PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

DIEGO VEDOVATO FORTUNA

PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS E ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA DE VIDRO NO BRASIL

CAMPINAS-SP

2025

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
ESCOLA DE ECONOMIA E NEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM SUSTENTABILIDADE
DIEGO VEDOVATO FORTUNA

PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS E ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA DE VIDRO NO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Sustentabilidade (PPGS) da Escola de Economia e Negócios (ECON) da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade.

Área de Concentração: Sustentabilidade.
Linha de Pesquisa: Planejamento, Gestão e Indicadores de Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Ricardo Rosa Georges.

CAMPINAS-SP
2025

Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI
Gerador de fichas catalográficas da Universidade PUC-Campinas
Dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Vedovato Fortuna, Diego

F745p Práticas sustentáveis e economia circular na indústria de vidro no Brasil / Diego Vedovato Fortuna. - Campinas: PUC-Campinas, 2025.

113 f.il.

Orientador: Marcos Ricardo Rosa Georges.

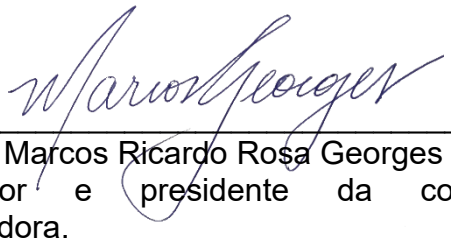
Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) - Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, Escola de Economia e Negócios, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2025.
Inclui bibliografia.

1. Sustentabilidade. 2. Economia Circular. 3. Práticas sustentáveis. I. Ricardo Rosa Georges, Marcos. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Escola de Economia e Negócios. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade. III. Título.

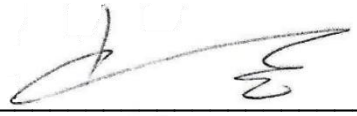
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
ESCOLA DE ECONOMIA E NEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM SUSTENTABILIDADE
DIEGO VEDOVATO FORTUNA

PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS E ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA DE VIDRO NO BRASIL

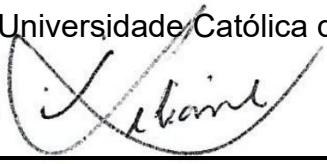
Dissertação defendida e aprovada em 14 de novembro de 2025 pela comissão examinadora:



Prof. Dr. Marcos Ricardo Rosa Georges
Orientador e presidente da comissão examinadora.
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Cândido Ferreira da Silva Filho
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Liliane Carmagnac
Excelia Business School, França

CAMPINAS-SP
2025

Dedico este trabalho, em primeiro lugar, à minha esposa, Mariana Limonti, cuja dedicação e apoio incondicional em todas as dimensões desta jornada acadêmica tornaram este percurso possível. Estendo igualmente esta dedicatória à minha filha, Antonella Limonti Vedovato, que escolheu abrilhantar nossas vidas com sua chegada durante o segundo semestre deste curso. Sem vocês, este objetivo jamais teria sido concretizado.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta dissertação contou com o apoio e a colaboração de pessoas e instituições que foram fundamentais nesta jornada, a quem registro minha mais sincera gratidão:

À minha esposa, Mariana, pelo amor, paciência e incentivo incondicional em todos os momentos. Sua compreensão e apoio foram fundamentais para que eu pudesse me dedicar a este trabalho.

À minha filha, Antonella, que nasceu durante o curso e trouxe ainda mais significado à minha caminhada. Sua presença foi e continua sendo uma fonte inesgotável de motivação e inspiração.

Ao meu professor e orientador, Prof. Dr. Marcos Georges, pela dedicação incansável, pela paciência, pela clareza nas orientações e, sobretudo, pelo verdadeiro dom de ensinar. Sua condução firme, aliada à generosidade intelectual e humana, foi decisiva para o amadurecimento desta pesquisa.

À PUC-Campinas e a todo o Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, pelo compromisso com a excelência acadêmica e por promover, com seriedade e relevância, um curso tão essencial para os desafios contemporâneos da sustentabilidade. Agradeço também a todos os professores do Mestrado, pelo ensino de alta qualidade e pelas contribuições que ampliaram minha visão crítica e técnica sobre o tema.

À ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro, pelo apoio e pela confiança desde o início desta jornada. Agradeço especialmente aos srs. Lucien e ao José Carlos Delacqua, assim como a todo o time da ABIVIDRO, pela generosidade em compartilhar informações claras, objetivas e atualizadas, pelo conhecimento técnico transmitido e pela constante disponibilidade em colaborar com as demandas desta pesquisa.

A todos os executivos, gerentes, coordenadores e trabalhadores do setor de fabricação de vidro, que me receberam com cordialidade em entrevistas, reuniões, ligações e conversas produtivas. O conhecimento compartilhado por cada um de vocês tornou este estudo mais rico, aplicável e conectado à realidade do setor.

Aos amigos e familiares, pela compreensão diante das ausências durante o período letivo e o desenvolvimento desta dissertação. O apoio, mesmo à distância, foi indispensável para me manter firme nesta trajetória.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta conquista fosse possível, deixo registrado o meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

FORTUNA, Diego Vedovato. **Práticas sustentáveis e economia circular na indústria de vidro no Brasil.** 2025. 113 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Escola de Economia e Negócios (ECON) da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas-SP, 2025.

A cadeia de suprimentos do vidro ocupa posição estratégica na economia, produzindo bens essenciais para a construção civil, os setores automotivo, farmacêutico, cosmético e diversos outros. Embora com números que variam conforme a fonte e o segmento (vidro plano, embalagens, produtos domésticos etc.), o setor vidreiro no Brasil emprega formalmente cerca de 50 mil pessoas em fábricas de vidro e artigos de vidro. No que diz respeito à dimensão econômica, o setor vidreiro brasileiro apresenta relevância expressiva, tanto em produção quanto em potencial de reciclagem. Estudos setoriais indicam uma produção anual em torno de 1,3 milhão de toneladas de vidro, abrangendo embalagens, vidro plano e outros segmentos industriais. Além disso, o mercado de reciclagem de vidro movimenta valores significativos, estimados em aproximadamente R$ 120 milhões por ano, evidenciando a importância econômica e ambiental da cadeia de logística reversa e economia circular. A taxa de reciclagem de vidro no Brasil também é um ponto crítico: fontes recentes apontam que cerca de 25% das embalagens de vidro são efetivamente recicladas atualmente. Algumas projeções da entidade gestora Circula Vidro estimam que a destinação apropriada (em coleta certificada) chegue a 30% do total de embalagens de vidro. Esse percentual supera largamente os dados mais antigos de 11% (relacionados ao ano de 2019, conforme dados do SINIR), mas ainda demostra uma distância significativa no percentual de países desenvolvidos. Dado esse panorama, este trabalho propõe investigar a adoção de práticas sustentáveis ao longo da cadeia de suprimentos do vidro, identificando os principais desafios, barreiras e iniciativas, com ênfase especial em logística reversa e economia circular. A pesquisa é classificada como um estudo de natureza aplicada, com objetivos exploratórios e descritivos, e abordagem mista (qualitativa e quantitativa). Ela foi desenvolvida em etapas: pesquisa bibliográfica: levantamento em bases científicas reconhecidas com palavras-chave como “sustentabilidade”, “economia circular” e “indústria do vidro”, para mapear a produção acadêmica relevante; pesquisa documental: análise de relatórios e publicações oficiais de empresas do setor vidreiro — especialmente aquelas associadas à ABIVIDRO — para identificar práticas sustentáveis declaradas institucionalmente; entrevistas semiestruturadas: diálogo com dirigentes, executivos, gerentes e trabalhadores da indústria do vidro. As entrevistas foram estruturadas com base nos macros objetivos dos cinco eixos do Plano Nacional de Economia Circular (desde o estabelecimento de metas, padrões e indicadores quantificáveis para monitorar a circularidade a promover ações de incorporação de trabalhadores informais às cadeias de valor circular). Os dados coletados foram tratados por meio de análise de conteúdo para os aspectos qualitativos e de estatísticas descritivas para os quantitativos. Os resultados são apresentados de forma clara e sistematizada. Espera-se que este estudo contribua significativamente para o fortalecimento da sustentabilidade em toda a cadeia de valor do vidro — desde fornecedores de matérias-primas até distribuidores, recicladores e demais elos. Ao aprofundar questões críticas, como logística reversa e os instrumentos da economia circular, este trabalho aspira fornecer subsídios para políticas públicas, estratégias empresariais e impactos positivos nos aspectos ambiental, econômico e social do setor vidreiro no Brasil.

Palavras-chave: Sustentabilidade; indústria do vidro; economia circular; logística reversa; cadeia de suprimentos.

ABSTRACT

FORTUNA, Diego Vedovato. **Sustainable practices and circular economy in the glass industry in Brazil**. 2025. 113 f. Dissertation (Master's in Sustainability) – School of Economics and Business (ECON) of the Pontifical Catholic University of Campinas, Campinas-SP, 2025.

