS em prol de uma economia mais eficiente e sustentável, promovendo a restauração dos ecossistemas. Este trabalho é relevante pelo fato da

concentração da análise do fluxo de materiais no ecossistema de embalagens de vidro, mapeando os principais atores envolvidos nesse processo. Assim, será investigado a aplicação da LR, com o objetivo de identificar possíveis ER's que possam impactar o desempenho da EC e também o funcionamento da cooperação entre os atores.

2. OBJETIVOS

Conhecendo as lacunas dos tópicos levantados, o objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo sobre o ecossistema da logística reversa das embalagens de vidro de acordo com a PNRS.

Para atingir os objetivos geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

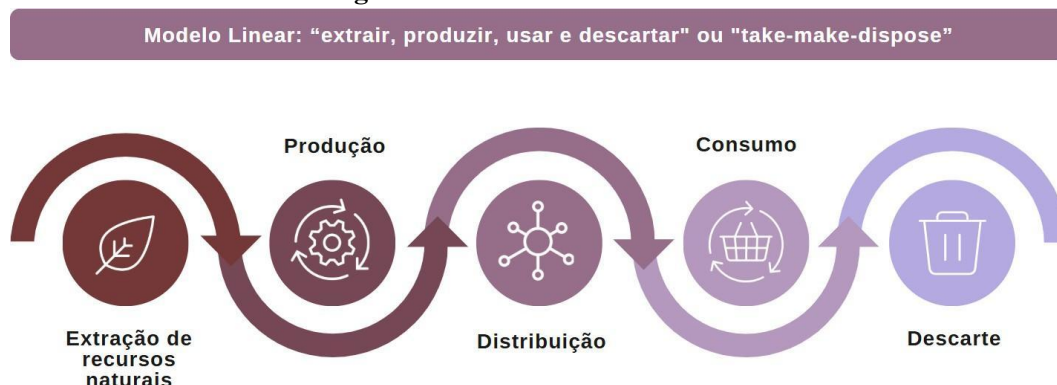
- Estudar as alternativas no gerenciamento dos resíduos de vidro sob a ótica da economia circular;
- Identificar os impactos positivos e negativos da reciclagem e da logística reversa no ecossistema de vidro;
- Identificar possíveis efeitos rebotes no ecossistema de vidro;
- Estudar a cooperação entre os atores do ecossistema de vidro.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Economia Circular

Diante da crescente preocupação ambiental em todos os setores da economia, ganham destaque as discussões sobre estratégias voltadas ao alcance do Desenvolvimento Sustentável (DS) (United Nations, 1987). No contexto industrial, torna-se essencial planejar produtos e processos com foco na extensão da vida útil dos itens fabricados, além de promover o reaproveitamento de subprodutos por meio do reprocessamento e sua reinserção na cadeia produtiva (Oliveira; França; Rangel, 2019).

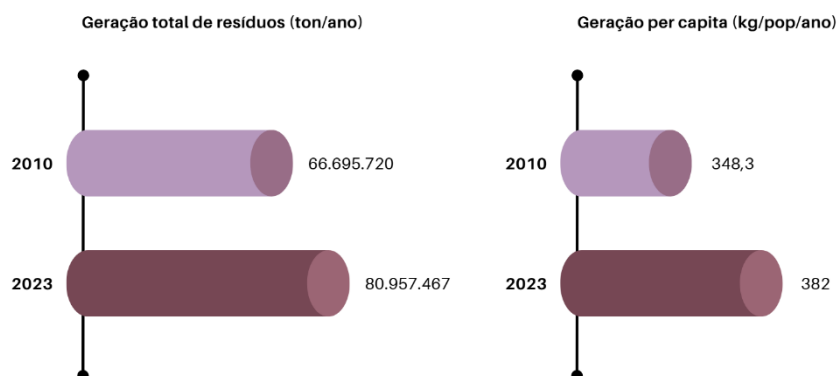
Apesar dos avanços em relação ao DS, a economia atual ainda pode ser considerada linear, pelo fato de ser um fluxo ininterrupto de recursos naturais e minerais, baseada na crescente extração. Dessa forma, os produtos feitos a partir desses recursos são utilizados até serem descartados como resíduos (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Vide Figura 3.

Figura 3: Fluxo da economia linear

Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation (2015)

De acordo com o relatório “*Em Direção a uma Economia Circular*”, da Ellen MacArthur Foundation (EMF), diversos fatores evidenciam a insustentabilidade do modelo econômico linear. Entre esses fatores estão as perdas econômicas causadas pelo desperdício de recursos, a instabilidade nos preços das matérias-primas, os riscos relacionados à dependência da importação de insumos essenciais, além da degradação dos ecossistemas naturais, intensificada pela extração contínua (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Na ótica dos resíduos sólidos, o modelo resultou em aproximadamente 1.300 milhões de toneladas/ano em 2010 de resíduo sólido urbano (RSU) em escala mundial, que deve aumentar para 2.200 milhões de toneladas/ano até 2025 (Morera *et al.*, 2021). No Brasil, entre 2010 e 2023, a geração de RSU cresceu de 66,69 milhões para quase 81 milhões de toneladas por ano. No mesmo período, a geração per capita também aumentou, passando de 348 kg para 382 kg por habitante ao ano (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024). Vide Figura 4.

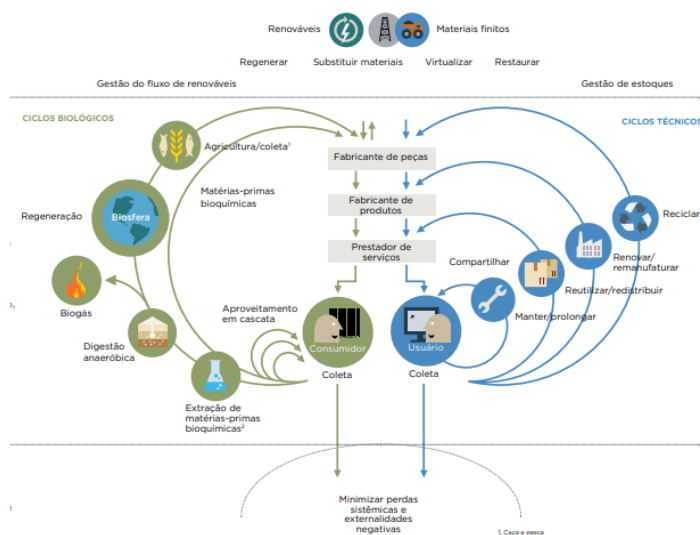
Figura 4: Geração de resíduos sólidos no Brasil

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (2024)

Assim, vêm sendo bastante estudado e aplicado um modelo alternativo na economia em oposição ao tipo linear: o circular (Figura 5). Segundo a EMF, a EC é entendida como a criação de modelos de negócios que priorizam a regeneração e a restauração dos recursos, substituindo a noção tradicional de “fim de vida” dos produtos (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

O modelo busca reduzir o impacto ambiental e o uso excessivo de recursos naturais, promovendo múltiplos ciclos de reutilização, remanufatura e reciclagem (Bressanelli *et al.*, 2018). A EC tem o potencial de estabelecer padrões inovadores e promover um maior bem-estar para a sociedade, ao mesmo tempo em que a torna mais sustentável, com uso mínimo ou inexistente de recursos, energia e custos ambientais (Ghisellini; Cialani; Ulgiati, 2016).

Figura 5: Modelo da economia circular (Diagrama Borboleta)



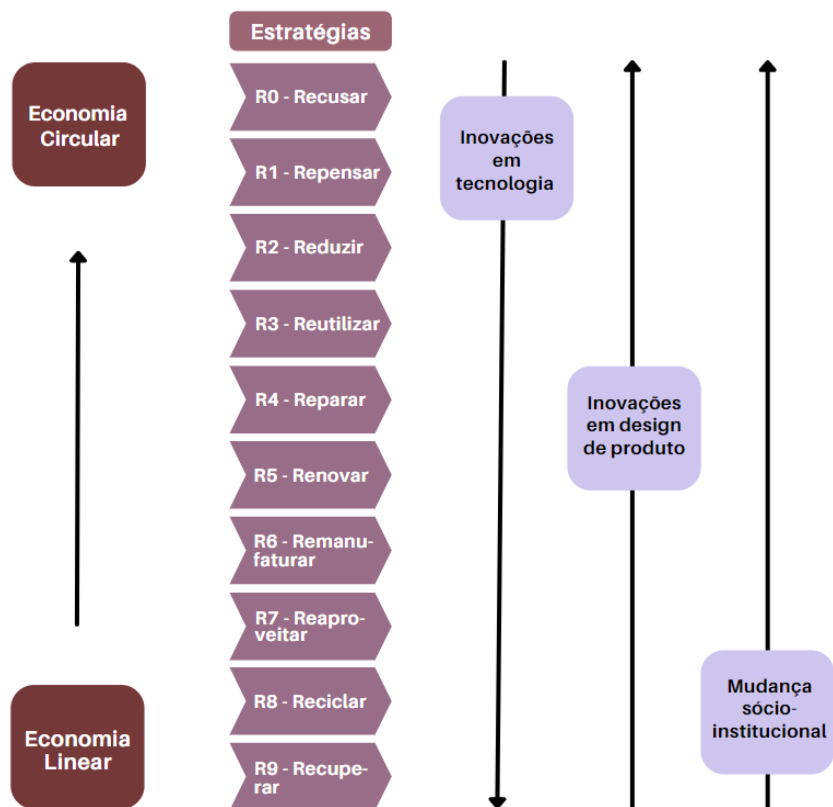
Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation (2015)

Para o desenvolvimento correto deste modelo, é importante a aplicação de uma análise quantitativa para verificar a viabilidade da implementação. Algumas questões podem ser abordadas pelas indústrias que a utilizam, como o eco-design, reuso, remodelação, remanufatura, compartilhamento de produtos, diminuição e reciclagem de resíduos, entre outros aspectos importantes da EC (European Environment Agency, 2016).

No contexto da EC, foram formulados princípios baseados na estratégia-R, sendo os mais conhecidos os "3 R's": Reduzir, Reciclar e Reutilizar. No entanto, apenas tais estratégias não são suficientes para garantir a circularidade de um ecossistema. Dessa forma, a estratégia foi se expandindo para “5 R’s”, “7 R’s” e o mais atual os “9 R’s”: Recusar, Repensar, Reduzir, Reutilizar, Reparar, Renovar, Remanufatura, Reaproveitar, Reciclar e Recuperar

(Potting *et al.*, 2017) ilustrado na Figura 6. Com a aplicação de tais estratégias, é possível desenvolver uma abordagem eficaz para otimizar o uso de recursos e reduzir impactos.

Figura 6: Estratégias dos 9R's



Fonte: Adaptado de Potting *et al.* (2017)

A Tabela 1 mostra as definições de cada R, segundo Potting *et al.* (2017).

Tabela 1: Definição das Estratégias-R

Estratégias	Definição
R0 - Recusar	Evitar o uso do produto ou material desde o início
R1 - Repensar	Repensar o uso do produto, por exemplo, com design mais eficiente ou multifuncionalidade.
R2 - Reduzir	Reduzir o consumo de materiais ou produtos mantendo a mesma funcionalidade.
R3 - Reutilizar	Reutilizar produtos para a mesma função sem reprocessamento.
R4 - Reparar	Reparar componentes defeituosos para prolongar a vida útil.
R5 - Renovar	Atualizar ou renovar produtos usados para reutilização.
R6 - Remanufatura	Utilizar componentes de produtos usados em novos outros produtos.
R7 - Reaproveitar	Reutilizar partes de produtos para funções diferentes.
R8 - Reciclar	Reciclar materiais para produzir matéria-prima secundária.
R9 - Recuperar	Incineração com recuperação de energia.

Fonte: Adaptado de Potting *et al.* (2017)

Visto isso, além de estabelecer princípios para a gestão adequada dos resíduos sólidos, a PNRS também define obrigações específicas para determinados setores. Segundo a própria Lei (Brasil, 2010):

Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de: I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas; II - pilhas e baterias; III - pneus; IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

Na forma do disposto em regulamento ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, os sistemas previstos no caput serão estendidos a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do

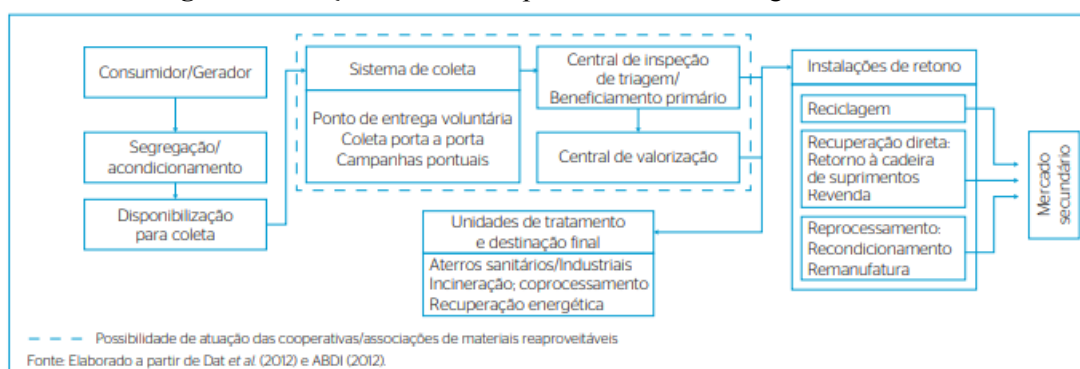
impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados. (Regulamento).