The glass supply chain holds a strategic position in the economy, producing essential goods for construction, as well as the automotive, pharmaceutical, cosmetic, and several other industries. Although figures vary according to the source and market segment (flat glass, packaging, household products, etc.), Brazil's glass industry formally employs approximately 50 thousands workers in glass manufacturing and related articles. In economic terms, the Brazilian glass sector demonstrates substantial relevance both in production and in its recycling potential. Sectoral studies indicate an annual output of around 1.3 million tonnes of glass, spanning packaging, flat glass, and other industrial segments. Moreover, the glass recycling market generates significant value—estimated at approximately R$ 120 million per year—highlighting the economic and environmental importance of reverse logistics and circular economy practices. Recycling rates remain a critical challenge. Recent data show that roughly 25% of glass packaging is currently recycled in Brazil. Projections by the stewardship organization Circula Vidro suggest that properly certified collection could reach 30% of all glass packaging, an improvement compared to earlier figures of 11% reported in 2019 by SINIR, yet still below the rates achieved by developed countries. Against this backdrop, this study investigates the adoption of sustainable practices across Brazil's glass supply chain, identifying key challenges, barriers, and initiatives, with particular emphasis on reverse logistics and circular economy strategies. The research is classified as applied, with exploratory and descriptive objectives and a mixed-methods approach. It comprises stages: Literature review—conducted in recognized academic databases using keywords such as "sustainability," "circular economy," and "glass industry" to map the relevant academic production; documentary research—analyzing reports and official publications from glass manufacturers, especially those affiliated with ABIVIDRO, to identify formally declared sustainable practices; and semi-structured interviews—conducted with executives, managers, and workers in the glass industry. The interviews were structured based on the macro-objectives of the five axes of the National Circular Economy Plan (from establishing goals, standards and quantifiable indicators to monitor circularity to promoting actions to incorporate informal workers into circular value chains). Data were analyzed through content analysis for qualitative aspects and descriptive statistics for quantitative ones. Results are presented clearly and systematically. This study aims to contribute to strengthening sustainability throughout the entire glass value chain—from raw-material suppliers to distributors, recyclers, and other stakeholders. By deepening the discussion of critical issues such as reverse logistics and circular economy instruments, it aspires to support public policy development, corporate strategies, and positive environmental, economic, and social impacts within Brazil's glass sector.

Keywords: Sustainability; glass industry; circular economy; reverse logistics; supply chain.

TABELA DE QUADROS

Quadro 1 – Diferenças conceituais entre economia circular e logística reversa.....35
Quadro 2 – Síntese das dimensões de importância do setor vidreiro no Brasil.....47
Quadro 3 – Delineamento metodológico da pesquisa …….…….....58
Quadro 4 – Síntese comparativa dos Eixos 1 a 5 no setor vidreiro brasileiro.....85

TABELA DE FIGURAS

Figura 1 – Princípios básicos da EC 29
Figura 2 – Transição extração–produção–consumo–descarte 30
Figura 3 – Transformação de resíduos em recursos 31
Figura 4 – Frentes de mudança 31
Figura 5 – O ciclo infinito do vidro 55
Figura 6 – Setor vidreiro 89

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 14
1.2 Problema de pesquisa..... 15
1.3 Objetivos..... 15
1.3.1 Objetivo geral..... 15
1.3.2 Objetivos específicos..... 16
1.4 Justificativa..... 16
1.5 Estrutura do trabalho..... 16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 18
2.1 A evolução histórica do vidro..... 18
2.2 Sustentabilidade..... 21
2.2.1 Sustentabilidade aplicada ao vidro..... 21
2.3 Economia Circular..... 27
2.3.1 Economia circular e logística reversa: distinções conceituais..... 32
2.3.2 Economia circular no setor vidreiro..... 36
2.4 Políticas e iniciativas para a circularidade..... 38
2.4.1 Iniciativas públicas em escala global..... 39
2.4.2 Iniciativas públicas no Brasil..... 40
2.4.3 Iniciativas privadas vinculadas ao setor vidreiro..... 41
2.5 Barreiras e desafios para a circularidade..... 42
2.6 A importância do setor vidreiro no Brasil..... 43
2.6.1 Dimensão econômica..... 44
2.6.2 Dimensão social e territorial..... 44
2.6.3 Dimensão ambiental e climática..... 44
2.6.4 Dimensão tecnológica..... 45
2.6.5 Dimensão estratégica e sistêmica..... 45
2.7 Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC)..... 47
2.7.1 Contexto e gênese..... 47
2.7.2 Objetivos e diretrizes..... 48
2.7.3 Eixos estratégicos..... 49
2.7.4 Impactos para a indústria vidreira..... 50
2.8 Reciclagem do vidro no Brasil..... 52
2.8.1 Aspectos sobre a reciclagem do vidro..... 52

2.8.2 Eficiência energética e benefícios ambientais 53
2.8.3 Desafios logísticos e culturais 53
2.8.4 Inovações, usos alternativos e economia circular ampliada 54
3 METODOLOGIA 55
3.1 Tipo e abordagem da pesquisa 55
3.2 Delineamento geral do estudo 55
3.3 Universo e amostra 60
3.4 Instrumentos de coleta de dados 60
3.5 Procedimentos de coleta 61
3.6 Tratamento e análise dos dados 61
3.7 Limitações do método 62
3.8 Considerações éticas 62
4 RESULTADOS 64
4.1 Tamanho da cadeia de suprimentos do vidro no Brasil 64
4.2 Práticas sustentáveis no setor vidreiro brasileiro 68
4.3 Barreiras e obstáculos à plena circularidade 71
4.4 Resultados da pesquisa - Eixos 72
4.4.1 Eixo 1 – Metas, padrões e indicadores 72
4.4.2 Eixo 2 – Capacitação, pesquisa e inovação 75
4.4.3. Eixo 3 – Minimização de resíduos e logística reversa 76
4.4.4 Eixo 4 – Mecanismos financeiros e incentivos 78
4.4.5 Eixo 5 – Inclusão social e desenvolvimento regional 80
4.4.6 Síntese comparativa setorial do PLANEC (Eixos 1 a 5) 82
4.5 Síntese geral 89
5. CONCLUSÃO 90
REFERÊNCIAS 94

1. INTRODUÇÃO

O vidro é um material multifuncional que desempenhou um papel crucial no progresso humano, presente desde o primeiro milésimo de segundo de nossas vidas. Ele se destaca por sua versatilidade, transparência e durabilidade, sendo amplamente utilizado em diversos setores, como construção civil, indústria automotiva, indústria de medicamentos e cosméticos, indústria alimentícia e tecnologias de ponta. Para Macfarlane e Martin (2002), o vidro não é apenas um artefato, mas também um catalisador de inovações, influenciando áreas como ciência, arte e economia. O vidro é um dos materiais mais versáteis já conhecidos, combinando resistência química, transparência ótica e maleabilidade em temperaturas elevadas, características que o tornam indispensáveis para a ciência e indústria moderna (Schott, 1989). Macfarlane (2002) acrescenta que a transparência do vidro permitiu ao homem olhar além de suas limitações naturais, revolucionando até mesmo a espiritualidade e transformando a nossa percepção do universo.

Para Maia (1994) o vidro é um material singular que, por suas características únicas, desempenha um papel crucial na ciência e na tecnologia, permitindo avanços significativos em diversas áreas do conhecimento. A história do vidro está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento das civilizações, refletindo avanços tecnológicos e culturais que moldaram a humanidade ao longo dos séculos (Osório, 2009).

Boesen *et al.* (2019) destacam que o vidro é considerado um dos materiais mais determinantes na transição para uma economia circular, uma vez que parte considerável das embalagens são feitas com vidro e são consideradas mais sustentáveis. A problemática das embalagens e sua sustentabilidade são assuntos muito discutidos dentro da temática de gestão de resíduos (Boesen *et al*. 2019), e as embalagens de vidro são, no geral, percebidas como as mais sustentáveis entre os diferentes materiais (Van Dam; Van Trijp, 1994; Boesen *et al*. 2019). Apesar disso, em locais como o Brasil, as taxas de reciclagem ainda não refletem todo esse potencial. De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (ABIVIDRO), a taxa de reciclagem de vidro no Brasil é de aproximadamente 25%, enquanto em países mais desenvolvidos, como Suécia e Noruega, essas taxas chegam a 98%.

A indústria do vidro é um setor relevante da economia mundial, desempenhando um papel fundamental em diversas aplicações. Estima-se que a

produção anual chega a aproximadamente 200 milhões de toneladas em nível mundial contribuindo para uma receita que supera os US$ 130 bilhões (CONSELHO REGIONAL DE QUIMICA – 4. REGIÃO (SP), 2024). E como toda indústria relevante atualmente, a pressão para a adoção de práticas sustentáveis é grande e crescente, seja por legislação ou pressão espontânea da sociedade.

A busca da sustentabilidade é um desafio posto a toda a sociedade, e as empresas vidreiras podem desempenhar um papel de destaque na busca da sustentabilidade, pois o vidro é um material que permite a reciclagem infinitamente.

1.1 Problema de pesquisa

Portanto, existe a possibilidade de a indústria do vidro atingir a plena circularidade da sua economia, utilizando materiais 100% recicláveis para a produção do vidro e configurando-se uma verdadeira cadeia de suprimentos de ciclo fechado. Mas quais fatores dificultam a concretização dessa realidade? Quais os obstáculos e os entraves que impedem que a indústria do vidro atinja a plena circularidade de sua economia?

Diante dessa pergunta, entendemos que é necessário:

- Identificar e analisar os principais obstáculos e entraves encontrados pelas indústrias do segmento de vidros no Brasil para realizar a logística reversa, adotar práticas sustentáveis em suas operações e buscar a plena circularidade da sua economia utilizando o máximo de material reciclado possível.
- Avaliar as estratégias da indústria de vidro para alcançar a plena circularidade.

Inicialmente exploramos a trajetória histórica do vidro, desde sua origem até suas aplicações contemporâneas, com foco em sustentabilidade, práticas sustentáveis e economia circular.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como propósito analisar e identificar os principais obstáculos e desafios em termos de sustentabilidade para a economia circular na indústria do vidro.

1.2.2 Objetivos específicos

- Compreender o tamanho e a estrutura da indústria do vidro no Brasil.
- Mapear a cadeira de suprimentos do vidro.
- Identificar os principais aspectos e modelos aplicáveis à economia circular no setor vidreiro.
- Contribuir com diretrizes e propostas de ações estratégicas que mitiguem os obstáculos à circularidade do vidro na indústria, com base nas evidências obtidas na pesquisa.

1.3 Justificativa

Os resultados deste estudo poderão contribuir para o aumento da reciclagem de materiais, contribuindo para a economia como um todo, para sociedade, para a indústria do vidro e para o consumidor final.

1.4 Estrutura do trabalho

A introdução apresenta o tema central da pesquisa e contextualiza a problemática investigada, ressaltando a relevância do estudo para a indústria do vidro e para o debate contemporâneo sobre sustentabilidade. Nele, foram expostos o problema de pesquisa, o objetivo geral, os objetivos específicos e a justificativa do trabalho. O capítulo também apresenta a estrutura da dissertação, a fim de orientar o leitor quanto ao percurso adotado.

A Fundamentação Teórica, apresentada no capítulo seguinte, oferece os conceitos, os referenciais e as políticas que embasam a análise realizada nesta dissertação, estabelecendo o alicerce necessário para a compreensão dos resultados obtidos.

Na sequência, apresenta-se a base conceitual necessária para a compreensão do estudo. Inicia com um panorama histórico sobre a evolução do vidro e seu papel no desenvolvimento econômico e tecnológico. Em seguida, apresenta os conceitos de sustentabilidade e sua aplicação à indústria vidreira, com destaque para a economia circular e suas implicações para o setor.

Foram analisadas, ainda, as políticas públicas e iniciativas voltadas à circularidade do vidro, com ênfase no Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC), lançado recentemente e considerado um dos eixos centrais desta dissertação. Apresentamos o conceito, a gênese, os objetivos e as diretrizes do

PLANEC, bem como seus eixos estratégicos e os impactos potenciais para a cadeia produtiva do vidro. Por fim, discutimos a reciclagem do vidro no Brasil e os desafios logísticos, culturais e estruturais que ainda limitam o avanço da circularidade plena no setor.

Posteriormente, descrevemos o percurso metodológico adotado na pesquisa, estruturado em três seções:

- Caracterização geral da pesquisa, com a definição da abordagem, do tipo e do delineamento do estudo.
- Técnicas e instrumentos de coleta de dados, detalhando os procedimentos utilizados para a obtenção das evidências.
- Plano de análise dos dados, explicitando os métodos empregados para interpretar as informações coletadas.

Essa organização assegurou clareza, transparência e replicabilidade, fortalecendo a confiabilidade dos resultados.

Os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia mostram uma análise sobre o tamanho e a estrutura da cadeia de suprimentos do vidro no Brasil, as práticas sustentáveis identificadas no setor e os principais obstáculos à circularidade.

Os resultados foram organizados de acordo com os cinco eixos estratégicos do PLANEC, permitindo uma visão integrada entre as políticas públicas e a realidade operacional da indústria vidreira. O capítulo encerra-se com uma síntese geral, que destaca os principais achados e oferece subsídios para a análise final.

Nas considerações finais do trabalho, são retomados os objetivos propostos e discutidas as contribuições do estudo para o fortalecimento da economia circular no setor vidreiro. Também se registram as limitações da pesquisa e as recomendações para futuras investigações acadêmicas e para o aprimoramento de políticas públicas e práticas empresariais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A evolução histórica do vidro

A história do vidro é rica e multifacetada, remontando a milênios e atravessando diversas civilizações. Segundo Alves, Gimenez e Mazali (2001), a descoberta do vidro é frequentemente atribuída a mercadores fenícios (por volta de 5.000 a.C). Segundo relatos do historiador romano Plínio, esses mercadores, ao fazerem uma fogueira na praia utilizando blocos de nitrato de sódio para apoiar suas panelas, observaram a fusão do nitrato com a areia, resultando em um líquido transparente que, ao esfriar, solidificou-se em vidro.

Giovanni (1992) ressalta que os povos fenícios eram grandes navegadores, e que, por terem tais características, puderam difundir a descoberta do vidro rapidamente. Inicialmente usado para criação de pequenos ornamentos, como vasos, copos e jarras, passou a exercer a função de espelhos e produção de vitrais. Esses vários usos foram descobertos por diferentes civilizações que entraram em contato com esse material singular.

Shelby (2005) complementa que os primeiros pedaços de vidros utilizados pelo homem foram encontrados na natureza. Eles eram utilizados para produzir materiais cortantes, como, por exemplo, facas, pontas de flechas, entre outros. As propriedades desses vidros naturais fizeram com que, em pouco tempo, o vidro alcançasse alto valor, a ponto de egípcios antigos o considerarem um material precioso, sendo encontrado nos túmulos dos antigos Faraós. Estudos feitos pela ABIVIDRO sugerem que os artistas a serviço dos faraós da 18ª Dinastia conheciam a fórmula de uma pasta de vidro maleável, com a qual faziam contas de vidro e adornos pessoais. Algumas dessas peças foram encontradas em perfeito estado de conservação, no sarcófago de Tutancamon.

Ao descobrir a grande utilidade dos vidros produzidos naturalmente, o homem primitivo iniciou seus estudos sobre o material a fim de produzir vidro em grande escala.

De acordo com a ABIVIDRO, os egípcios foram os primeiros a utilizar o vidro na fabricação de embalagens (vasilhas abertas como jarros e tigelas), também produziam recipientes para cosméticos, bálsamo e frascos para perfumes. Entre eles, o mais comum era o alabastro, primeiro em forma de tubo, depois em moldes curvos, com duas pequenas alças, no estilo de ânfora grega. No alabastro guardava-se o col, tintura para escurecer as pálpebras e realçar o brilho dos olhos, utilizado por homens

e mulheres da antiguidade em todo o Oriente. Na Mesopotâmia, onde foram encontrados vidros com 4 mil anos de existência, a produção de melhor qualidade aparece no século VIII a. C., com peças assírias. Um vaso foi encontrado na urna funerária do rei Sargon II, que reinou na Assíria entre 701-705 a.C. Nas tabuinhas de Assurbanipal (668-626 a.C.) descobertas em Nínive, há referências às fórmulas de fabricação de vidro, em código apenas recentemente decifrado. Na Grécia dos tempos micênicos, foram encontrados vasos de vidro manufaturados com técnicas egípcias.

Segundo o artigo *O vidro e sua importância na vida e na química*, de Wladmir Teodoro da Silva e Carlos A. L. Filgueiras, publicado na revista Química Nova, o vidro soprado foi uma grande conquista, tendo surgido no Oriente Próximo. Estudos realizados pela ABIVIDRO afirmam que o grande centro produtor de vidro soprado foi a Síria, possivelmente com a intervenção de artesãos fenícios. A descoberta da técnica do sopro (fabricação de vidro oco: garrafas, potes, copos, bulbos, etc.) na Síria e em Alexandria, quando Roma já estendia seu domínio sobre o Oriente Médio, marca um grande momento na história do vidro. Por volta dos anos 100-200 a.C., os romanos iniciaram a produção de vidro por sopro dentro de moldes prensados, aumentando em muito a possibilidade de fabricação em série das manufaturas (vasilhas simples e objetos requintados de arte). Eles foram os primeiros a inventar e usar o vidro para janelas.

Um desenvolvimento importante na arte de fazer objetos de vidro deu-se por volta de 200 a.C., quando artesãos sírios desenvolveram a técnica de sopragem. Data dessa época também, a utilização de moldes de madeira para a produção de peças de vidro padronizadas. Entretanto, a idade do luxo do vidro foi o período do Império Romano. A qualidade e o refinamento da arte de trabalhar com vidro permitiam criar joias e imitações perfeitas de pedras preciosas (Alves; Gimenez; Mazali, 2001).

Alves, Gimenez e Mazali (2001) afirmam que os primeiros vidros incolores, só foram obtidos por volta de 100 d.C., em Alexandria, graças à introdução de óxido de manganês nas composições e melhoramentos importantes nos fornos, como a produção de altas temperaturas e o controle da atmosfera de combustão, os quais tiveram relevante influência sobre a qualidade dos vidros e permitiram uma fusão mais eficiente dos materiais constituintes.

Durante o Império Romano, houve um grande desenvolvimento dessa atividade, com apogeu no século XIII, em Veneza. A presença de fornos naquela cidade era causa de constantes incêndios, assim, um decreto de 1291 concentrou as

fábricas na ilhota de Murano (entre o mar Adriático e as encostas Alpinas na Itália). Esse decreto, além de isolar os fornos para maior segurança, possibilitava uma rígida vigilância para evitar que os segredos da arte do vidro saíssem dessa região.

De acordo com a ABIVIDRO, a França já fabricava o vidro desde a época dos romanos. Com a iniciativa de Colbert (ministro das finanças de Luís XIV), incrementaram-se as atividades comerciais e foi criado o privilégio para várias empresas privadas, aumentando impostos sobre produtos importados. Em 1665, concedeu-se à Manufacture Royale des Glaces o privilégio para a fabricação do vidro escoado, dando origem à Saint-Gobain, empresa que contou com incentivos protecionistas a seu favor, como os pesados impostos sobre os cristais provenientes de Veneza. A Saint-Gobain introduziu, em 1700, em sua fábrica, um processo de laminação de vidro plano desenvolvido por Louis Lucas Nehon. Esse processo consiste em correr um rolo sobre o vidro despejado sobre uma mesa, permitindo a produção de grandes placas de vidro. O cristal escoado ou vidro plano foi o produto que, por três séculos, caracterizou a Saint-Gobain.

Em 1952, o Sr. Pilkington, dono de uma das fábricas de vidro da Inglaterra, iniciou as pesquisas sobre a fabricação do vidro que apresentassem um melhor equilíbrio entre suas faces, quando passou pela pia da cozinha e vislumbrou que a água e o óleo não se misturavam, mantendo cada um suas características próprias. Assim, em 1959, a empresa Pilkington desenvolveu um processo revolucionário para fabricação de vidro plano, o float glass. Esse processo consistiu no vidro fundido flutuar de forma contínua em um banho de estanho, que assegura perfeita planicidade à face do vidro em contato com o metal. Pelo efeito do seu próprio peso e do calor, a face superior torna-se perfeitamente plana, polida e com espessura uniforme. Com a tecnologia patenteada pela empresa (única com estrutura familiar entre as quatro líderes mundiais), ela não monopolizou seu acesso, mas acabou por licenciar sua utilização a um elevado custo. A Pilkington tornou-se a maior produtora de float glass do mundo.