Assim, deve ocorrer uma ação compartilhada na qual todas as partes envolvidas no ecossistema, sendo produtores, fabricantes, distribuidores, consumidores, coletores entre outros agentes, possuem responsabilidade sobre a circularidade do produto (Brasil, 2010). Assim, cria-se a necessidade da LR.

O termo “LR” foi criado por Murphy em 1968 e foi definido como "...o fluxo contrário do produto, partindo do consumidor final para o produtor em um dado canal de distribuição" (Ravi; Shankar, 2005). A partir de 1990, o tema começou a ser amplamente debatido, especialmente após sua implementação pelas empresas, com sua aplicação sendo sustentada por três principais pilares: ambiental, financeiro e legal (Couto; Lange, 2017).

A Figura 7 revela possíveis relações entre as etapas da LR.

Figura 7: Relações entre as etapas de sistemas de logística reversa



Fonte: Couto e Lange (2017)

Assim, para essa pesquisa, serão aplicados os conceitos de EC, LR e analisar o funcionamento da mesma, no ecossistema de embalagens de vidro, visto a larga produção deste produto no Brasil e seus impactos no meio ambiente.

3.2 Indústria do Vidro

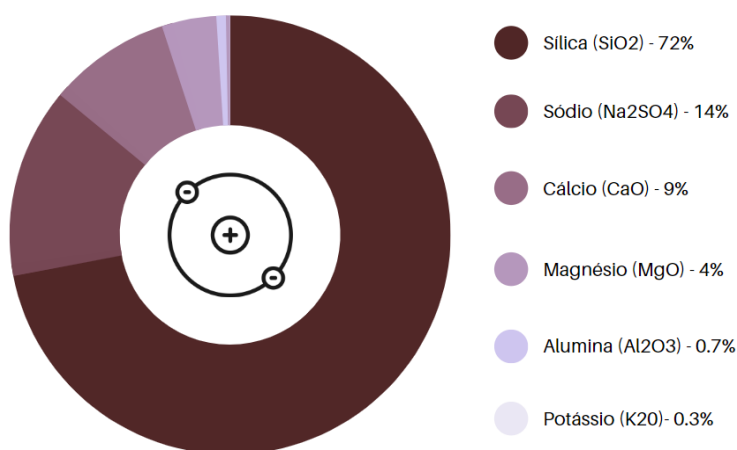
A indústria do vidro no Brasil teve início no século XVII, durante as invasões holandesas em Pernambuco, e consolidou-se com a instalação da primeira fábrica na Bahia, em 1810, dedicada à produção de vidros lisos, frascos e garrafas. Já no início do século XX, a introdução de fornos contínuos e máquinas automatizadas permitiu a produção em larga escala. Esse avanço foi intensificado a partir da década de 1950, com o aumento da

industrialização no país e o crescimento dos investimentos estrangeiros (Dudas, 2002, *apud* Valt, 2004).

O vidro, conforme descrito por Shreve (1997), é um material inorgânico, amorfo e homogêneo, formado a partir do resfriamento controlado de uma massa fundida composta por substâncias inorgânicas. O material apresenta propriedades físicas e químicas que o tornam amplamente utilizado em diversas aplicações industriais e tecnológicas, além de não ser poroso e nem absorvente, o que impede a penetração de líquidos ou gases em sua estrutura.

Os principais componentes químicos do vidro estão ilustrados na Figura 8.

Figura 8: Componentes químicos do vidro



Fonte: Adaptado de Shreve (1997)

É considerado um material versátil, o que acarreta em uma produção em larga escala, com sua indústria incluindo cinco setores diferentes: recipientes, vidro plano (prédios, automóveis e painéis solares), fibra de vidro, vidro doméstico e vidros especiais (ópticos e fotovoltaicos, por exemplo). Para esse trabalho, o ponto focal será o de recipientes, sendo a categoria em que as embalagens se enquadram.

3.2.1. Embalagens de vidro

No caso do Brasil, as embalagens ou recipientes têm um papel importante para os fabricantes de vidro, sendo que 60% da geração de vidro pós-consumo são provenientes de estabelecimentos como bares, hotéis e restaurantes (Morais *et al.*, 2022).

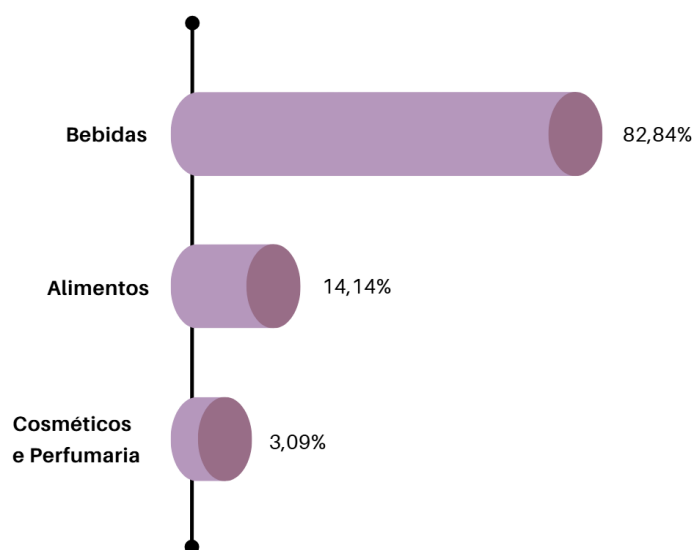
Segundo a Associação Brasileira da Embalagem (ABRE), a embalagem é

um recipiente ou envoltura que armazena produtos temporariamente, individualmente ou agrupando unidades, tendo como principal função protegê-lo e estender o seu prazo de vida, viabilizando sua distribuição, identificação e consumo (Associação Brasileira da Embalagem, [2025?])

O consumo médio do brasileiro em produtos de vidro é de 30,5 kg per capita ao ano, sendo cerca de 35% deste total em embalagens (Freitas; Magnabosco, 2019 *apud* Dourado, 2020). A indústria vidreira produz dois principais tipos de embalagens: as One Way e as retornáveis.

As embalagens são de uso único, amplamente utilizadas nos setores de alimentos, bebidas, cosméticos e farmacêuticos, e estão sujeitas à LR, sendo encaminhadas para a reciclagem após o consumo. Por outro lado, as embalagens retornáveis, predominantemente utilizadas no mercado de bebidas, possuem maior espessura e resistência, o que permite que sejam reutilizadas (Morais *et al.*, 2022). A distribuição das embalagens entre os diferentes setores produtivos, está ilustrada na Figura 9.

Figura 9: Distribuição das embalagens de vidro



Fonte: Adaptado de Moraes *et al.* (2022)

A demanda dos consumidores é cada vez mais exigente em termos de qualidade e de sustentabilidade dos produtos. Deste modo, as indústrias são pressionadas pela sociedade por legislações para melhorar as embalagens, adequando às práticas de consumo para a redução de desperdícios (Dourado, 2020).

Do ponto de vista da competitividade, empresas do setor de bebidas têm demonstrado interesse na coleta de garrafas descartadas como uma estratégia para evitar a falsificação e o

uso indevido de suas marcas. Paralelamente, outros agentes envolvidos na cadeia estudam a LR como uma série de benefícios, como a ampliação da vida útil dos aterros sanitários, a criação de empregos verdes, a inclusão socioeconômica de catadores, a redução dos custos operacionais com a coleta de resíduos e a preservação ambiental (Gonçalves-Dias; Francelino; Souza, 2006).

Torres e Gonçalves-Dias (2018) revelam que a LR do vidro envolve diversos atores dos setores público, privado e informal. O processo inicia com o descarte adequado pelo consumidor e segue com a coleta, triagem em cooperativas, moagem e reintrodução do vidro como matéria-prima. No Brasil, esse ciclo enfrenta obstáculos nas etapas de coleta, separação, pré-processamento e falta de incentivos econômicos. Também, a presença significativa da coleta informal, feita por catadores sem rastreabilidade, é um dos principais desafios, dificultando o monitoramento e a eficiência da cadeia reversa.

3.2.2 Logística reversa das embalagens de vidro

Visto esse cenário, surge a publicação do Decreto nº 11.300/2022, que institui o sistema de LR de embalagens de vidro no Brasil. O principal objetivo da norma é promover o aproveitamento de tais produtos e destiná-los adequadamente à reciclagem, atribuindo a responsabilidade do processo aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes que disponibilizam as embalagens no mercado interno (Brasil, 2022).

Assim, estabeleceu-se metas de reciclagem para o setor regional e nacional de embalagens de vidro. Até 2032, o setor deve alcançar 40% dos produtos fabricados sendo reciclados, com a região Sudeste responsável pelas maiores porcentagens do total (Brasil, 2022).

Em 2024, a LR expandiu-se impulsionada pelo novo Decreto. De acordo com o programa Circula Vidro, no país foram consumidas 877 mil toneladas de vidro em forma de embalagens, das quais apenas 221 mil toneladas retornaram à indústria para reciclagem, o que corresponde a 25,1%. Esse resultado demonstra um avanço em comparação aos anos anteriores, contudo ainda é necessário estudar estratégias eficazes para alcançar as metas estabelecidas para a próxima década (Associação Brasileira das Indústrias de Vidro, 2025).

Observa-se que a coleta seletiva ainda possui alcance limitado, resultando no direcionamento de grande parte dos resíduos urbanos para aterros sanitários ou destinos inadequados. Compreender o funcionamento da cadeia reversa do vidro em diferentes regiões do Brasil é igualmente essencial, pois abre espaço para pesquisas futuras e soluções

regionalizadas. Além disso, torna-se crucial analisar os ER's na LR, uma vez que ele pode impactar a eficácia do sistema de reciclagem do ecossistema e vidro.

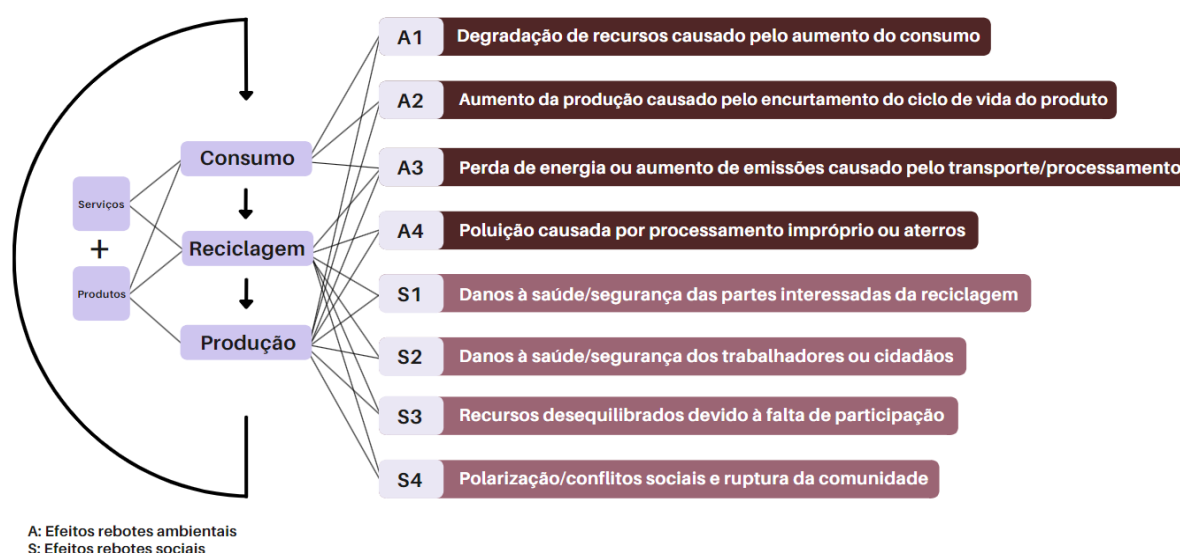
3.3 Efeito Rebote

Apesar da EC ser um modelo crucial para o desenvolvimento sustentável, ela tem sido tratada como uma solução definitiva para a crise ambiental, sem considerar um dos principais obstáculos de seu potencial: o Efeito Rebote (ER). Na literatura, o ER é observado quando o aumento da eficiência pelas estratégias circulares é minimizado pelo aumento dos níveis de produção e consumo (Zink; Geyer, 2017).

Borenstein (2013) argumenta que investir em produtos eficientes aumenta a renda disponível dos consumidores ao reduzir os gastos com recursos, como energia elétrica e matéria-prima. Isso pode gerar dois efeitos principais: o "ER direto", em que o consumidor passa a utilizar mais o produto devido à maior eficiência, e o "ER indireto", em que o consumidor utiliza a economia gerada para gastar em outros bens.