Na Renascença, mais especificamente no século XVII, houve um declínio da arte de fazer vidro, atribuído, em parte, ao aparecimento das técnicas de corte. Muitos artesãos venezianos da época expatriaram-se para a Alemanha, radicando-se nas florestas da Bavária e da Bohemia. Tais artesãos passaram a produzir o vidro de cor esverdeada que, depois de polido, recebia o nome de vidro florestal ou vidro da floresta, do alemão, Waldglas (Alves; Gimenez; Mazali, 2001).

2.2 Sustentabilidade

A sustentabilidade consolidou-se, nas últimas décadas, como um dos conceitos mais relevantes e complexos do debate contemporâneo sobre desenvolvimento. Ela perpassa áreas distintas — da gestão empresarial às políticas públicas, da ecologia às ciências sociais — e se tornou um verdadeiro paradigma civilizatório. Sua importância cresce em um contexto marcado por mudanças climáticas, pressões demográficas, crises de biodiversidade e desigualdades socioeconômicas persistentes, elementos que exigem novas formas de pensar as relações entre sociedade e natureza.

Para Barbieri (2011), a sustentabilidade pode ser entendida como a capacidade de sistemas socioecológicos se manterem no tempo, garantindo a disponibilidade de recursos naturais para as gerações presentes e futuras, ao mesmo tempo que promove equidade social e equilíbrio ambiental. Esse conceito reforça a necessidade de considerar as interações entre sociedade e natureza como fator essencial para o desenvolvimento. De acordo com Elkington (1997), a sustentabilidade empresarial é frequentemente associada ao conceito do “tripé da sustentabilidade”, que integra as dimensões econômica, social e ambiental. Esse modelo, também chamado de Triple Bottom Line, sugere que o sucesso de uma organização deve ser medido por sua capacidade de equilibrar essas três dimensões, sendo indispensável para um desenvolvimento sustentável no longo prazo.

Sachs (1993) complementa que a sustentabilidade exige uma abordagem multissetorial e intertemporal, permitindo o desenvolvimento humano em harmonia com o meio ambiente. Para o autor, essa perspectiva amplia o papel da justiça social e da eficiência econômica, mostrando que o equilíbrio entre essas dimensões é fundamental para a preservação do planeta. Santos (2004) acrescenta que a sustentabilidade implica responsabilidade coletiva em relação ao futuro, sendo necessária a busca constante pelo equilíbrio entre crescimento econômico, preservação ambiental e inclusão social. Essa visão dialoga com o conceito de “globalização consciente” apresentado pelo autor, na qual as relações humanas e naturais devem ser pensadas em conjunto.

O Relatório Brundtland (WCED, 1987) tornou-se um marco conceitual ao definir desenvolvimento sustentável como aquele que “atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades”. Esse documento consolidou a intergeracionalidade como princípio

central da sustentabilidade e embasou tratados ambientais, acordos multilaterais e a formulação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (UNITED NATIONS, 2015). No mesmo sentido, Meadows *et al*. (1972), em *The Limits to Growth*, reforçaram a necessidade de repensar o crescimento econômico, argumentando que o uso dos recursos deve respeitar a capacidade de regeneração dos ecossistemas, sob risco de colapso ambiental.

Leff (2001) posiciona a sustentabilidade como paradigma emergente diante da crise ambiental global, defendendo o ecodesenvolvimento e a justiça ambiental. Para Veiga (2010), sua viabilidade depende de políticas públicas que articulem ciência, inovação e participação social. Em perspectiva sistêmica, Capra (1982) sustenta que todas as formas de vida estão interconectadas em redes dinâmicas que exigem equilíbrio, enquanto Morin (2000) argumenta que os problemas ambientais e sociais só podem ser compreendidos a partir da complexidade, ultrapassando análises fragmentadas.

Autores pioneiros, como Carson (1962), Silent Spring e Brown (2003), ao problematizar a degradação ambiental como desafio civilizatório, reforçam que a sustentabilidade não se limita a proteger a natureza, mas exige novos princípios éticos de convivência. Guattari (1990), por sua vez, amplia o conceito ao propor a inclusão da “ecologia subjetiva”, que incorpora dimensões culturais e afetivas à sustentabilidade.

Nesse cenário, três autores contemporâneos ampliaram o alcance e a profundidade das discussões. Jianguo “Jack” Liu (2018) propõe o conceito de metacoupling, explicando como fluxos de pessoas, bens, capital e informação interligam sistemas humanos e naturais em escala global. Sua abordagem mostra que a sustentabilidade precisa considerar simultaneamente dinâmicas locais e internacionais, conectando consumo, comércio e impactos ambientais. Carl Folke (2016), por sua vez, desenvolve a teoria da resiliência socioecológica, evidenciando a capacidade de sistemas em se adaptar a perturbações e manter suas funções essenciais. Seu trabalho demonstra que sustentabilidade não significa estabilidade absoluta, mas a habilidade de se regenerar e se transformar diante de crises ambientais. Já Johan Rockström, em colaboração com Steffen *et al.* (2009), introduziu o conceito dos Planetary Boundaries, que estabelece limites biofísicos fundamentais — como clima, biodiversidade e ciclos de nitrogênio e fósforo —, além dos quais a humanidade arrisca comprometer a estabilidade do sistema terrestre. Essa estrutura

tornou-se referência global e fundamenta políticas públicas, relatórios internacionais e estratégias empresariais.

A incorporação desses autores atuais complementa a visão histórica e teórica já consolidada, reforçando que a sustentabilidade deve ser pensada como um campo interdisciplinar e multiescalar. Enquanto Carson, Sachs e Elkington trouxeram conceitos fundacionais, Liu, Folke e Rockström atualizam o debate, trazendo ferramentas analíticas e referenciais que permitem compreender e enfrentar os desafios contemporâneos. Essa complementaridade mostra que a sustentabilidade é um campo em constante evolução, no qual o diálogo entre perspectivas clássicas e recentes é indispensável.

Ao relacionar esses conceitos com setores industriais específicos, observa-se que a sustentabilidade transcende a teoria e alcança práticas concretas. Indústrias de base, como a do vidro, são especialmente relevantes nesse debate. Trata-se de um setor que, ao mesmo tempo, apresenta forte intensidade energética e desafios ambientais, mas também potencial de circularidade elevado, dada a reciclabilidade praticamente infinita do vidro. Nesse sentido, a sustentabilidade aplicada ao vidro não se restringe a minimizar impactos, mas envolve integrar inovação, logística reversa, economia circular e governança ambiental em um modelo sistêmico. A análise desse setor revela, de forma prática, como os princípios discutidos por Barbieri, Elkington, Liu, Folke e Rockström podem orientar estratégias capazes de equilibrar competitividade econômica, responsabilidade socioambiental e limites planetários.

Assim, este texto consolida as bases conceituais da sustentabilidade, articulando contribuições clássicas e contemporâneas e destacando sua transversalidade. No próximo tópico — “Sustentabilidade e Vidro” — a discussão será aprofundada no contexto da indústria vidreira, apresentando como esses referenciais teóricos podem ser aplicados a uma cadeia produtiva específica, seus desafios e oportunidades rumo à circularidade.

2.2.1 Sustentabilidade aplicada ao vidro

A sustentabilidade na indústria vidreira está diretamente relacionada à redução de impactos ambientais e ao aumento da eficiência no uso de recursos. De acordo com Scalet *et al*. (2013), o uso de cacos de vidro reciclados no processo de fusão é uma das principais práticas sustentáveis, reduzindo o consumo energético e a emissão de gases de efeito estufa. Essa abordagem também diminui a extração de

matérias-primas virgens, preservando os recursos naturais e reduzindo os resíduos industriais. A Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (ABIVIDRO, 2022) reforça que cada tonelada de cacos de vidro utilizada na produção permite economizar cerca de 1,2 tonelada de matérias-primas virgens, como areia, calcário e barrilha. Além disso, a inclusão de 10% de cacos no processo de fusão gera uma redução média de 3% no consumo de energia, representando uma das estratégias mais eficazes de mitigação de impactos ambientais na indústria.

Na União Europeia, segundo dados da European Container Glass Federation (FEVE, 2020), a média de cacos utilizados já ultrapassa 50% do total da mistura, enquanto algumas fábricas chegam a operar com índices superiores a 90%. Esse cenário demonstra o potencial da reciclagem do vidro para tornar a indústria mais alinhada às metas de neutralidade de carbono. No Brasil, a realidade ainda apresenta desafios, mas a tendência é de crescimento, à medida que políticas públicas e programas de logística reversa avançam.

A reciclagem de vidro desempenha um papel crucial na promoção da sustentabilidade ambiental. Conforme destacado por Belançon *et al*. (2021), o vidro representa cerca de dois terços do peso dos painéis solares de silício cristalino. A recuperação dessas lâminas ao final da vida útil dos painéis pode reduzir significativamente o impacto ambiental da indústria fotovoltaica, economizando energia e diminuindo as emissões de carbono associadas à produção de vidro novo. Gao *et al*. (2019) reforçam que o vidro recuperado mantém suas propriedades químicas e mecânicas, permitindo reutilização quase ilimitada, o que o torna estratégico não apenas para embalagens, mas também para setores emergentes como energia solar e construção sustentável. Essa discussão conecta a sustentabilidade do setor do vidro ao avanço da transição energética global, evidenciando que se trata de um insumo-chave para a descarbonização de diversas cadeias produtivas.

O controle das emissões atmosféricas é igualmente crucial. Tecnologias como filtros de partículas e sistemas de abatimento para óxidos de enxofre (SOx) e nitrogênio (NOx) são amplamente recomendadas e vêm sendo implementadas em escala industrial (Scalet *et al*., 2013). Segundo relatório da Glass Alliance Europe (2021), a modernização de fornos com tecnologias de combustão híbrida (gás natural e eletricidade) e o desenvolvimento de fornos totalmente elétricos são tendências promissoras para reduzir em até 60% as emissões de CO_2. Essas inovações dialogam

diretamente com os limites planetários descritos por Rockström *et al.* (2009), uma vez que a indústria vidreira, ao reduzir suas emissões, contribui para manter o aquecimento global dentro de margens seguras para o sistema terrestre.