Apesar de os produtos poderem ser reciclados integralmente, o processo de transporte e produção pode resultar em perdas de energia e emissões, gerando impactos ambientais (Chen, 2021). Frente a isso, a Figura 10 retrata uma estrutura dos potenciais ER's

Figura 10: Estrutura dos potenciais efeitos rebotes



Fonte: Traduzido de Chen (2021)

Dessa forma, adotar a eficiência como solução, com foco na redução do consumo de recursos por unidade de rendimento econômico, não representa necessariamente uma

vantagem. Isso ocorre porque, mesmo com o uso racional de recursos, a EC pode gerar um efeito contrário ao esperado, estimulando o aumento da produção e do consumo geral de produtos (Berkhout; Muskens; Velthuijsen, 2000; Hertwich, 2005; Sorrell; Dimitropoulos, 2008).

Como exemplo, os produtores que optam por substituir a produção de matérias-primas por materiais secundários conseguem adquirir uma maior quantidade de material e utilizá-lo para fabricar mais produtos. No entanto, os itens fabricados a partir desses materiais têm o potencial de ser de menor qualidade e, por isso, precisarão ser vendidos aos usuários finais com desconto (Zink; Geyer, 2017).

Allwood (2014) discutiu os limites da EC e questionou a conveniência em uma realidade com demanda crescente, afirmando que tentar atender às necessidades humanas e minimizar o impacto ambiental seria um objetivo melhor do que a circularidade material como um todo. O modelo circular pode alcançar resultados positivos, mas considerando as realidades econômicas, pode falhar em seu potencial, sem benefícios para os três tripés da sustentabilidade.

Outra fonte do ER está na própria expansão da EC. O uso de materiais reciclados e processos como remanufatura e reutilização, pode criar a falsa impressão de que, por se tratar de um produto "ambientalmente correto", sua produção e ciclo de vida estão livres de impactos. Esse entendimento, por sua vez, pode incentivar o aumento do consumo, o que reduz as possibilidades de mitigar os efeitos negativos no meio ambiente (Pereira, 2020).

Kizilboga *et al.* (2013) cita que a LR pode ter impactos negativos, tanto ambientais quanto econômicos, principalmente devido ao consumo de energia envolvido no processo. Embora ajude a reduzir a necessidade de novas matérias-primas, produtos mais complexos exigem um maior número de etapas e processos para sua reciclagem, o que intensifica esses impactos.

Dessa forma, abordar os possíveis ER deve ser uma prioridade para o desenvolvimento da EC. É preciso colaboração e redes construídas entre diferentes setores, conhecimento e compartilhamento de recursos, visto que a escala de participação das partes interessadas determinará a transparência de um sistema circular e a formulação de políticas (Chen, 2021).

4. MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa escolhido para este trabalho é o estudo de caso, que segundo Eisenhardt (1989), permite uma descrição de um fenômeno e envolve a aplicação de alguns instrumentos para a sua compreensão, como observações de campo, entrevistas e análise de dados secundários. A metodologia dividiu-se para cada objetivo específico, utilizando diferentes abordagens e técnicas para garantir uma análise abrangente da interação dos atores em embalagens de vidro.

4.1. Estudar as alternativas no gerenciamento dos resíduos de vidro sob a ótica da economia circular

Aplicou-se o framework circular dos "9 R's", para analisar os cenários de resíduos sólidos urbanos, com ênfase nas embalagens de vidro. O objetivo central foi determinar a circularidade do material e do produto, sendo, respectivamente, o vidro (em sua maioria em formato de cacos) e embalagens. É válido destacar que as estratégias *Recusar (R0)* e *Repensar (R1)* exigem mudanças sociais e culturais, portanto não foram abordadas neste relatório, enquanto a estratégia *Remanufatura (R6)* e *Recuperar (R9)* não se aplicam à indústria do vidro.

4.2. Impactos positivos e negativos da reciclagem e da logística reversa no ecossistema de vidro

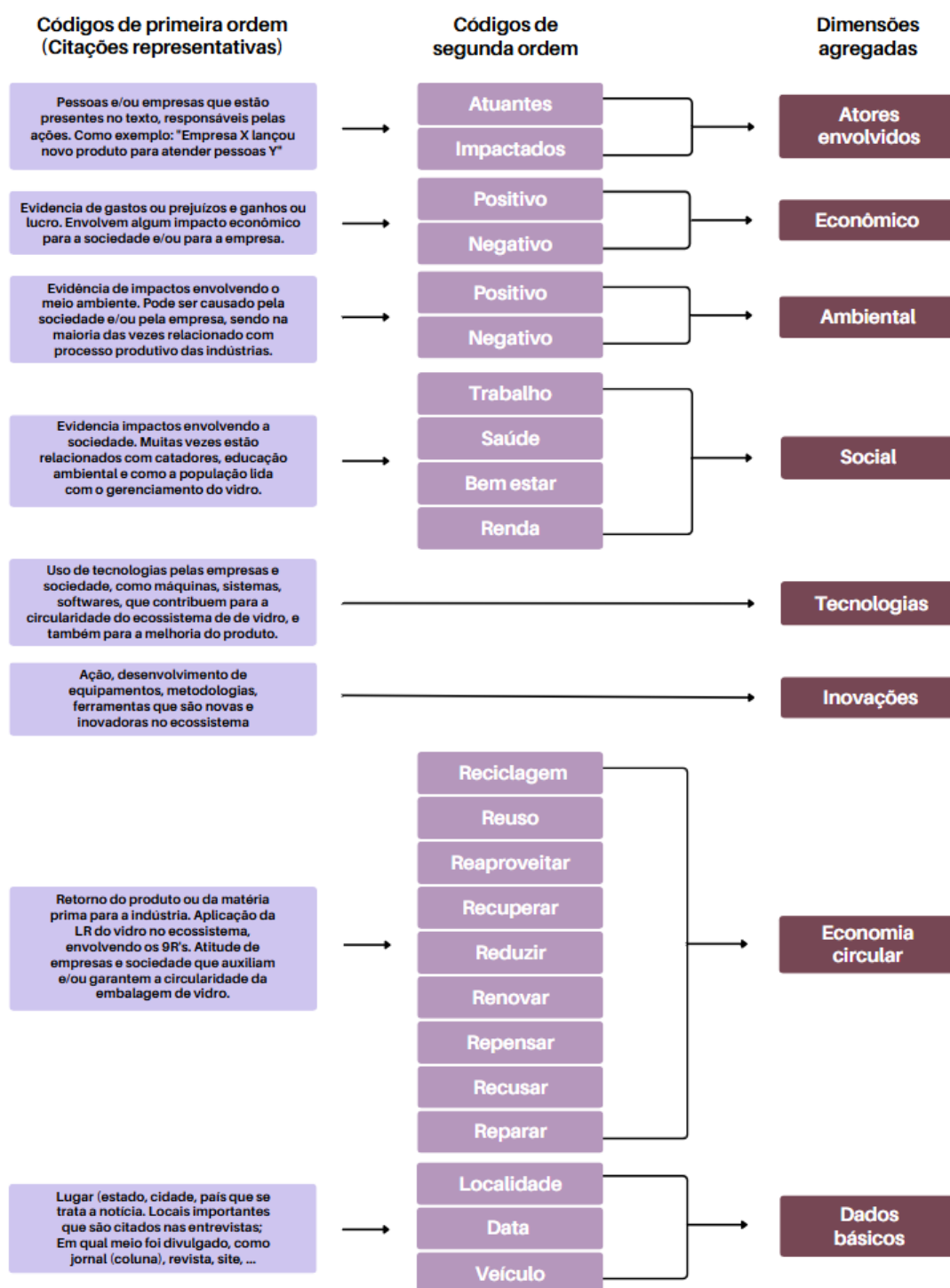
Com a coleta de dados em documentos, artigos de jornal e revistas, foi possível sustentar a pesquisa e levantar os impactos positivos e negativos da reciclagem e da logística reversa do ecossistema de vidro.

Primeiramente, foi estudado relatórios de sustentabilidade das maiores fabricantes de bebidas, como AMBEV, Heineken e Grupo Petrópolis. O principal objetivo nesta fase foi identificar se havia a inserção da circularidade nos processos produtivos das garrafas de vidro, envolvendo principalmente a reciclagem e a LR.

Um banco de dados utilizando artigos de jornais e revistas nacionais envolvendo o ecossistema de embalagens de vidro foi elaborado. Usando palavra-chave ampla “Embalagem de Vidro” + “Reciclagem”, “Logística Reversa”, “Economia Circular” e “Retornável”, foram coletadas 58 notícias desde 2019 que fornecem dados relevantes e mudanças na produção e consumo deste produto ao longo dos anos.

Utilizando o MAXQDA foi realizada uma codificação com objetivo de mapear os principais acontecimentos no ecossistema e assim, assinalar os impactos na prática. O protocolo de codificação pode ser visto a seguir (Figura 11).

Figura 11: Protocolo de codificação



Fonte: Elaborado pelo autor

Com a codificação, foi possível correlacionar e mapear o atual cenário da indústria de

vidro no Brasil, principalmente nas regiões Sudeste e Sul, onde o consumo e os processos de logística das embalagens são mais evidentes. A análise também apontou desafios enfrentados pelos atores e a necessidade de investimentos em tecnologias mais avançadas para atender às exigências ambientais e de qualidade do setor.

4.3. Identificar possíveis efeitos rebotes no ecossistema do vidro

A partir da revisão bibliográfica e mapeamento das notícias de jornais e revistas, levantou-se os possíveis ER's no ecossistema de vidro, sendo os impactos negativos da LR e reciclagem revelados. Além disso, a estrutura criada por Chen (2021), mostrada na Figura 10, foi adaptada, com a adição também de rebotes econômicos no esquema, além de adicionar a LR no ciclo do produto.

4.4. Estudar a cooperação entre os atores do ecossistema de vidro

Estudou-se a cooperação entre os atores do ecossistema de vidro, que segundo Barquete et al. (2022), viabiliza a troca de recursos, conhecimento e infraestrutura entre os atores, impulsionando inovação e eficiência. Nesse contexto, as parcerias estratégicas desempenham um papel essencial na estruturação de cadeias de produtos, nas quais os resíduos ou subprodutos podem ser reaproveitados como matéria-prima (Savaget et al., 2019).

No intuito de levantar dados e informações do ecossistema das embalagens de vidro, foram realizadas entrevistas com atores envolvidos, por meio de videochamadas. Os objetivos das entrevistas são para responder e analisar as seguintes perguntas norteadoras:

- Como é a cooperação entre os atores do ecossistema?
- Quais são os obstáculos para que o ecossistema seja mais circular?

Assim, elaborou-se um protocolo de entrevista (Anexo A) com bases em tais perguntas, para auxiliar e garantir que todos os assuntos relevantes sejam abordados. Neste protocolo, foram abordados os seguintes tópicos: histórico da organização/associação, relação com a PNRS, percepções e práticas adotadas de EC, parcerias com outros atores, digitalização do ecossistema e principais desafios enfrentados.

No total, foram realizadas 6 entrevistas, sendo: 4 empresas, 1 associação e 1 organização sem fins lucrativos (ONG). Todas estão indicadas na Tabela 2.

Tabela 2: Lista das entrevistas

Identificação do entrevistado	Organização/ Associação	Principal atividade	Posição do entrevistado	Método
Entrevistado 1	Empresa	Plataforma de compra e venda de resíduos	Gestor(a) Operacional	Entrevistas por videochamadas
Entrevistado 2	Empresa	Fabricação de embalagens de vidro	Coordenador(a) de Sustentabilidade	
Entrevistado 3			Gerente de Economia Circular	
Entrevistado 4	Empresa	Reciclagem de vidro	Gerente de Compras	
Entrevistado 5	Empresa	Recuperação de embalagens pós-consumo	CEO	
Entrevistado 6	Associação	Representação do setor vidreiro	Analista de Relações Governamentais	
Entrevistado 7	ONG	Promoção da LR e reciclagem de embalagens	Coordenador(a) de Projetos	

Fonte: Elaborado pelo autor

As entrevistas foram conduzidas entre Maio e Dezembro de 2022, com duração média de 60 minutos. Com o objetivo de garantir um ambiente seguro ao entrevistado e assegurar que suas respostas contribuam de forma significativa para o estudo, sua identidade será preservada. Somado a isso, um termo de consentimento (Anexo B) foi enviado para cada um, contendo instruções da entrevista e garantindo que havia concordância no uso das informações para o projeto. Ademais, todas as conversas foram gravadas com aprovação de cada entrevistado, e assim posteriormente foram transcritas e analisadas.

Por se tratar de um ecossistema relativamente pequeno em comparação a outros materiais, a quantidade de entrevistas realizadas estão de acordo com os objetivos e limitações da pesquisa em questão. Coletou-se uma base de dados relevantes para contribuir com o estudo da LR do vidro e identificar melhorias na fabricação, gerenciamento e retorno do produto para a indústria.

Por fim, é válido ressaltar que a coleta de dados se estendeu ao longo dos anos seguintes em que as entrevistas foram realizadas, permitindo um aprofundamento contínuo da aplicação da LR no ecossistema. Esse período adicional possibilitou a inclusão de novas informações e perspectivas, enriquecendo o estudo e refinando-a com base em dados mais atualizados.

5. RESULTADOS

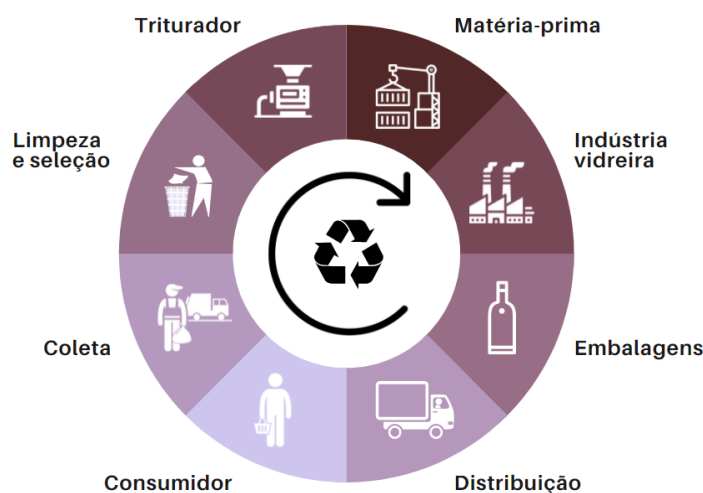
Nesta seção, serão mostrados os resultados do estudo, que foram divididos de acordo com os objetivos específicos.

5.1 Estudar as alternativas no gerenciamento dos resíduos de vidro sob a ótica da economia circular

5.1.1 Reciclagem

Como já mencionado, o vidro é um material 100% reciclável e possui um ciclo infinito de reciclagem. Vide Figura 12.

Figura 12: Ciclo infinito do vidro



Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Bebidas (2022)

Dessa forma, uma garrafa feita de vidro reciclado possui a mesma qualidade que uma produzida com matérias-primas originais, sendo a reciclagem altamente eficiente (Verallia, 2021; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2007). Para alcançar essa eficiência, é essencial investir em tecnologias de reciclagem mais avançadas e em sistemas logísticos mais abrangentes.

No caso do vidro, especialmente das embalagens, a destinação adequada para a reciclagem depende, em muitos casos, da recuperação prévia desses materiais no ambiente. Ao recuperar embalagens de vidro descartadas, reduz-se a necessidade de extração de

recursos naturais, economiza-se energia que seria utilizada na produção de novos materiais e ainda se promovem benefícios socioeconômicos, como a geração de empregos por meio de sistemas de coleta seletiva (Schroder; Anggraeni; Weber, 2018).

Em 2023, apenas 8% dos resíduos secos foram recuperados, correspondendo a 6,7 milhões de toneladas, sendo que 67,2% desse total foi coletado por catadores informais, enquanto o restante foi recolhido por serviços públicos de coleta, associações e cooperativas (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024).

Em vista dessa realidade, pesquisas e projetos são desenvolvidos. Um deles é a Green Mining (GM), empresa que desenvolveu um algoritmo que mapeia os locais de geração elevada de resíduos pós-consumo, como bares, restaurantes e condomínios. A startup em parceria com a Verallia (empresa fabricante de embalagens de vidro), possuem o programa “Vidro Vira Vidro”, que até o primeiro semestre de 2024, mais de 2,9 milhões de garrafas de vidro foram recuperadas, totalizando aproximadamente 1,8 milhão de quilos de vidro reciclado.

Uma outra ação relevante é o programa Glass is Good, que promove a LR de embalagens de vidro de bebidas alcoólicas pós-consumo, conduzido pela Abrabe. Em 2023, o programa conseguiu recuperar 59 mil toneladas de vidro para reciclagem, o que representou um aumento de 205% em comparação com 2019. Ao longo de 14 anos de operação, mais de 222 mil toneladas de vidro foram recuperadas, o que corresponde a 383 milhões de garrafas recicladas ou retornadas ao mercado (Associação Brasileira de Bebidas, 2019).

Mesmo sendo pioneiro no ramo da reciclagem deste material e não possuir um modelo estruturado, o Brasil adquire um valor de capital considerável com a circularidade do vidro (Lemos, 2012). Em 2023, o país movimentou 74 milhões de reais com a reciclagem do vidro, com o material representando 19,5% do total de materiais destinados à reciclagem no Brasil, com 329,2 mil toneladas recicladas (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2024).

Tal processo também tem uma relevância social. A instalação de mini-usinas de reciclagem possui potencial de geração de empregos, que em sua maioria não demandam especialização, beneficiando as camadas mais carentes da população (Cesar; Paula; Krom, 2004). Entretanto, em vários casos, tal relevância pode ser considerada um dos ER do ecossistema estudado, no qual será abordado nas seções seguintes.

É válido ressaltar que uma grande quantidade desse material recuperado ainda é misturada com outros tipos de resíduos sólidos urbanos, incluindo tanto os domésticos quanto os industriais, contaminando o vidro e inviabilizando sua reciclagem. Assim, cria-se a

necessidade de melhoria na separação e no processamento desse material, para assim maximizar os benefícios econômicos e ambientais da reciclagem do vidro (Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2018).

Toda aplicação da LR do material deve estar alinhada com as diretrizes nacionais, considerando as dimensões continentais do Brasil. Dessa forma, uma das principais oportunidades identificadas nesta pesquisa foi a melhoria no mapeamento das reciclagens de embalagens de vidro, criando oportunidades para valorizar o ciclo de reciclagem no país, com o potencial de gerar benefícios sociais, econômicos e ambientais.

5.1.2 Reutilizar

Para que a logística de reutilização de embalagens tenha resultados, é preciso consolidar uma cadeia de suprimentos que permita avaliar e quantificar os impactos ambientais. Pela hierarquia de produtos, a reutilização dos recipientes de vidro, em sua maioria vasilhames, é preferível à reciclagem, pois os sistemas de embalagens retornáveis permitem que as mesmas voltem ao ciclo produtivo, evitando possíveis desperdícios (Cimino *et al.*, 2009).

Diferente das embalagens descartáveis, os vasilhames possuem uma estrutura mais espessa, o que lhes confere maior resistência e permite sua reutilização em diversos ciclos de envase. Esses recipientes podem ser reutilizados até 35 vezes ou mais antes de serem encaminhados à indústria para reciclagem e transformação em matéria-prima para novas embalagens (Morais *et al.*, 2022).

5.1.3 Reaproveitar

Metodologias vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de viabilizar o reaproveitamento, abrangendo processos físicos, químicos e mecânicos que permitem a revalorização de resíduos e subprodutos (Du; Jiang, 2021).

No ramo civil, Vieira (2016) analisou a eficiência em reaproveitar lâ de vidro para a produção de argamassa para o uso em construções para melhorias técnicas, como isolamento térmico e acústico. Concluiu-se que com incorporação de 40% de resíduos de lâ de vidro melhoraram as propriedades das argamassas no estado endurecido. Deste modo, proporciona um novo foco para a produção de material civil com matéria-prima reaproveitada.

No setor da indústria cerâmica, Busch (2016) investigou as mudanças no processamento e nas propriedades físicas e mecânicas da cerâmica vermelha quando incorpora resíduo proveniente da lapidação do vidro sodo-cálcico, um material presente em diversos itens de vidro, incluindo embalagens. Os resultados mostraram que a adição desse resíduo foi vantajosa quando representou 10% da composição da cerâmica. No entanto, quando a quantidade ultrapassou esse limite, não houve melhorias significativas nas propriedades mecânicas do material.

5.1.4 Renovar

Um dos pilares da EC é baseado no redesenho dos produtos e serviços em si, considerando as condições ambientais favoráveis a essa ação (Morera *et al.*, 2021).

Uma das inovações que as indústrias que fabricam embalagens de vidro vêm aplicando é na redução de peso e em sistemas de segurança (vedação). A Verallia lançou a linha ECOVA, sendo garrafas 30% mais leves do que as tradicionais, o que reduz o uso de recursos naturais e os impactos ambientais (redução na emissão de CO₂ na escala de 15%) durante o processo de produção (Verallia, 2021).

No contexto das inovações no design de embalagens, em 2016, a Owens-Illinois introduziu a primeira garrafa de vidro vermelha, oferecendo o benefício de produção em larga escala a um custo competitivo. No ano seguinte, a mesma empresa lançou no Brasil o primeiro growler de vidro, um grande recipiente retornável para o segmento de cervejas, promovendo o consumo sustentável e econômico do produto (Soares, 2018).

5.1.5 Reduzir

A redução do consumo visa evitar a geração de novos produtos, focando na eficiência produtiva. Com o uso de tecnologias avançadas, priorizam-se a manutenção, o reparo e a atualização, prolongando a vida útil dos bens e minimizando a extração de recursos e os impactos ambientais (Emram; Brown, 2023).

No cenário das embalagens de vidro, Duarte (2016) descreve iniciativas de uma cervejaria a reduzir o consumo de vidro nas linhas de enchimento de uma unidade cervejeira, com dados apresentados em valor absoluto (número de garrafas perdidas) em percentagem.

Rotinas de verificação de defeitos de garrafas feita pelos inspetores é levantada para assegurar a qualidade do produto. A maior eficiência e reparação dos equipamentos possui uma potencial minimização de processos utilizando garrafas com algum defeito, que se traduzirá na diminuição das quebras de garrafas e assim evitar desperdícios. E por fim, mesmo sendo o processo equivalente a menores proporções de quebra, a mudança de paletes por outros meios de armazenamento destas garrafas durante o transporte.

5.1.6 Panorâma das estratégias-R

Após a aplicação das estratégias-R no ecossistema do vidro, torna-se possível consolidar todas as informações levantadas, juntamente com seus respectivos autores e fontes. A Tabela 3 apresenta de forma sintetizada os principais dados obtidos a partir da literatura.

Tabela 3: Resultado consolidado das estratégias-R

R	Dados e Informações Relevantes	Fontes/Autores
Reciclagem	O programa “Vidro Vira Vidro” recuperou 2,9 milhões de garrafas (1,8 milhão de quilos de vidro) até o primeiro semestre de 2024. O programa “Glass is Good” recuperou 59 mil toneladas de vidro em 2023, um aumento de 205% desde 2019, sendo destinados para reciclagem. O Brasil reciclou 329,2 mil toneladas de vidro em 2023, movimentando R\$ 74 milhões. O vidro reciclado representou 19,5% do total de materiais reciclados no país.	Brasil (2010), Verallia (2021), Banco Nacional de Desenvolvimento (2007), Lemos (2012), Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (2024), Cesar, Paula e Krom (2004), Associação Brasileira de Bebidas (2022), Schroder, Anggraeni e Weber (2018) e Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2018).
Reutilizar	Garrafas de vidro podem ser reutilizadas até 35 vezes antes do descarte. Essas embalagens possuem estrutura mais espessa e são preferíveis à reciclagem, pois reduzem o consumo de energia e evitam desperdícios. Para um sistema eficiente, é necessária uma cadeia logística estruturada para coleta e revalorização.	Cimino et al. (2009), Morais et al. (2022)
Reaproveitar	A incorporação de 40% de lã de vidro em argamassas melhora o isolamento térmico e acústico. Na indústria cerâmica, resíduos de vidro sodo-cálcico adicionados em até 10% melhoram as propriedades mecânicas da cerâmica vermelha. Acima desse percentual, os benefícios se estabilizam.	Du e Jiang (2021), Vieira (2016), Brunch (2016)
Renovar	A Verallia lançou a linha ECOVA, com garrafas 30% mais leves, reduzindo o consumo de matéria-prima e as emissões de CO ₂ . A Owens-Illinois lançou a primeira garrafa de vidro vermelha em produção em larga escala e o primeiro growler de vidro retornável no Brasil, incentivando um consumo mais sustentável.	Morera et al. (2021), Verallia (2021), Soares (2018)
Reduzir	A inspeção e manutenção preventiva reduziram as quebras de garrafas na produção cervejeira, minimizando desperdícios. A substituição de paletes por outros meios de transporte diminuiu as perdas durante o manuseio e distribuição.	Emram e Brown (2023), Duarte (2016)

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2 Impactos positivos e negativos da reciclagem e da logística reversa no ecossistema de vidro

Segundo o Instituto Brasileiro do Fígado (Ibrafig) revela que um pouco mais da metade da população brasileira (55%) ingerem bebidas alcóolicas. Com isso, além da preocupação com a saúde das pessoas, o consumo, principalmente, é de vinhos, cervejas e destilados, que em sua maioria são fornecidos em embalagens de vidro, o que resulta também na preocupação ambiental.

Como já mencionado, não é necessário que o vidro esteja intacto para a reciclagem, sendo possível utilizar cacos na produção de novas embalagens. Para fundir 1 tonelada de areia (dióxido de sílica), é preciso de um forno com temperatura de 1.800°C, uma vez que para a fusão dos cacos de vidro, a temperatura é de 1.200°C. Assim, a cada 6 toneladas de vidro reciclado, mitiga-se o impacto ambiental de 1 tonelada de CO₂. Deste modo, há uma redução de energia, tanto elétrica como térmica, de extração de matérias primas virgens e a de emissão de CO₂ na atmosfera (Morais *et al.*, 2022).