Outra iniciativa sustentável destacada por Scalet *et al*. (2013) é o reaproveitamento de calor residual gerado no processo de fusão, que pode ser usado para pré-aquecer materiais ou como fonte de energia em outras etapas produtivas. Essa medida reduz significativamente o consumo energético total e contribui para a transição para uma economia mais circular, com menos desperdícios e maior eficiência. No Brasil, iniciativas relatadas pela ABIVIDRO (2022) demonstram que algumas indústrias já implementam sistemas de recuperação de calor para aquecimento de água ou para uso em processos auxiliares, reduzindo a dependência de energia externa.

Outro ponto central é a logística reversa. No Brasil, o setor vidreiro se destaca por ter instituído programas de coleta em parceria com cooperativas de catadores e pontos de entrega voluntária. Esses arranjos institucionais contribuem para elevar a taxa de reciclagem, ainda em torno de 30%, para níveis mais próximos dos países desenvolvidos (ABIVIDRO, 2022). Países como Alemanha e Suíça já atingiram taxas superiores a 90% (EUROSTAT, 2021), evidenciando que políticas públicas robustas, aliadas à conscientização da sociedade, são determinantes para o sucesso da circularidade do vidro. A perspectiva de resiliência socioecológica, proposta por Folke (2016), ajuda a compreender que o sucesso da reciclagem depende não apenas da infraestrutura tecnológica, mas também da capacidade das comunidades e sistemas sociais se adaptarem, se organizarem e inovarem diante de desafios ambientais.

Estudos recentes de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) reforçam essa importância. Boesen *et al*. (2019) demonstram que garrafas de vidro retornáveis apresentam impacto ambiental significativamente menor que garrafas descartáveis de uso único, sobretudo quando circulam em sistemas de reúso locais e eficientes. Da mesma forma, Landi *et al*. (2019) apontam que a incorporação de cacos reciclados em embalagens de bebidas reduz emissões, custos e dependência de matérias-primas virgens. Kral *et al*. (2020) avançam ao analisar a circularidade do vidro em sistemas urbanos, destacando que a integração entre consumidores, cooperativas e empresas é condição essencial para reduzir perdas e elevar as taxas de reciclagem. Esses estudos indicam que a sustentabilidade no setor não depende apenas da

tecnologia industrial, mas também da articulação entre cadeias logísticas, regulação estatal e padrões de consumo.

Do ponto de vista econômico, o reaproveitamento de cacos contribui para a competitividade da indústria. Segundo dados da ABIVIDRO (2022), o custo de fusão pode ser reduzido em até 20% quando há elevada proporção de vidro reciclado no processo. Essa prática gera externalidades positivas, tanto ambientais quanto econômicas, ao reduzir a pressão sobre aterros sanitários e minimizar os impactos da extração mineral. Dinkel *et al.* (2021) reforçam que empresas que investem em reciclagem de vidro apresentam não apenas ganhos de eficiência, mas também valorização de sua imagem corporativa, o que fortalece estratégias ESG e agrega valor de mercado.

A sustentabilidade no setor vidreiro também se conecta a tendências globais de inovação. Relatórios internacionais indicam que pesquisas estão sendo conduzidas em três frentes principais: (i) desenvolvimento de fornos elétricos movidos a energias renováveis, (ii) aprimoramento da coleta seletiva com sistemas ópticos avançados, e (iii) design de embalagens mais leves e resistentes, que utilizam menos material sem comprometer a qualidade (Feve, 2020; Glass Alliance Europe, 2021). Essa transformação tecnológica dialoga com a noção de metacoupling apresentada por Liu *et al*. (2015), uma vez que os fluxos de materiais, energia e informação que atravessam fronteiras nacionais impactam diretamente as estratégias de sustentabilidade da indústria global do vidro.

Portanto, a sustentabilidade na indústria vidreira deve ser compreendida como um esforço coletivo que envolve inovação tecnológica, gestão eficiente de resíduos, controle rigoroso de emissões e fortalecimento de políticas públicas. A integração de práticas, como a reciclagem de cacos, o reaproveitamento energético, a logística reversa e a transição para fornos menos emissores, evidenciam o papel central do vidro na construção de uma economia circular. Mais do que um material de “ciclo infinito”, o vidro se consolida como um agente estratégico da sustentabilidade global, presente em múltiplas cadeias produtivas e cada vez mais alinhado às metas de desenvolvimento sustentável.

O debate sobre sustentabilidade e vidro conduz naturalmente ao tema da economia circular. Enquanto a sustentabilidade fornece o arcabouço conceitual e normativo, a economia circular propõe instrumentos práticos para sua operacionalização. No caso do vidro, trata-se de uma aplicação exemplar, pois o

material pode ser infinitamente reciclado sem perda de qualidade, constituindo-se em um dos melhores casos de fechamento de ciclo produtivo. O próximo tópico, portanto, aprofundará o conceito de economia circular, analisando suas origens, fundamentos e sua aplicabilidade direta ao setor vidreiro.

2.3 Economia Circular

A economia circular (EC) pode ser definida como um sistema econômico que mantém sistematicamente um fluxo circular de recursos, regenerando, retendo ou agregando valor a esses recursos, para o desenvolvimento sustentável (ISO, 2021). Para Lieder e Rashid (2016), a EC apresenta uma abordagem sistemática para enfrentar os desafios da escassez de recursos, impactos ambientais e desenvolvimento econômico.

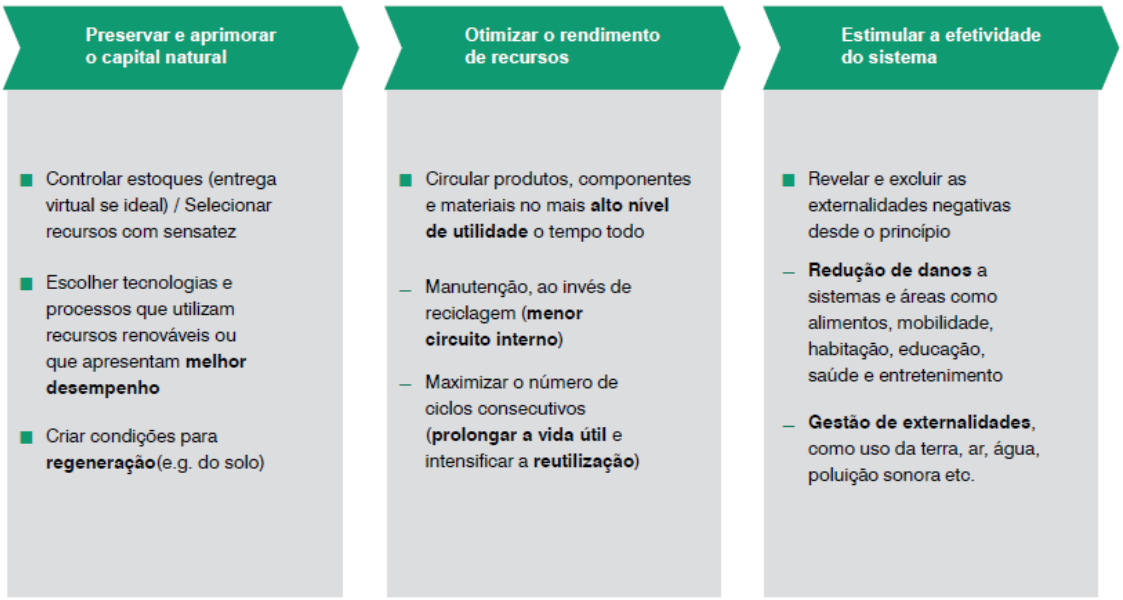
A economia circular surge como um modelo que visa manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo (Ellen Macarthur Foundation, 2013). Para Saavefra *et al*. (2018), a EC representa uma opção viável para países, governos, universidades e sociedade ao transformar os processos lineares em fluxos circulares, gerando melhores benefícios sustentáveis. Geissdoerfer *et al*. (2017) reforçam que a compreensão contemporânea do conceito evoluiu para incorporar diferentes características e contribuições de uma variedade de paradigmas relacionados, todos convergindo na ideia de loops fechados.

Autores como Ribeiro e Kruglianska (2014) complementam que a EC busca maximizar a utilidade e o valor dos materiais utilizados na produção, reduzindo a emissão de resíduos e gerando benefícios econômicos e ambientais. Entretanto, como observam Kirchherr, Reike e Hekkert (2017), ainda há diferentes interpretações do conceito: algumas centradas em inovação tecnológica, outras em mudanças institucionais e culturais. Essa polissemia demonstra a riqueza, mas também os desafios, da implementação prática da economia circular.

O conceito de cradle to cradle, ou “do berço ao berço”, antecede a EC e inspira seu desenvolvimento. Proposto por Braungart e McDonough (2022), enfatiza a criação de produtos e processos desenhados para não gerar rejeitos, mas sim nutrientes técnicos ou biológicos que retornam ao ciclo produtivo. Essa perspectiva amplia a noção tradicional de reciclagem, propondo um redesenho radical das cadeias produtivas.

A EC estrutura-se em três princípios básicos: (i) conservar e valorizar o capital natural, priorizando recursos renováveis e regenerando ecossistemas; (ii) maximizar a eficiência no uso de recursos, assegurando que os materiais mantenham sua utilidade pelo maior tempo possível; e (iii) melhorar a eficácia do sistema, eliminando externalidades negativas. Esses princípios são ilustrados na Figura 1 (ADVISIA OC&C Strategy Consultants).

Figura 1 – Princípios básicos da EC



Fonte: ADVISIA OC&C Strategy Consultants.