Para o potencial funcionamento da LR no ecossistema, há de haver a conscientização e correto descarte das embalagens pelos consumidores. No Brasil, uma iniciativa que ainda é pouco presente é a dos Pontos de Entrega Voluntária (PEV's), ou popularmente chamados de “ecopontos”. Em geral, são locais onde a população descarta os materiais recicláveis, incluindo o vidro, secos e limpos, tornando-se um incentivo a separação de resíduos e a melhor coleta pelas cooperativas (Kinnaman; Fullerton, 2000).

Embora parte da população e dos estabelecimentos que consomem embalagens de vidro não utilize os PEVs nem alternativas sustentáveis, como as embalagens retornáveis, muitos municípios brasileiros também carecem de locais adequados para o descarte. Nesse contexto, os catadores desempenham um papel fundamental para a continuidade da reciclagem desses materiais, evitando que sejam enviados aos aterros ou lixões, além de gerarem trabalho e renda para uma população majoritariamente de baixa renda.

Além disso, a indústria do vidro enfrenta desafios na implementação da LR, especialmente devido aos elevados custos de transporte. No Brasil, com suas grandes dimensões territoriais, o baixo volume de vidro coletado por catadores e cooperativas, aliado à informalidade do mercado, dificulta ainda mais o processo.

Outro obstáculo é a qualidade do vidro coletado, que muitas vezes não atende aos padrões mínimos exigidos para seu processamento adequado (Morais *et al.*, 2022). A pureza do material é fundamental, já que o vidro é um dos poucos materiais que reúnem

características essenciais como versatilidade, impermeabilidade e resistência. "No caso das embalagens, é essencial garantir que não ocorra a contaminação do produto armazenado, bem como evitar a necessidade de aditivos para sua proteção" (Akerman, 2000).

As fábricas responsáveis pela produção de embalagens de vidro e com capacidade para realizar a reciclagem estão concentradas principalmente no litoral brasileiro, nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Pernambuco e Sergipe, e, fora do litoral, em Minas Gerais. Dessa forma, quanto menor a distância entre o local onde o vidro é descartado e essas fábricas, maior a viabilidade da aplicação da LR. Por outro lado, a circularidade do vidro nas regiões Norte e Centro-Oeste enfrenta barreiras significativas, como a fragilidade do material durante longos trajetos (para os casos de reaproveitamento da embalagem por inteira, e não dos cacos) e os altos custos de transporte, que podem encarecer o produto final, reduzir sua competitividade no mercado e ainda aumentar o consumo de combustível e a emissão de CO₂ na atmosfera (Vieira, 2021).

A distribuição de cooperativas também não possuem uma distribuição igualitária nacionalmente. De acordo com o Anuário da Reciclagem de 2024 (Instituto Caminhos Sustentáveis, [2025?]), foram registradas 3.028 organizações de catadoras e catadores em 2023, distribuídas em 1.722 municípios de forma desigual pelas regiões, com a Sudeste liderando com 37,8% do total, seguida pela Região Sul (28,1%), Nordeste (19,4%), Centro-Oeste (8,9%) e Norte (5,8%) (Instituto Caminhos Sustentáveis, 2024).

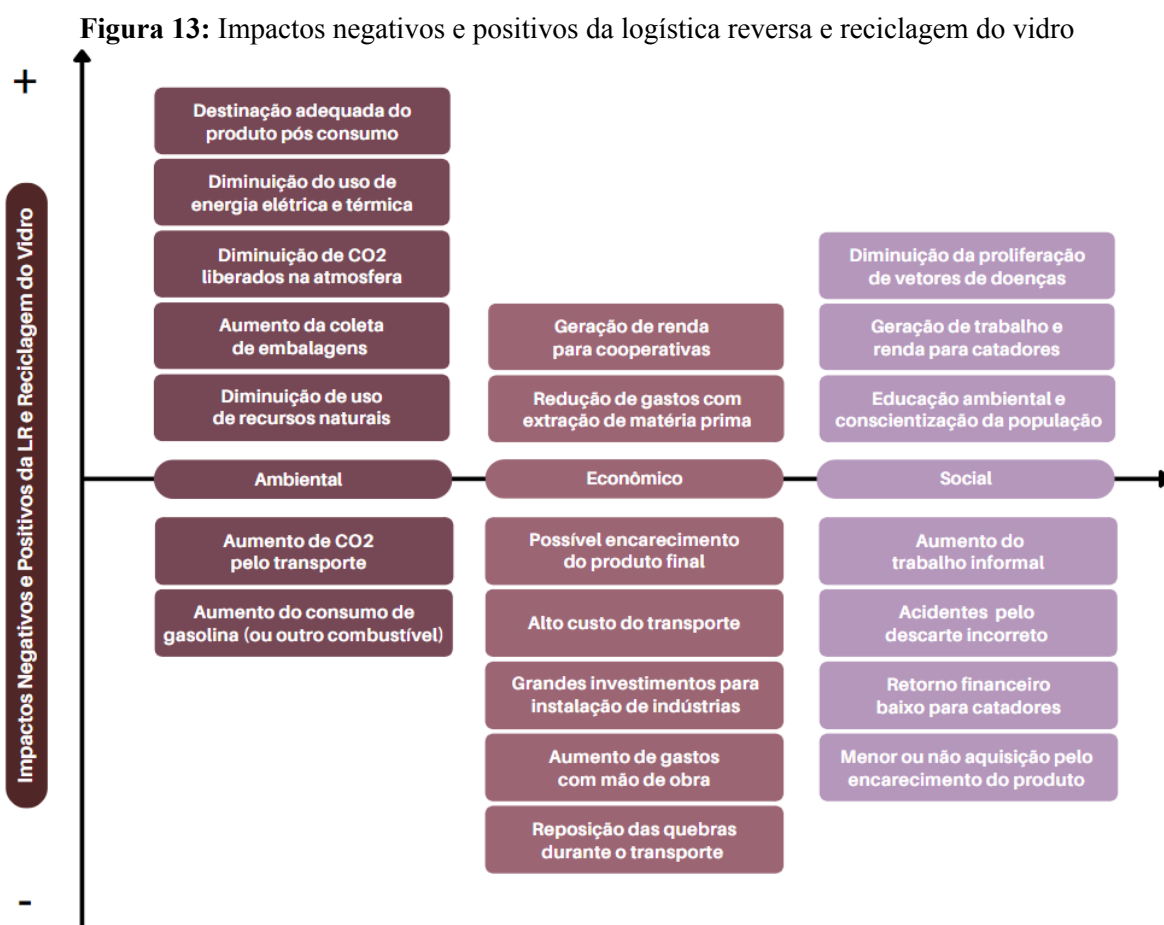
Em relação aos catadores, há 70.608 profissionais registrados oficialmente. No entanto, esse número está distante de representar a realidade do setor, já que muitos ainda atuam de forma informal, sem qualquer tipo de registro. Essa situação evidencia a precarização do trabalho, em que grande parte desses trabalhadores vive com menos de um salário mínimo por mês e sem acesso a incentivos ou apoio governamental, como aponta o mesmo Anuário.

Em 2023, o plástico se destacou como o material reciclável mais lucrativo, respondendo por 65% do faturamento total com a venda de recicláveis. Em seguida, vieram o papel e papelão, com 15,9%, o alumínio com 8,1%, os outros metais com 5,5%, e o vidro, que representou 5,4% desse faturamento. Já os preços médios de comercialização desses materiais variam de acordo com a região, com alumínio sendo o mais valorizado, com valores entre R\$ 4,72 e R\$ 4,89 por quilo e o vidro apresentando os menores preços, que variam de R\$ 0,18 a R\$ 0,23 por quilo. (Instituto Caminhos Sustentáveis, 2024).

Com isso, muitos catadores acabam não coletando-o por possuir um retorno financeiro baixo, tendo preferência em outros materiais, principalmente o alumínio, cerca de

21 vezes a mais que o vidro, além de ser mais leve, sendo possível carregar em grandes quantidades. Ademais, pelo descarte incorreto dos consumidores, ocorre acidentes aos catadores, principalmente se o vidro estiver em formato de cacos.

São ressaltados os impactos negativos e positivos da LR e reciclagem do vidro (Figura 13) - separados de acordo com os 3 (três) pilares da sustentabilidade) - segundo os dados e fatos encontrados tanto na revisão bibliográfica como nas manchetes de jornais e revistas.



Fonte: Elaborado pelo autor

Com análise dos impactos positivos e negativos revelados, é possível criar relações com as informações e dados. Em termos de quantidade, os impactos não estão balanceados, de modo que em relação aos positivos, há mais referente à esfera ambiental (5), seguida por social (3) e econômica (2). Já em relação aos negativos, a esfera econômica se encontra na primeira posição (5), seguida por social (4) e ambiental (2).

O foco predominante nos discursos acadêmicos da EC está claramente nas dimensões ambientais e econômicas, enquanto os aspectos sociais, como práticas trabalhistas, direitos humanos e bem-estar da comunidade, foram integrados nos perímetros do conceito (Mies;

Gold, 2021). Este desequilíbrio em relação à quantidade de impactos nas diferentes esferas da sustentabilidade revela que o planejamento dos objetivos das estratégias circulares não consideram na mesma priorização, magnitude e importância a parte social.

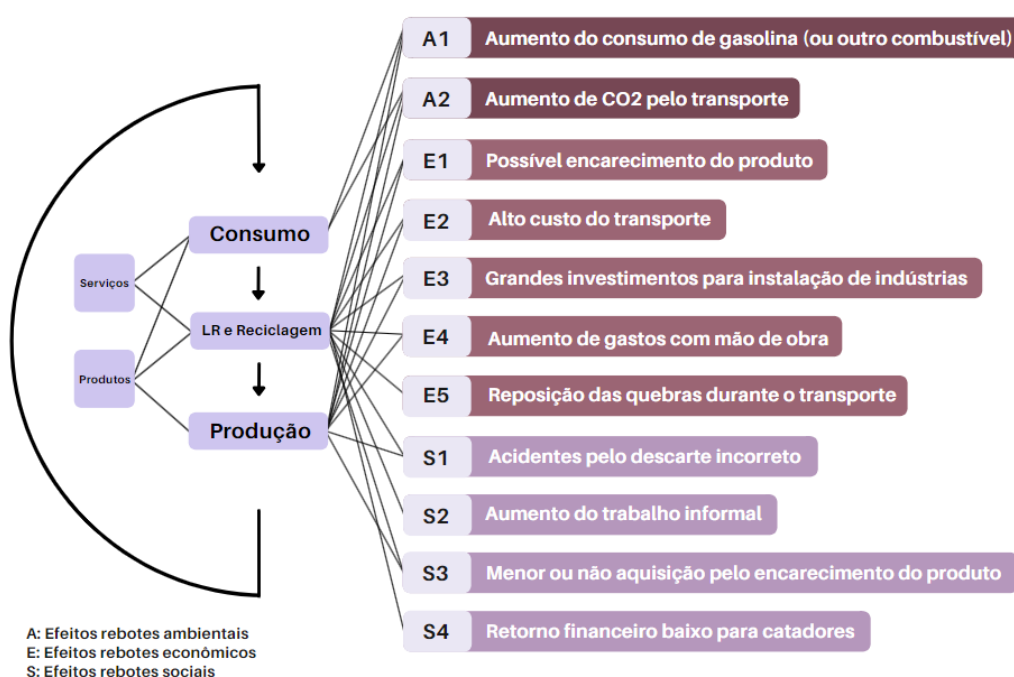
Embora a geração de emprego possa ter efeitos sociais positivos, como é o caso dos catadores de vidro, podendo diminuir a pobreza, o impacto real na sustentabilidade e no ecossistema depende da qualidade, o que não ocorre com frequência visto a informalidade da profissão e ganhos baixos. O mapeamento desses aspectos sociais explora suas inter-relações dinâmicas e revela pontos de alavancagem, principalmente em mudanças de gestão e política, ademais apontam objetivos para futuras pesquisas.

Deste modo, podemos analisar que o Brasil possui grande potencial de melhoria no cenário das reciclagens de embalagens de vidro, visto sua necessidade pelo grande consumo do produto, em especial nas questões que envolvem a integridade da sociedade envolvida no ecossistema.

5.3 Identificar possíveis efeitos rebotes no ecossistema do vidro

Com a análise dos impactos, foi possível identificar os ER no ecossistema estudado, que representam as possíveis consequências negativas decorrentes do processo. Torna-se essencial expandir a avaliação desses impactos, indo além da eficiência energética e do chamado “ER clássico”. Deve-se considerar também os impactos econômicos e sociais, promovendo a conexão entre todas as fases da cadeia produtiva.

Os potenciais ER identificados estão apresentados na Figura 14.

Figura 14: Estrutura dos efeitos rebotes no ecossistema de vidro

Fonte: Elaborado pelo autor

É válido ressaltar que alguns dos ER são causas diretas da transição para a circularidade, não havendo um balanceamento entre os pilares e investimentos para se analisar o tempo de vida do rebote. Os ER's transitórios são encontrados nas esferas ambiental e econômica, sendo que estão inclusos o transporte para realizar a logística (custo, consumo de combustível e emissão de CO₂), gastos com mão de obra na produção, encarecimento do produto por conta da reciclagem e investimento na infraestrutura das indústrias para se adequar a todo o processo.

Esta distinção de ER's transitórios ou não transitórios é relevante para evitar a implementação de práticas contraproducentes. Com a análise do esquema criado (Figura 18), é possível notar que nenhum ER na esfera social é de caráter não transitório, podendo ser solucionados de forma mais eficaz.

A EC deve ser entendida como uma parte integral da sociedade. Isso implica no reconhecimento das necessidades e expectativas da população e a aplicação de uma abordagem normativa, em vez de orientada para o lucro. Pinhel (2011) demonstra que o crescimento de catadores de materiais recicláveis tem relação com extremos níveis de pobreza. Ainda que estejam engajados em cooperativas, necessitam de apoio por meio de políticas públicas, acesso à formação e qualificação social.

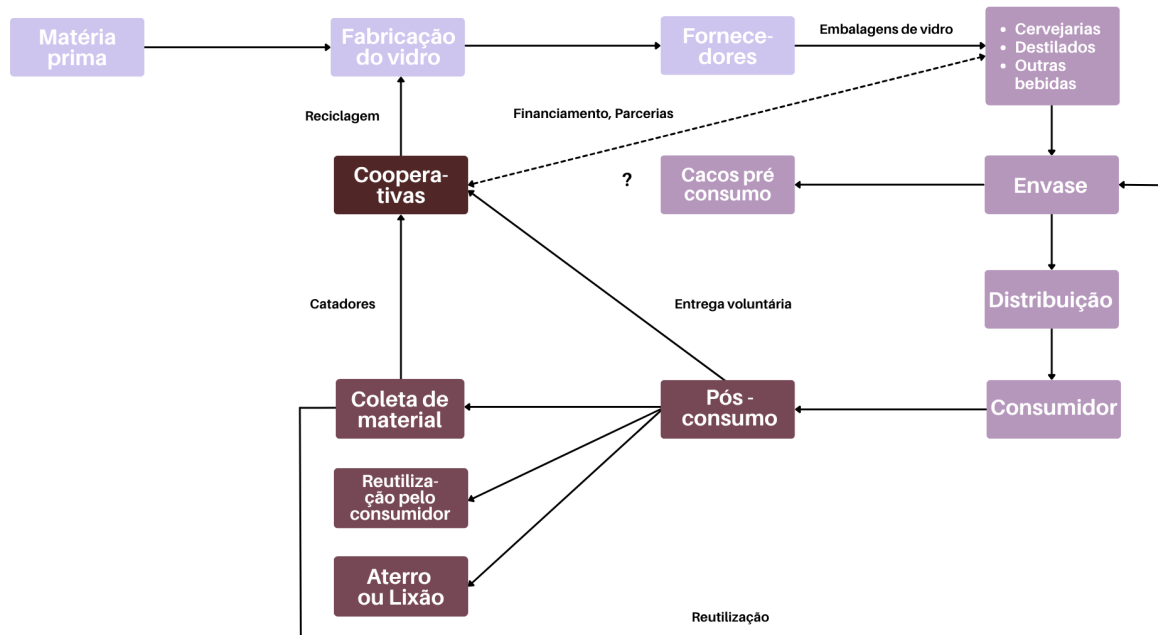
As políticas ambientais são os instrumentos mais utilizados para mitigar os impactos (Castro *et al.*, 2022). As melhorias nas cadeias produtivas envolvendo a EC devem ir além do tradicional ganho ambiental e consequentemente, o ganho também econômico em longo prazo. O reconhecimento das tensões envolvendo a sustentabilidade e a fraca demanda por sustentabilidade social é de relevância para encontrar, potencialmente, medidas para o fortalecimento da sociedade durante as tomadas de decisão na aplicação de estratégias circulares.

Deste modo, para um estudo mais aprofundado dos ER no ecossistema de vidro, visto os potenciais diante da análise da literatura e de notícias, foram realizadas entrevistas e conversas com os principais atores, para uma abordagem mais prática, e com isso estudar todo o fluxo de matérias primas, desde a extração até o pós-consumo. Além disso, estudar o funcionamento da cooperação entre tais atores do ecossistema de embalagens de vidro.

5.4 Estudar a cooperação entre os atores do ecossistema de vidro

Com as entrevistas, foi possível analisar que os atores do ecossistema em questão envolvem partes governamentais e não governamentais, parte das indústrias e parte da sociedade. Todas representam papéis fundamentais em toda a cadeia produtiva do vidro e o funcionamento da LR.

Deste modo, utilizando as informações e dados coletados durante as entrevistas, construiu-se um fluxograma que evidencia o fluxo de matéria prima e do produto, além de estruturar a LR das embalagens de vidro e a execução da cooperação entre os atores do ecossistema. (Figura 15).

Figura 15: Fluxo do processo do ecossistema de embalagens de vidro

Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira etapa de todo o processo é a extração de matéria prima, posteriormente a fabricação do vidro. Este material é encaminhado para os fornecedores, e com o mesmo as garrafas de vidro são produzidas e enviadas para indústrias de bebidas (cervejarias, indústrias de destilados, entre outras), onde ocorre toda a produção do líquido, envase nas embalagens e distribuição para o consumidor.

Após o consumo, inicia-se o processo de LR, que, conforme já mencionado neste trabalho, tem como ponto de partida o descarte adequado da embalagem. A partir dessa etapa, ela pode seguir por cinco caminhos principais: ser entregue pelos próprios consumidores às cooperativas, ser coletada por catadores, recolhida por indústrias, reaproveitada diretamente pelo consumidor ou encaminhada para aterros ou lixões. Os cenários mais benéficos são os três primeiros — especialmente a coleta pelas indústrias — pois permitem que a embalagem seja reutilizada como retornável, passando por um processo de higienização e voltando ao envase dentro da própria cadeia produtiva de bebidas. No caso da reciclagem, as embalagens e os cacos de vidro são enviados para cooperativas e, posteriormente, para usinas transformadoras, onde são processados e inseridos como matéria-prima na produção de novos vidros.

Ao construir o fluxograma, foi possível ilustrar as etapas e papéis fundamentais que cada ator deste ecossistema possui, evidenciando a relevância da cooperação entre os mesmos para o funcionamento da cadeia produtiva e da LR. Entretanto, para que isso se desenvolva,

há obstáculos que podem dificultar ou até mesmo inviabilizar o processo.

Na esfera ambiental, um dos desafios encontrados é em relação à emissão de CO₂ pelo transporte. As indústrias fabricantes de embalagens de vidro e as que reciclam este produto estão interiorizadas no país, sem uma presença significativa além das regiões Sudeste e Sul. Deste modo, para transportar o vidro para reciclagem em grandes distâncias, ocorre a poluição atmosférica, como é comentado pelo Entrevistado 6: *“Se você for colocar na balança as emissões que o transporte que toneladas de vidro vão emitir de gases no transporte de Manaus para São Paulo, é tão grande, que se tiver uma solução local que valha a pena e seja benéfico para outras indústrias, vale muito mais a pena usar lá do que trazer de volta”*.

Somado a isso, o Entrevistado 7 também cita sobre o mesmo problema: *“O vidro é pesado. Ele é muito barato e tem pouca indústria interiorizada no país, está todo mundo para cá (Sudeste). Então, mandar um vidro de Manaus para cá não faz sentido. Seria benéfico ter um entreposto, como uma planta de transformação nas outras regiões.”*

Ainda nas questões ambientais, outro desafio enfrentado é em relação à destinação do vidro. Como comentado pelo Entrevistado 7, o material é pesado e barato em comparação aos outros materiais recicláveis, além de ser um produto que causa acidentes caso não seja descartado corretamente. O Entrevistado 6 comenta: *“A cooperativa faz o trabalho de pegar todos os materiais, mas eles não querem trabalhar com o vidro, então indo para o aterro sanitário, dificultando o processo de logística reversa.”*. Ademais, o modo como ocorre a coleta seletiva pode interferir na reciclagem do vidro, criando a necessidade de pontos e coleta apenas para o material em questão, que segundo o Entrevistado 2: *“O problema é que há um caminhão compactador para uma coleta seletiva que não é seletiva, porque ele está trazendo vidro, plástico, muitas vezes material orgânico. Tudo se mistura e inviabiliza não só a reciclagem do vidro, mas também dos demais materiais que estão ali agregados.”*

Na esfera econômica, comentou-se a relevância de investimentos no Brasil para que a LR das embalagens de vidro realmente funcione e seja igualmente presente em todas as regiões do país. O Entrevistado 6 cita: *“Ter um investimento, principalmente aqui no Brasil, para criar uma indústria nova, são bilhões de dólares. Então, acaba que o setor é muito concentrado, tem poucos fabricantes.”* Ademais, também em relação ao mesmo tópico, o Entrevistado 4 comenta sobre a inviabilidade de implementação de indústrias de reciclagem de vidro em regiões distantes do Sudeste: *“Algumas prefeituras nos procuram para montar um ponto (indústria) e oferecem todos os subsídios, mas não viabilizam. O custo do frete é*

caro. A política (PNRS) fala: "quando você não tem viabilidade, você pode dispor em aterro", então quando é da região de São Paulo e Rio (de Janeiro) é atingível, mas quando vai para o Pará, para o Amazonas, como faz para atingir, num valor de material - que é o vidro - de 20 centavos o quilo, para receber, num custo de frete de 550 reais por tonelada ?"

Ainda sobre os custos do frete, o Entrevistado 6 comenta: *"Quanto mais distante da fábrica, maior é o custo de frete e a indústria vidreira não consegue, em muitos casos, trazer esse vidro de volta para a fabricação. A compra do caco não cobre esse grande custo, porque o vidro é um material pesado. Esse é o maior gasto."*

Em relação aos custos no interior das empresas, para fabricação e reciclagem do vidro, o Entrevistado 3 comenta: *"Uma das principais fontes são os gastos energéticos, a temperatura de fundição do vidro (cacos) é muito menor do que a matéria virgem".* Para a fabricação do vidro, o Entrevistado 6 e 3, respectivamente, citam sobre a barrilha (carbonato de sódio), com ênfase na relevância da reciclagem dos cacos para a substituição deste componente: *"Uma das matérias-primas que vai no forno de produção é a barrilha, um material importado que acaba sendo muito caro - nesses últimos dois anos, a barrilha aumentou muito de preço - , assim o caco foi um salvador para as indústria."* e *"Tem poucas empresas no mundo que produzem (a barrilha), e o vidro é um substituto direto. Quanto mais vidro reciclado, menos se utiliza um material que pouca gente produz e é escasso."*

Outro ponto relevante encontrado na esfera econômica é relacionado aos investimentos do setor na reciclagem e nas cooperativas. O Entrevistado 6 cita: *"É uma estratégia de negócio o aumento do índice de reciclagem. A PNRS fala sobre a responsabilidade encadeada, mas isso não acontece na prática, porque ficou com as responsabilidades muito soltas e difusas dentro da lei, então a gente não conhece a responsabilidade dos atores. Ninguém quer colocar dinheiro para fazer a coisa funcionar, assim ninguém faz nada."* O Entrevistado 7 comenta a importância de investimentos nas cooperativas e sua valorização no ecossistema: *"(É necessário) estruturar as cooperativas para que elas consigam acessar programas de crédito e logística reversa, e serem vistas no mercado, essa é a forma como o mercado conversa".* O Entrevistado 4 complementa: *"Por que não investem nesse pessoal? É emprego, é garantia do material de volta, é a cidade mais limpa, é menos gasto para a prefeitura, é economia circular."*

Na esfera social, levantou-se a falta de conscientização ambiental sobre o vidro por parte da sociedade, incluindo as cooperativas. O Entrevistado 6 comenta: *"O vidro é 100% reciclável, é inerte, não faz mal para a saúde, é retornável e reutilizável, é um material muito*

sustentável. Se perguntar para as pessoas isso, elas não sabem sobre essas características do vidro, elas não sabem que o vidro é muito mais reciclável do que alumínio, do que plástico. Além disso, as pessoas tinham uma visão muito negativa desse material.” Além disto, há também o caso dos recicladores, com o Entrevistado 7 complementando: “(Em relação aos) recicladores, falta expertise técnica de saber o que tem que fazer, como fazer, porque geralmente é um negócio de pai para filho.”