Entre as características típicas da EC estão: redesenho de processos e produtos, novos modelos de negócios, extensão da vida útil de materiais, reúso, remanufatura, reciclagem e regeneração (Ellen Macarthur Foundation, 2013). Para Ghisellini *et al*. (2016), as perspectivas da EC são atraentes porque combinam ganhos ambientais e econômicos, gerando emprego e competitividade. Lieder e Rashid (2016) acrescentam que essa transição requer mudanças estruturais profundas em indústrias, governos e padrões de consumo.

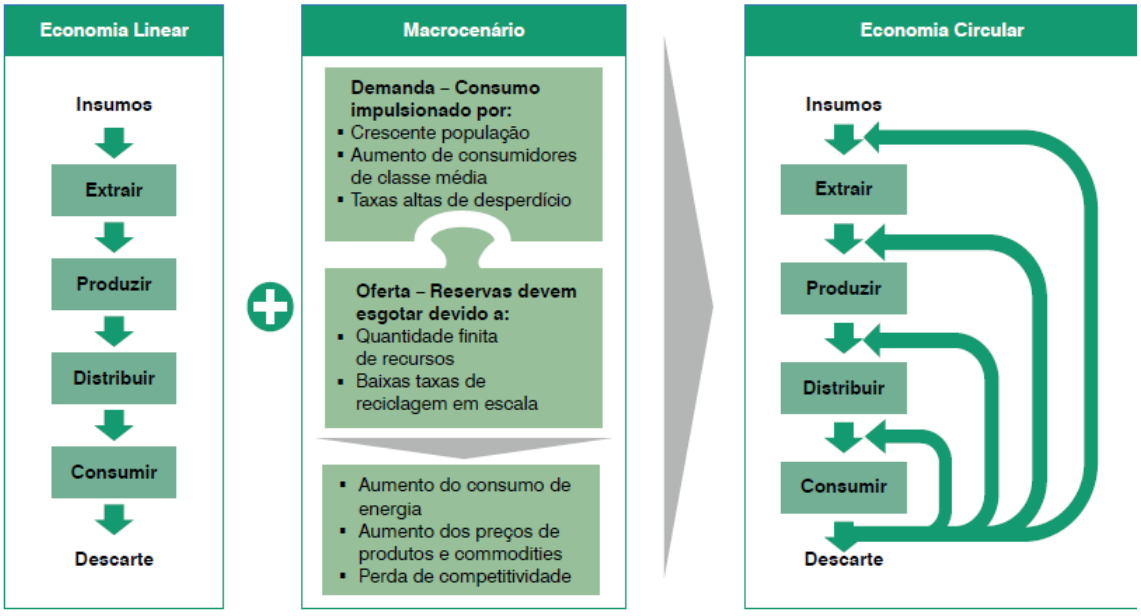
Segundo Kovacic *et al*. (2020), a narrativa da economia circular constitui um discurso poderoso de futuro sustentável, sendo uma reformulação positiva de alertas anteriores, como os do Relatório The Limits to Growth (Meadows *et al*., 1972). Essa dimensão discursiva explica em parte por que a EC tornou-se pauta recorrente em

políticas públicas internacionais, estratégias empresariais e programas de inovação tecnológica.

A crítica de Korhonen, Honkasalo e Seppälä (2018) lembra, contudo, que a EC não deve ser romantizada: sua implementação exige superar barreiras tecnológicas, econômicas e culturais, além de lidar com limites biofísicos destacados por Rockström *et al.* (2009) no conceito de planetary boundaries. Nesse sentido, a EC só cumpre sua promessa quando articulada a princípios de sustentabilidade forte, respeitando a resiliência socioecológica descrita por Folke (2016) e os fluxos interconectados estudados por Liu *et al*. (2015) em sua abordagem de metacoupling.

O modelo linear predominante desde a Revolução Industrial, baseado na sequência extração–produção–consumo–descarte (take-make-dispose), gera resíduos inevitáveis que crescem na mesma proporção do consumo. A EC vem sendo promovida globalmente como alternativa capaz de minimizar esses impactos e maximizar a utilidade dos materiais por meio da regeneração e restauração (Ellen Macarthur Foundation, 2016). Essa transição é sintetizada na Figura 2.

Figura 2 – Transição extração–produção–consumo–descarte

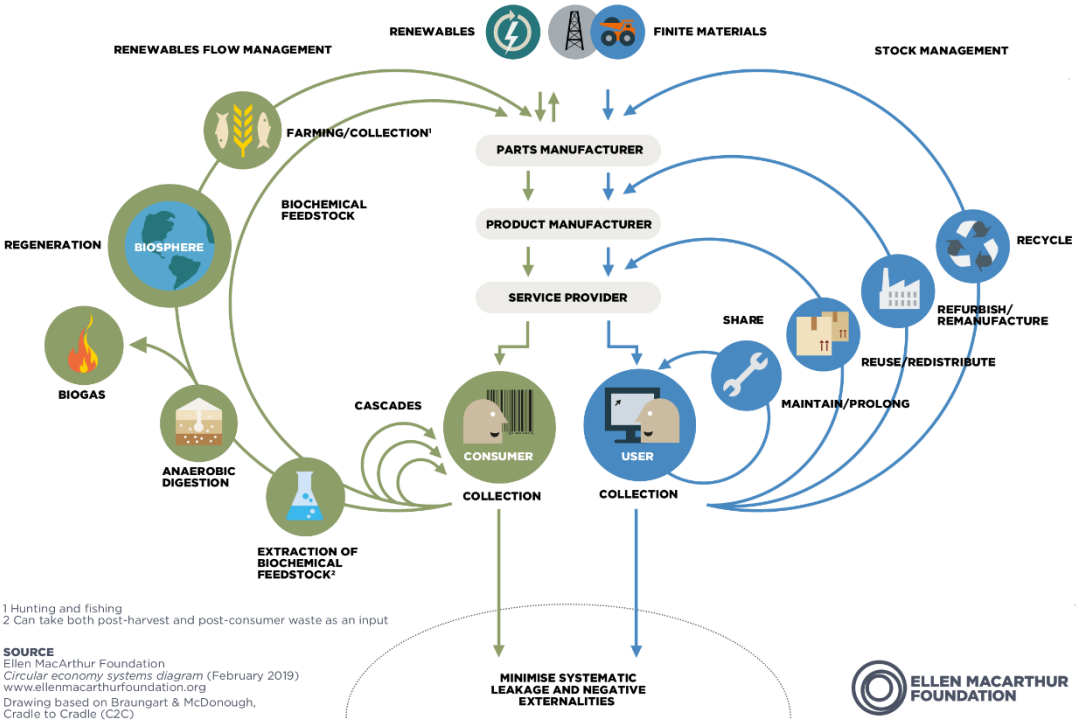


Fonte: ADVISIA OC&C Strategy Consultants.

As pesquisas recentes confirmam a necessidade dessa transição. Estudos de Berardi e Dias (2018), Lourenço e Chiaramonti (2007), Morseletto (2020) e Schaubroeck (2018) demonstram os efeitos nocivos do modelo linear na saúde

pública, no esgotamento de recursos e na degradação ambiental. A EC, ao contrário, propõe transformar resíduos em recursos, conforme representado no “diagrama borboleta” da Ellen MacArthur Foundation, reproduzido na Figura 3.

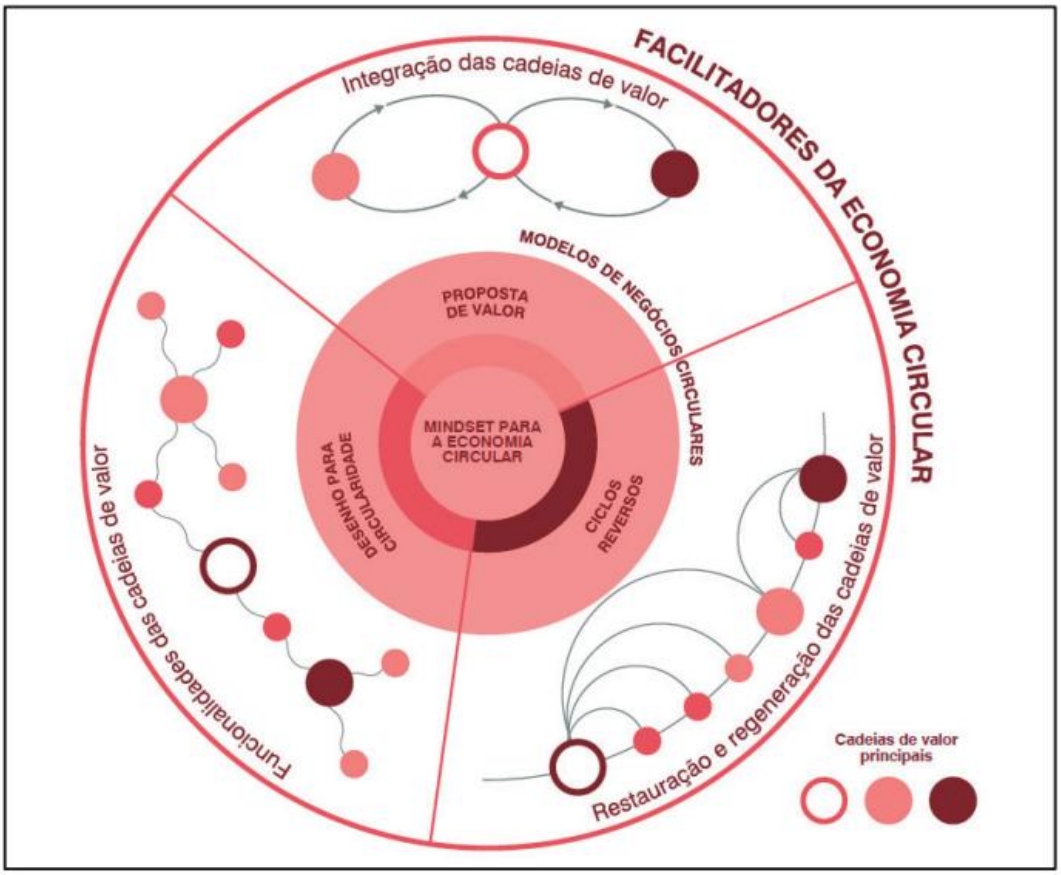
Figura 3 – Transformação de resíduos em recursos



Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2015).