Ainda sobre a questão da conscientização, o Entrevistado 4 cita a importância de capacitar cooperativas de catadores e outras organizações para assim ampliar as possibilidades de emprego e renda: *“Sobre as cooperativas, sucateiro e ferro-velho, a visão deles é apenas garrafa, e não para outros tipos de vidro. Nós costumamos fazer o trabalho para que ele amplie essa visão e dê oportunidade.”* O Entrevistado 6 complementa em relação ao assunto: *“Não é muito vantajoso para as cooperativas lidar com esse material, elas também nem querem. Temos projetos de capacitar as cooperativas, para ensinar como lidar (com o vidro), a maneira adequada de estocar, para quem vender e como conseguir captar mais.”*

A respeito dos catadores, mencionou-se a informalização do trabalho, a desvalorização dos mesmos por parte pública e privada e a importância de seus serviços para o ecossistema do vidro. O Entrevistado 6 comenta: *“A profissão é super desvalorizada, eles (catadores) ainda não recebem para isso. O valor do vidro é muito baixo, não tem como contestar isso em comparação com o alumínio, até com o plástico.”* O Entrevistador 7 complementa com constatações sobre a relevância da estruturação da cadeia, incluindo tais trabalhadores: *“90% do material que chega na indústria recicladora passa potencialmente pela mão de um catador, seja catador autônomo ou organizado em cooperativa. Então quem são essas pessoas, do que vivem e como trabalham. Nem é possível mapear os catadores, assim entende-se que estruturar a cadeia é super importante.”*

Por fim, foram mencionadas questões envolvendo a importância da valorização da política pública em relação aos catadores. O Entrevistado 7 cita: *“Existe uma diretriz de poluidor-pagador e protetor-recebedor, no qual o meio rural consegue ganhar capital por meio do Estado, pelo seu ato de preservação. Um catador faz exatamente isso, um serviço de proteção ambiental, então porque ele não pode receber um PSA (Pagamento por Serviço Ambiental)?”* Com abordagem do mesmo assunto, o Entrevistado 1 comenta a relação da PNRS com a esfera social, e como o setor privado pode contribuir para potencializá-la: *“Um dos objetivos da PNRS é fazer o resíduo como uma escada social, fazer as pessoas terem*

transformações de vida através do mercado de resíduo. Então a gente (empresa) atua bastante nesse fomento de pequenos atores, sejam catadores informais ou pessoas que trabalham em cima de resíduos, seja localmente ou em diversos locais do Brasil em que a gente atua.”

Com a Figura 15, é revelado que existe uma dependência entre os atores envolvidos no ecossistema, sendo possível analisar que há ações de colaboração na cadeia das embalagens de vidro. A importância das cooperativas para o funcionamento da LR é evidenciada, com a recuperação - com a coleta seletiva - e reciclagem das embalagens, e o retorno para as indústrias do vidro.

Há presença de parcerias entre as cooperativas com indústrias de bebidas, o que acarreta na potencialização do serviço dos catadores com a entrada de capital. O Entrevistador 5 comenta a criação de novos negócios: *“Nos unimos para trazer soluções de tecnologia para a sustentabilidade. Se eu comprasse e vendesse, eu seria o intermediário. O que a gente faz é quebrar a cadeia de intermediação, para prestar um serviço com eficiência. Eu vou no gerador e busco uma (forma) eficiente de coletar e enviar direto para a usina. Então a LR deveria ser pensada de uma forma bem simples como a logística atual”.*

Outra cooperação difundida no ecossistema é em relação aos consumidores finais. Com o aumento da conscientização socioambiental, há o descarte adequado das embalagens de vidro, sendo em cooperativas e/ou em PEV's, o que também auxilia na coleta pelos catadores e no processo de reciclagem. O Entrevistado 3 comenta: *“Entendemos que essa parte educacional é um pilar muito forte que precisa, de novo, dar a mão para falar para as pessoas não jogarem a xícara junto com a garrafa, por exemplo.”.* O Entrevistado 6 complementa sobre projetos de educação ambiental: *“O problema é que o Brasil tem dimensões continentais, tem uma realidade que não é condizente com o que a gente precisa. Em muitos municípios não há nem coleta seletiva, é uma população que não possui noção básica de educação ambiental. Assim, fazemos parcerias institucionais com alguma outra empresa para divulgação ou com secretarias de educação de estado, de município, sobre temas mais tranquilos, que não são temas polêmicos.”.*

Visto as cooperações declaradas, identifica-se a falta do setor público no ecossistema. A presença governamental, com a valorização das cooperativas e criação incentivos fiscais tanto para os catadores como para as indústrias, a cadeia seria capaz de ser mais circular. O Entrevistado 1 comenta sobre a importância deste setor para o ecossistema: *“É necessário o governo se fazer presente, se fazer atuante em questão de cobrar e definir normas a questão*

do direcionamento que o Brasil está dando para caminhar a evolução do gerenciamento de resíduo, tanto para mitigar geração quanto para dá de estímulos melhores. Assim, incentivar a reciclagem e a logística reversa.”.

6. CONCLUSÃO

A estrutura conceitual deste relatório possui como propósito alavancar a transição da economia para a circularidade, no ecossistema de embalagens de vidro. É realizada uma análise envolvendo a estratégia-R para avaliar as inovações e as mudanças ambientais, sociais e econômicas no cenário das embalagens de vidro, construção e análise dos impactos positivos e negativos da LR e da reciclagem, levantamento dos possíveis ER's neste ecossistema e elaboração de entrevistas.

Durante a produção das embalagens de vidro, a reciclagem entra em vigor, visto que o vidro é um material 100% reciclável, reduzindo a retirada de recursos minerais do meio ambiente. Destacam-se iniciativas como os programas “Vidro Vira Vidro”, “Glass is Good” e “Circula Vidro”, que recuperam as embalagens do meio e vêm contribuindo para a ampliação da coleta, com reinserção do material no ciclo produtivo pela reciclagem.

Também, ainda em relação às Estratégias-R, a adoção de projetos inovadores nessa etapa também são importantes para a circularidade da economia, como investimentos para reduzir a quebra de garrafas e renovar o design das embalagens. Referente ao consumo, a reutilização dos produtos para outros fins reduzem a produção de novas embalagens, e as estratégias de repensar juntamente com a de recusar a aquisição de novas embalagens trazem benefícios ambientais, acarretando a não geração do produto.

Com os impactos positivos e negativos analisados, foi possível concluir que os impactos positivos são de maioria na esfera ambiental, como redução do uso de recursos, - principalmente, energia térmica e elétrica - e de matéria prima virgem, com a destinação adequada dos produtos. Em contrapartida, os impactos que inviabilizam a LR e a reciclagem das embalagens das esferas econômica e social, em relevância a precarização do trabalho de catadores, baixa atratividade econômica do vidro reciclado e concentração geográfica das indústrias. Além disso, as cooperativas enfrentam dificuldades logísticas e operacionais, além da falta de infraestrutura adequada para o processamento eficiente do vidro.

A partir do mapeamento dos ER's, observou-se que, embora a circularidade tenha como objetivo principal os ganhos ambientais, ela pode gerar impactos indesejados, como o

aumento do consumo, a ineficiência logística devido ao transporte em longas distâncias e o encarecimento dos processos produtivos. Somado a isso, há os fatores sociais relevantes, como a baixa atratividade do vidro para as cooperativas, visto o valor agregado baixo do material e aspectos de saúde e segurança dos trabalhadores, além de optarem pela reciclagem de outros materiais mais rentáveis, como o alumínio. Nesse contexto, é fundamental que os atores envolvidos planejem a prevenção dos ER's levantados durante todas as etapas da LR e reciclagem, com a criação de políticas públicas integradas, investimentos estruturais e estratégias que considerem os conceitos ambientais, sociais e econômicos de maneira holística.

As entrevistas com a aquisição de base de dados do ecossistema foram relevantes para o entendimento da circularidade da cadeia produtiva e funcionamento da LR, com informações práticas de empresas, associações e ONG's do ramo do vidro e de embalagens. Com elas, foi verificado que o tipo de relacionamento existente entre os atores deste ecossistema é de cooperação, com auxílios mútuos entre os mesmos. Deste modo, é relevante a potencialização desta cooperação envolvendo, de forma igualitária e valorizada, as cooperativas de catadores.

Nesse sentido, o Decreto nº 11.300, de 2022, trouxe novas perspectivas para a gestão da LR de embalagens de vidro no Brasil. A medida reconhece oficialmente os diversos elos da cadeia de reciclagem, incluindo cooperativas, empresas e operadores logísticos, promovendo maior integração, rastreabilidade e valorização dos envolvidos. Com os avanços do setor, surgem novas oportunidades de pesquisa voltadas à análise de seus impactos práticos, à eficiência do sistema e ao seu papel no fortalecimento da EC.

Assim, o trabalho em questão contribui para a ampliação da compreensão sobre as dinâmicas que regem a circularidade das embalagens de vidro e reforça a importância de ações coordenadas e sustentáveis para o desenvolvimento de ecossistemas mais resilientes, inclusivos e ambientalmente eficientes. Dessa maneira, conclui-se que a transição do modelo linear para o circular dentro do ecossistema estudado exige uma abordagem sistêmica e multissetorial.

Paralelamente, torna-se essencial a implementação de modelos de negócio mais circulares por parte dos atores envolvidos, acompanhados de mudanças nos hábitos de consumo da população. Além disso, políticas públicas e incentivos governamentais devem ser fortalecidos para promover um crescimento econômico sustentável, eficiente e com impactos sociais positivos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKERMAN, M. **Natureza, estrutura e propriedades do vidro**. São Paulo: Cetev – Centro Técnico de Elaboração do Vidro, Saint-Gobain Vidros Brasil, nov. 2000. Disponível em: https://www.unifal-mg.edu.br/ppgcm/wp-content/uploads/sites/116/2020/06/NaturezaEstrut_Prop_Vidro-Saint-Gobain-2000.pdf
- ALMEIDA, C. G. **Estudo comparativo dos indicadores existentes de Economia Circular com perspectivas à criação de uma ferramenta de monitorização aplicada à realidade nacional portuguesa**. 2020. Relatório de Estágio (Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente) - Faculdade de Economia, Universidade do Porto, 2020. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/129852/2/427536.pdf>.
- ALLWOOD, J. M. Squaring the Circular Economy: the role of recycling within a hierarchy of material management strategies. *In: Handbook of recycling*. Amsterdam: Elsevier, 2014. p. 445-477. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396459-5.00030-1>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA EMBALAGEM. **Embalagem**. [2025?]. Disponível em: <http://www.abre.org.br/setor/apresentacao-do-setor/a-embalagem/>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO. **Meta de reciclagem de vidro em 2024 é alcançada no Brasil**. 2025. Disponível em: <https://abravidro.org.br/punoticias/meta-de-reciclagem-de-vidro-em-2024-e-alcancada-no-brasil/>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BEBIDAS. **Relatório de sustentabilidade**. 2022. Disponível em: <https://www.abrabe.org.br/relatorio-de-sustentabilidade/>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BEBIDAS. Logística reversa do vidro: sustentabilidade ambiental e econômica. **Valor Econômico**, São Paulo, 7 nov. 2019. Disponível em: <https://valor.globo.com/patrocinado/abrabe/noticia/2019/11/07/logistica-reversa-do-vidro-sustentabilidade-ambiental-e-economica.ghtml>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024**. 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Considerações sobre a indústria de vidro no Brasil**. 2007. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2666>.
- BARQUETE, S. *et al.* Exploring the dynamic of a circular ecosystem: a case study about drivers and barriers. **Sustainability**, 2022, v. 14, n. 13, p. 1-22. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137875>.
- BERKHOUT, P. H. G.; MUSKENS, J. C.; VELTHUIJSEN, J. Defining the rebound effect. **Energy Policy**, v. 28, n. 6-7, p. 425-432, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00022-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00022-7).

BOUNDY, T. How much material can a recycling facility source? A business-incentive based model for secondary material sourcing applied to waste LCD screen material. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 152, p. 1-7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104528>.

BORCHARDT, M. *et al.* Considerações sobre ecodesign: um estudo de caso na indústria eletrônica automotiva. **Ambiente & Sociedade**, v. 11, n. 2, p. 341-353, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2008000200009>.

BORENSTEIN, S. 2013. **A microeconomic framework for evaluating energy efficiency rebound and some implications**. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 2013. (Working Paper 19044). Disponível em: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w19044/w19044.pdf.

BRESSANELLI, G. *et al.* Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 1-21, fev. 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/3/639>.

BRASIL. Decreto nº 11.300, de 20 de dezembro de 2022. Regulamenta dispositivos da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 21 dez. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11300.htm.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

BUSCH, P. F. **Efeito da incorporação de resíduo de processamento de lapidação de vidro sodo-cálcicos nas propriedades físicas e mecânicas de cerâmica vermelha**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytazcazes, 2016. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Disserta%C3%A7ao-Pamela-Busch-1.pdf>.

CASTRO, C. G. *et al.* The rebound effect of circular economy: definitions, mechanisms and a research agenda. **Journal of Cleaner Production**, v. 345, p. 1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131136>.

CAVALCANTE, R. **Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social Corporativa**. 2009. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Finanças e Gestão Corporativa) – Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.avm.edu.br/>.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. () **Vidros**: o mercado para reciclagem. 2018. Disponível em: http://www.cempre.org.br/ft_vidros.php.

CESAR, A. P.; DE PAULA, D. A.; KROM, V. Importância da reciclagem do vidro. *In*: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS GRADUAÇÃO, 4, 2010. **Anais [...]**. [S. l.]: Universidade

do Vale do Paraíba, 2004. Disponível em:
http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos/inic/pdf/IC6-17.pdf.

CHEN, C-W. Clarifying rebound effects of the circular economy in the context of sustainable cities. **Sustainable Cities and Society**, v. 66, p. 1-6, 2021. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102622.