No Brasil, a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2018) propõe que a transição para a EC comece pela mudança de mindset. O novo modelo mental organiza-se em três frentes: ciclos reversos, design para a circularidade e redefinição da proposta de valor. Esse arcabouço é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Frentes de mudança



Fonte: CNI (2018).

Essa visão amplia a abordagem clássica dos “3Rs” (reduzir, reutilizar, reciclar) e propõe repensar radicalmente o design de produtos: eliminar resíduos e poluição desde a concepção, manter produtos em uso pelo maior tempo possível e recuperar materiais como recursos secundários. Prieto-Sandoval, Jaca e Ormazabal (2018) destacam que a EC, além de instrumento de gestão de resíduos, deve ser entendida como estratégia de inovação, política industrial e transformação cultural.

Para Ribeiro (2020), a EC oferece novas perspectivas para a gestão de resíduos sólidos, incentivando modelos de negócio baseados em compartilhamento, modularidade e reúso, bem como sistemas de logística reversa e formulações de produtos mais recicláveis. Park e Chertow (2014) reforçam que a valorização dos resíduos no design de produtos fecha o ciclo produtivo, aumentando a eficiência sistêmica.

Assim, a economia circular configura-se como um paradigma indispensável para a sustentabilidade contemporânea, articulando inovação tecnológica, políticas públicas, estratégias empresariais e engajamento social. No setor vidreiro, em

particular, a EC encontra terreno fértil: trata-se de um dos poucos materiais 100% e infinitamente recicláveis, que pode ser reinserido continuamente nos ciclos produtivos sem perda de qualidade.

O debate sobre economia circular fornece a base teórica e conceitual para compreender as transformações necessárias nos sistemas produtivos e de consumo. Contudo, no ambiente acadêmico e corporativo, ainda existe considerável confusão entre o conceito de economia circular e o de logística reversa. Embora ambos estejam relacionados à gestão eficiente de materiais e resíduos, tratam de dimensões distintas e complementares. No próximo tópico — Diferenças Conceituais entre Economia Circular e Logística Reversa — serão discutidas essas fronteiras conceituais, destacando suas aplicações práticas na indústria e suas implicações para o desenvolvimento sustentável.

2.3.1 Economia circular e logística reversa: distinções conceituais

Embora frequentemente tratados como conceitos complementares, economia circular e logística reversa não são sinônimos. Ambos compartilham o objetivo de minimizar resíduos e promover o reaproveitamento de materiais, mas divergem em escopo, abordagem e propósito estratégico dentro das cadeias produtivas. Essa confusão é comum tanto no meio acadêmico quanto no ambiente corporativo, especialmente em setores industriais, como o vidreiro, nos quais práticas de coleta, reciclagem e reaproveitamento se sobrepõem a iniciativas mais amplas de transformação de modelo econômico.

Segundo Leite (2009), a logística reversa refere-se ao conjunto de procedimentos e meios logísticos destinados a viabilizar a coleta, o transporte e o processamento de produtos pós-consumo, visando sua reintegração aos ciclos produtivos ou descarte ambientalmente adequado. Trata-se, portanto, de uma ferramenta operacional dentro da cadeia de suprimentos, voltada principalmente ao fluxo reverso de materiais — como embalagens, peças defeituosas ou produtos obsoletos — e comumente motivada por obrigações legais ou iniciativas de responsabilidade corporativa.

Ballou (2006) reforça que a logística reversa surgiu como uma extensão da logística tradicional, agregando valor por meio da recuperação de produtos e embalagens. Outros autores, como Rogers e Tibben-Lembke (1999), destacam que a

logística reversa ganhou relevância principalmente em razão de pressões ambientais, legislações específicas e pela possibilidade de reduzir custos associados ao descarte, ao mesmo tempo em que abre novas oportunidades de mercado por meio do reaproveitamento de produtos e materiais.

Por sua vez, a economia circular, como conceituada pela Fundação Ellen MacArthur (2013), representa uma estratégia sistêmica para redesenhar a economia, substituindo o modelo linear tradicional (“extrair, produzir, descartar”) por um modelo regenerativo e restaurativo. Seus princípios básicos incluem: (i) a eliminação de resíduos e poluição desde o design do produto; (ii) a manutenção de materiais e produtos em uso pelo maior tempo possível; e (iii) a regeneração de sistemas naturais. Nessa perspectiva, a economia circular não se limita ao fluxo reverso de produtos, mas propõe um redesenho completo das cadeias produtivas e dos modelos de negócio.

A diferença fundamental, portanto, está no alcance dos conceitos: enquanto a logística reversa é instrumental e logística, a economia circular é estratégica e sistêmica. A logística reversa é uma das engrenagens que viabilizam a circularidade, mas a economia circular exige redesign de produtos, novos modelos de negócios e transformações nas relações de consumo. Bocken, Bakker e Pauw (2016) acrescentam que a economia circular está relacionada à inovação de modelos de negócio, mudanças culturais e novos arranjos de governança, indo muito além da eficiência logística.

Kirchherr *et al.* (2017) reforçam essa distinção ao afirmar que a economia circular envolve não apenas reciclagem, mas também a redução, reutilização, reparo e remanufatura, exigindo uma mudança cultural e estrutural nas organizações e nos consumidores. Nesse contexto, a logística reversa surge como uma ferramenta operacional para executar parte das ações necessárias, mas não responde sozinha pela circularidade dos sistemas.

Stock (1998) e Srivastava (2007) complementam que a logística reversa, apesar de cada vez mais associada a práticas sustentáveis, mantém uma natureza reativa, lidando com fluxos de retorno já existentes. A economia circular, ao contrário, é proativa: antecipa-se ao problema do resíduo desde a concepção do produto, eliminando ou minimizando sua geração. Stahel (2016) aponta que a circularidade requer um “redesign da economia industrial”, em que a logística reversa atua apenas como um dos mecanismos de suporte, não como fim em si mesma.

De acordo com Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), a economia circular transcende práticas isoladas e busca transformar sistemas econômicos inteiros. Enquanto a logística reversa foca no nível micro das operações logísticas, a economia circular atua em múltiplos níveis — do design industrial à formulação de políticas públicas, do comportamento do consumidor à governança internacional de recursos. Sarkis, Zhu e Lai (2011) lembram que essa diferenciação é essencial para políticas de sustentabilidade corporativa, pois confundir os conceitos pode levar empresas a restringirem suas ações a iniciativas pontuais de coleta e reciclagem, sem promover mudanças estruturais.

Na prática, observa-se que a logística reversa é frequentemente utilizada como porta de entrada para práticas circulares. No setor do vidro, por exemplo, programas de coleta de embalagens pós-consumo e parcerias com cooperativas de catadores são fundamentais para alimentar o processo de reciclagem. Contudo, a plena adoção da economia circular exige avanços maiores: design de garrafas mais leves, utilização de maior proporção de cacos na fusão, investimento em fornos híbridos ou elétricos e integração de indicadores ambientais nas estratégias empresariais.

Para tornar essas distinções mais claras, apresenta-se a seguir um quadro comparativo que sintetiza as principais diferenças entre os dois conceitos:

Quadro 1 – Diferenças conceituais entre economia circular e logística reversa

Dimensão	Economia circular (EC)	Logística reversa (LR)
Definição	Modelo econômico sistêmico e estratégico, que busca regenerar, manter e otimizar o uso de recursos em ciclos fechados.	Conjunto de atividades logísticas para coleta, transporte e reintegração de produtos e materiais pós-consumo na cadeia produtiva.
Escopo	Abrange toda a economia e cadeias produtivas, incluindo design de produtos, novos modelos de	Foca em fluxos específicos de retorno de produtos e materiais dentro da cadeia de suprimentos.

	negócios e governança ambiental.	
Origem conceitual	Inspirada em conceitos como cradle to cradle, ecodesign e limites planetários (Stahel; Ellen MacArthur Foundation; Rockström).	Deriva da logística tradicional, ampliada para lidar com fluxos reversos (Leite; Rogers; Tibben-Lembke).
Objetivo central	Eliminar resíduos e poluição desde a origem, manter materiais em uso pelo maior tempo possível e regenerar sistemas naturais.	Dar destinação adequada a resíduos ou produtos pós-consumo, agregando valor ou atendendo exigências legais.
Nível de atuação	Estratégico, proativo e multissetorial (design, políticas públicas, comportamento do consumidor).	Operacional, reativo, voltado a retornos já existentes.
Exemplos de práticas	Design circular, remanufatura, reuso, inovação em modelos de negócio, substituição de materiais.	Programas de coleta de embalagens, retorno de garrafas retornáveis, recolhimento de eletrônicos obsoletos.
Motivadores	Sustentabilidade sistêmica, inovação, competitividade de longo prazo, alinhamento a limites planetários.	Exigências legais (PNRS, diretivas europeias), responsabilidade socioambiental e redução de custos.
Papel na indústria do vidro	Redesenho de embalagens mais leves,	Programas de logística reversa de garrafas e

	uso intensivo de cacos, inovação tecnológica em fornos e governança circular.	embalagens, parcerias com cooperativas de catadores e sistemas de coleta seletiva.

Fonte: adaptado de Leite (2009); Ballou (2006); Rogers e Tibben-Lembke (1999); Ellen MacArthur Foundation (2013); Kirchherr *et al*. (2017); Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016); Stahel (2016).