CIMINO, A. *et al.* Reverse logistics of refillable glass bottles: a simulative approach. In: SPRING SIMULATION MULTICONFERENCE, 2009, San Diego. **Proceedings** [...]. San Diego: Society for Computer Simulation International, 2009. p. 1-8. DOI:
<https://doi.org/10.1145/1527135.1527137>.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Economia Circular: uma abordagem geral no contexto da Indústria 4.0**. Brasília: [s. n.], 2017. Disponível em:
https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/41/0f/410f337c-d65a-4988-8d3d-a8378809a5ac/economia_circular_uma_aborgadem_geral_no_contexto_da_industria_40.pdf.

COUTO, M. C. L.; LANGE, L. C. Análise dos sistemas de logística reversa no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 5, p. 889-898, set./out. 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017149403.

CUNHA, A.; CUNHA, B. P. da; AUGUSTIN, S. (orgs.). **Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais**. Caxias do Sul: Educs, 2014. Disponível em:
https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/Sustentabilidade_ambiental_ebook.pdf.

DÉTIENNE, F.; MARTIN, G.; LAVIGNE, E. Viewpoints in co-design: a field study in concurrent engineering. **Design Studies**, v. 26, n. 3, p. 215-241, 2005. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.08.002>.

DOURADO, A. P. F. K. **Análise econômica da logística reversa e a (ir)responsabilidade compartilhada: caso das embalagens de vidro em Brasília**. 2020. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/39302>.

DUARTE, M. A. S. **Redução do consumo de vidro nas linhas de enchimento de uma unidade cervejeira**. 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão) – Universidade do Porto, Porto, 2016. Disponível em:
<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/98615/2/146163.pdf>.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Rumo à Economia Circular: o racional de negócio para acelerar a transição**. 2015. Disponível em:
ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-à-economia-circular_SumarioExecutivo.pdf.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**. 2014. Disponível em:
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Towards-the-circular-economy-volume-3.pdf>.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Circular economy in Europe: developing the knowledge base**. European Environment Agency: [s. n.], 2016.

EISENHARDT, K. M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/258557>.

EMRAM, R.; BROWN, M. The role of technology in sustainable production: a pathway to reduce consumption and increase product durability. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 184, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122193>.

FREITAS, F. G., MAGNABOSCO, A. L. (2109) A indústria do vidro no brasil: evolução de consumo, produção e competitividade entre 2000 e 2018, Ex Ante Consultoria Econômica.

GOMES, L. A. de V. *et al.* Unpacking the innovation ecosystem construct: evolution, gaps and trends. **Technological Forecasting & Social Change**, New York, v. 136, p. 30-48, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.009>.

GONÇALVES, M. E.; MARINS, F. A. S. Reverse logistics in a glass lamination industry: case study. **Gestão & Produção**, v. 13, n. 1, p. 61-72, 2006. DOI: 10.1590/s0104-530x2006000300004.

GONÇALVES-DIAS, S. L. F.; FRANCELINO, S. L.; SOUZA, T. A. S. de. 2006. Estrutura da cadeia reversa: “caminhos” e “descaminhos” da embalagem PET. **Produção**, v. 16, n. 3, p. 429-441. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132006000300006>.

GONZÁLEZ-TORRE, P. L.; ADENSO-DÍAZ, B. A model for the reallocation of recycling containers: application to the case of glass. **Waste Management and Research**, v. 20, n. 5, p. 398-406, out. 2002. DOI: 10.1177/0734242X0202000503.

GONZÁLEZ-TORRE, P. L.; ADENSO-DÍAZ, B.; ARTIBA, H. Environmental and reverse logistics policies in European bottling and packaging firms. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 40, n. 4, p. 251-281, 2004. DOI: 10.1016/S0925-5273(03)00181-6.

GREEN MINING. **Startup de logística reversa**. 2025. Disponível em: <https://greenmining.com.br/>.

GUELFUCCI, E. S. M. **Melhoria da sustentabilidade da área fria de uma fábrica de vidros**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/db76a6a5-f677-4a50-a05d-bcb93b07e2d9/EliseSolangeMoniqueGuelfucci%20TCCPRO13.pdf>.

HERTWICH, E. G. Consumption and industrial ecology. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2005. DOI:10.1162/1088198054084635.

INSTITUTO BRASILEIRO DO FÍGADO. **Mais da metade da população brasileira consome bebidas alcoólicas todos os dias e maioria desconhece impacto na saúde do seu fígado, revela pesquisa Datafolha para IBRAFIG**. 28 nov. 2021. Disponível em: <https://ibrafig.org.br/noticias/mais-da-metade-da-populacao-brasileira-consome-bebidas-alcoolicas-todos-os-dias-e-maioria-desconhece-impacto-na-saude-do-seu-figado-revela-pesquisa-datafolha-para-ibrafig/>.

INSTITUTO CAMINHOS SUSTENTÁVEIS. **Anuário da Reciclagem 2024**. [2024]. Disponível em: <https://ics.eco.br/anuario-da-reciclagem/>.

JANONE, L. Consumo de bebidas alcoólicas aumenta durante a pandemia, diz levantamento. **CNN Brasil**, Rio de Janeiro, 06 dez. 2021. p. 1. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/mais-da-metade-dos-brasileiros-acima-de-18-anos-conso-me-bebidas-alcoolicas/#:~:text=Uma%20pesquisa%20realizada%20pelo%20Instituto,por%200conta%20do%20isolamento%20social>.

KINNAMAN, T. FULLERTON, D. Garbage and recycling with endogenous local policy. **Journal of Urban Economics**, v. 48, p. 419-442, 2000. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/eeejuecon/v_3a48_3ay_3a2000_3ai_3a3_3ap_3a419-442.htm.

KIZILBOGA, G. *et al.* Remanufacturing network design modeling: a case of diesel particulate filter. **Procedia CIRP**, v. 11, p. 163-168, 2013. DOI: 10.1016/j.procir.2013.07.048.

KO, Y. D.; NOH, I.; HWANG, H. Cost benefits from standardization of the packaging glass bottles. **Computers & Industrial Engineering**, v. 62, n. 3, p. 693-702, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.11.026>.

LABELLE, A.; FRAYRET, J.-M. First-mile reverse logistics: an agent-based modelling and simulation application for glass bottle recovery. **Journal of Cleaner Production**, v. 422, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138574>.

LEMOES, E. **Diagnóstico da cadeia de reciclagem de embalagem de vidro em Santa Catarina**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

LINDER, M.; SARASINI, S.; VAN LOON, P. A metric for quantifying product-level circularity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 545-558, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12552>.

MIES, A.; GOLD, S. Mapping the social dimension of the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 321, 2021 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128960>.

MONSREAL, M. Reverse logistics of recovery and recycling of non-returnable beverage containers in the brewery industry: a "profitable visit" algorithm. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 44, n. 7, p. 577-596, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-08-2012-0258>.

MORAIS, C. *et al* (orgs.). **Guia técnico de reciclagem do vidro**. São Paulo: ABIVIDRO, 2022. Disponível em: <https://circulavidro.com/wp-content/uploads/2024/05/Guia-Tecnico-de-Reciclagem-do-Vidro.pdf>.

MARAMPOUTIS, I.; VINOT, M.; TRILLING, L. Multi-objective vehicle routing problem with flexible scheduling for the collection of refillable glass bottles: a case study. **EURO**

Journal on Decision Processes, v. 10, p. 1-15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejdp.2021.100011>.

MORERA, J. A. *et al.* Sustainable mobility: the route of tires through the circular economy model. **Waste Management**, v. 126, p. 309-322, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.025>.

OLIVEIRA, F. R.; FRANÇA, S. L. B.; RANGEL, L. A. D. Princípios de economia circular para o desenvolvimento de produtos em arranjos produtivos locais. **Interações**, Campo Grande, v. 20, n. 4, p. 1179-1193, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v20i4.1921>.

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, p. 11–32, 2016. DOI:10.1016/j.jclepro.2015.09.007.

PEREIRA, L. C. F. O. Design para a economia circular: **repensando a forma como fazemos as coisas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade de Brasília, Brasília. 2020. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/40304/1/2020_LuizCarlosFernandesPereira.pdf.

PINHEL, J. Catador de resíduos recicláveis: **um perfil profissional em construção**. In: ZANIN, M.; GUTIERREZ, R. F. (orgs.). Cooperativas de catadores: reflexos sobre práticas. São Carlos: Clara Luz, 2011. p. 53 – 101.

PLATCHECK, E. R. *et al.* Methodology of EcoDesign for the development of more sustainable electro-electronic equipments. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 1, p. 75-68, 2008. DOI: 10.1016/j.jclepro.2006.10.006.

POTTING, J. *et al.* **Circular economy**: measuring innovation in the product chain. [S. l.]: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319314335_Circular_Economy_Measuring_innovation_in_the_product_chain

RAVI, V.; SHANKAR, R., Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics. **Techno. Technological Forecasting and Social Change**, v. 72, n. 8, p 1011-1029, 2005. DOI: 10.1016/j.techfore.2004.07.002.

REBITZER, G. *et al.* Life cycle assessment part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, v. 30, n. 5, p. 701-720, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>.

RENTIZELAS, A. *et al.* Reverse supply network design for circular economy pathways of wind turbine blades in Europe. **International Journal of Production Research**, v. 60, n. 6, p. 1795-1814, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1870016>.

SAKJI, I.; NDHAIEF, N.; REZG, N. From linear to circular economy: the potential of glass deposits in smart city supply chains. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORKING, SENSING AND CONTROL, 2023, Marseille. **Proceedings [...]**. Piscataway: IEEE, 2023. p. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICNSC58704.2023.10319038>.

SAVAGET, P *et al.* The theoretical foundations of sociotechnical systems change for sustainability: a systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 878-892, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.208>.

SCHRODER, P.; ANGGRAENI, K.; WEBER, U. The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 77-95, Feb. 2018. DOI: 10.1111/jiec.12732.

SHREVE, R. N. **Chemical process industries**. 5th. ed. New York: McGraw-Hill, 1997.

SIDERIUS, T., POLDNER, K. Reconsidering the circular economy rebound effect: propositions from a case study of the Dutch circular textile valley. **Journal of Cleaner Production**, v. 293, p. 1-12, 2021. Disponível em: 10.1016/j.jclepro.2021.125996.

SOARES, T. F. **Reciclagem do vidro para embalagens de alimentos e bebidas como etapa do Sistema de Gestão Ambiental**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SOLANO, C. M. *et al.* Reverse logistic processes for glass container reuse. **Environmental Processes**, v. 8, n. 1, p. 397-411, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00482-z>.

SORRELL, S.; DIMITROPOULOS, J. The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions. **Ecological Economics**, v. 65, n. 3), p. 636-649, 2008. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.08.013.

SUREKA, G.; BANDARA, Y. M.; WICKRAMARACHCHI, D. Factors affecting the efficiency and effectiveness of reverse logistics process. **Journal of International Logistics and Trade**, v. 16, n. 2, p. 74-87, 2018. DOI: <https://doi.org/10.24006/JILT.2018.16.2.74>.

TORRES, A. F. R.; GONÇALVES-DIAS, S. L. F. Understanding the reverse chain structure of the glass bottles in São Paulo. *In*: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 7., Barranquilla, 2018. **Proceedings [...]**. [S. l.]: Universidad de la Costa; [S. l.]: Universidade Paulista, 2018. p. 116. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/7th/files/sessoes/6A/6/torres_and_goncalves-dias_academic.pdf.

UNITED NATIONS. **Our common future**. [S. l.]: Nações Unidas, 1988. Disponível em: <https://www.are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html>.

VALT, R. B. **Análise do ciclo de vida de embalagens de pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/1593>.

VERALLIA. **Reciclagem de vidro colabora com redução de energia e emissão de CO₂**. 2021. Disponível em: https://br.verallia.com/s/article/Reciclagem-de-vidro-colabora-com-reducao-de-energia-e-emissao-de-CO2?language=pt_BR.

VIEIRA, M. D. Decreto para reciclagem do vidro preocupa setor de bebidas. **O Brasilianista**, 29 abril 2021. Notícias, p. 1-3. Disponível em: <https://obrasilianista.com.br/2021/04/29/decreto-para-reciclagem-do-vidro-preocupa-setor-de-bebidas/#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20proposta,e%20garrafas%20reciclados%20ser%C3%A3o%20produzidos.>

VIEIRA, P. L. C. **Reaproveitamento do resíduo de lâ de vidro na produção de argamassa**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Disponível em: [https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/282/DISSERTA%c3%87%c3%83O_Reaproveitamento_res%c3%adduo_l%c3%a3_vidro_produ%c3%a7%c3%a3o.pdf?sequence=1&isAllowed=y.](https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/282/DISSERTA%c3%87%c3%83O_Reaproveitamento_res%c3%adduo_l%c3%a3_vidro_produ%c3%a7%c3%a3o.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ŽIDONIENĖ, S.; KRUOPIENĖ, J. Life cycle assessment in environmental impact assessments of industrial projects: towards the improvement. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 533-540, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.07.081.

ZINK, T.; GEYER, R. Circular economy rebound. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 593-602, 2017. DOI: 10.1111/jiec.12545.

8. ANEXOS

ANEXO A - Protocolo de Entrevista

 Protocolo de Entrevista | Ecossistema do Vidro

ANEXO B - Termo de Consentimento

 Termo de Consentimento | Ecossistema do Vidro