A comparação apresentada no quadro evidencia que, embora relacionadas, economia circular e logística reversa atuam em níveis distintos de abrangência e propósito. A logística reversa, de caráter mais operacional, é fundamental para viabilizar fluxos de retorno e reaproveitamento de materiais, mas permanece limitada quando considerada isoladamente. Já a economia circular assume um papel estratégico e sistêmico, exigindo transformações profundas no design de produtos, nos modelos de negócio e nas políticas públicas.

Essa diferenciação é particularmente relevante para o setor industrial, em especial para a indústria do vidro, na qual a logística reversa garante o retorno de embalagens pós-consumo, mas somente a adoção de estratégias circulares mais amplas — como inovação em processos, maior incorporação de cacos e uso de tecnologias de baixo carbono — permitirá avançar rumo a uma circularidade plena. Assim, compreender as diferenças conceituais entre esses dois pilares evita reducionismos e fortalece a formulação de políticas e práticas empresariais alinhadas à sustentabilidade de longo prazo.

2.3.2 Economia circular no setor vidreiro

A economia circular aplicada ao setor vidreiro configura-se como uma estratégia essencial para romper com o paradigma linear de “extrair–produzir–consumir–descartar”, substituindo-o por ciclos produtivos regenerativos e de reaproveitamento contínuo de materiais. Entre os diversos materiais industriais, o vidro apresenta um dos maiores potenciais para a circularidade, pois é 100% reciclável, podendo ser reaproveitado indefinidamente sem perda de qualidade físico-química ou degradação estrutural (ABIVIDRO, 2024). Essa característica singular faz do vidro um elemento-modelo para a implementação dos princípios circulares, na medida em que permite que resíduos retornem como insumo primário à cadeia

produtiva, reduzindo a pressão sobre recursos naturais e a emissão de gases de efeito estufa.

Entretanto, conforme sublinha a Ellen MacArthur Foundation (2015), a transição para a economia circular não se limita a processos de reciclagem; ela envolve uma mudança sistêmica, que repensa desde o design do produto até a infraestrutura logística, os modelos de negócio e os fluxos de materiais. No caso da indústria vidreira, isso significa articular políticas públicas, inovação tecnológica, incentivos econômicos, redes logísticas e mecanismos de governança capazes de assegurar que o vidro pós-consumo — conhecido como cullet — retorne de modo eficiente aos fornos das indústrias.

Dados recentes do setor indicam avanços significativos no Brasil. Em 2024, a meta de reciclagem de 25% das embalagens de vidro foi atingida, com 221 mil toneladas de vidro pós-consumo reintroduzidas no parque industrial, a partir de 877 mil toneladas consumidas no país (ABIVIDRO, 2024). O sistema Circula Vidro, entidade gestora da logística reversa de embalagens de vidro no Brasil, projeta que o índice de destinação certificada atinja 30,2%, embora esse número considere apenas o material rastreado formalmente. Esses dados revelam progresso, mas também evidenciam que a circularidade no setor ainda é parcial e desigual, limitando-se a determinados segmentos e regiões.

Sob a perspectiva dos benefícios industriais, a incorporação de cacos reciclados (cullet) aos fornos vidreiros é uma das práticas centrais da circularidade. Estudos demonstram que cada 10% de cacos adicionados ao processo pode reduzir em até 4 % o consumo energético e diminuir as emissões de CO_2 em cerca de 5% por tonelada de vidro fundido, o que equivale a aproximadamente 300 kg de CO_2 a menos por tonelada produzida (Berguenmayer, 2019). Essa vantagem ambiental soma-se a um ganho econômico, visto que a fusão de vidro reciclado demanda temperaturas inferiores à fusão de matérias-primas virgens.

Entretanto, conforme enfatiza Ballou (2006), a logística desempenha papel crucial para viabilizar a circularidade, já que envolve custos de transporte, coleta, segregação e estocagem do material reciclável. No Brasil, a fragmentação geográfica da coleta seletiva e a concentração das fábricas em poucos polos impõem barreiras significativas: os custos logísticos do transporte de vidro, material pesado e volumoso, muitas vezes, superam o valor comercial do caco, comprometendo a viabilidade econômica do processo circular.

Para Bocken *et al*. (2016), o êxito da economia circular exige novos modelos de negócios circulares, capazes de repensar o relacionamento com fornecedores e consumidores, ampliar a vida útil dos produtos e reintegrar resíduos como recursos valiosos. Na perspectiva de Jianguo “Jack” Liu (2018), a circularidade deve ser abordada de forma acoplada aos sistemas socioecológicos, articulando produção industrial, consumo urbano e ecossistemas naturais. De maneira convergente, Carl Folke e Johan Rockström (2016) destacam que a circularidade industrial contribui para manter a resiliência dos sistemas planetários, reduzindo pressões sobre os limites ecológicos globais, como o uso de recursos naturais e a emissão de carbono.

Dessa forma, a economia circular no setor vidreiro brasileiro revela-se uma arena de avanços e desafios. Por um lado, as propriedades técnicas do vidro e as metas já cumpridas pelo setor demonstram potencial para fechar ciclos produtivos. Por outro, persistem barreiras logísticas, culturais e econômicas, como a baixa capilaridade da coleta seletiva, a informalidade de parte das cadeias de reciclagem e a falta de incentivos financeiros que equilibrem os custos da logística reversa.

O panorama indica que, embora o setor já esteja alinhado a princípios circulares e às metas legais, a plena circularidade dependerá do fortalecimento de políticas públicas, da expansão da infraestrutura logística, da ampliação de redes cooperativas entre fabricantes e recicladores e de investimentos em inovação. A compreensão desses fatores é essencial para as próximas discussões sobre políticas e iniciativas para a circularidade, que se constituem nas principais alavancas para consolidar um modelo circular robusto e sustentável na indústria vidreira.

2.4 Políticas e iniciativas para a circularidade

A economia circular vem se consolidando como uma das principais alternativas para enfrentar os desafios socioambientais impostos pelo modelo linear de produção e consumo baseado em “extrair, produzir, consumir e descartar”. Essa lógica tradicional tem gerado consequências como esgotamento de recursos, intensificação das emissões de gases de efeito estufa e aumento da pressão sobre sistemas de gestão de resíduos. Nesse cenário, governos e empresas, em escala global e local, têm buscado alinhar esforços no desenvolvimento de iniciativas que promovam a circularidade, com vistas a conciliar crescimento econômico, eficiência de recursos e sustentabilidade ambiental.

No campo teórico, Geissdoerfer *et al*. (2017) definem a economia circular como um sistema regenerativo que visa minimizar a entrada de recursos e a geração de resíduos, emissões e energia, por meio de estratégias de fechamento de ciclos. Já a Ellen MacArthur Foundation (2015; 2017) reforça que a transição para modelos circulares demanda não apenas mudanças tecnológicas, mas também transformações institucionais e culturais, envolvendo atores públicos e privados em cooperação. Complementarmente, autores como Bocken *et al*. (2014) destacam os arquétipos de modelos de negócios circulares, que incluem desde a maximização da eficiência de recursos até a valorização de resíduos como insumos e a criação de novos serviços que substituem a posse pelo uso.

Do ponto de vista científico, perspectivas alentadas enriquecem o debate. Rockström *et al*. (2009) introduziram o conceito dos limites planetários, alertando que a manutenção das atividades humanas dentro dessas fronteiras é essencial para a estabilidade da Terra. Folke *et al*. (2016) expandem a discussão ao enfatizar a resiliência socioecológica como base para a sustentabilidade, enquanto Liu *et al*. (2018) apresentam a teoria do telecoupling, que evidencia como fluxos globais de matéria, energia e resíduos criam interdependências entre regiões e países. No caso do vidro, essas interconexões se materializam, por exemplo, nas importações de barrilha e nas exportações de produtos acabados, mostrando que a circularidade exige coordenação internacional.

2.4.1 Iniciativas públicas em escala global

Os Governos têm desempenhado papel fundamental ao instituir marcos regulatórios e políticas públicas que estimulam a circularidade. Na União Europeia, a Comissão Europeia lançou, em 2016, o Circular Economy Package, um conjunto de medidas que estabeleceu metas de reciclagem de resíduos e redução de aterro até 2035 (European Commission, 2016). Na Holanda, o Government-wide Programme for a Circular Economy busca, desde 2016, transformar o país em uma economia totalmente circular até 2050, com a meta intermediária de reduzir em 50% o uso de matérias-primas virgens até 2030 (Government of the Netherlands, 2016). A Escócia, por sua vez, lançou em 2016 sua estratégia de economia circular, fundamentada em medidas como reúso, reciclagem, reparo e remanufatura, integradas à política Zero Waste (The Scottish Government, 2016).

Na Ásia, a China foi pioneira ao promulgar, em 2009, a Circular Economy Promotion Law, incorporando o princípio dos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar) em seus planos quinquenais (Yuan; Bi; Moriguichi, 2006). O Japão, desde o início dos anos 2000, já opera com a Law for the Promotion of Effective Utilization of Resources, que estimula o reúso e a reciclagem em setores estratégicos (Government of Japan, 2001). A Dinamarca, por sua vez, estabeleceu metas ambiciosas para reciclar 50% dos resíduos domésticos, reduzindo a incineração (Ellen Macarthur Foundation, 2015).

Essas experiências internacionais evidenciam que, quando apoiadas por políticas estruturadas, incentivos fiscais e plataformas colaborativas, a economia circular pode gerar benefícios sociais, ambientais e econômicos. Elas também servem de referência para países em desenvolvimento, como o Brasil, que ainda enfrenta lacunas institucionais e estruturais.

2.4.2 Iniciativas públicas no Brasil

O Brasil apresenta um conjunto de políticas públicas que tangenciam a economia circular, ainda que de forma fragmentada. O marco mais relevante é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei n.º 12.305/2010, que introduziu conceitos como a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a logística reversa. Essa lei estabeleceu acordos setoriais em segmentos como embalagens, eletroeletrônicos e lâmpadas fluorescentes, embora sua implementação tenha sido desigual e limitada por desafios de governança e financiamento (Brasil, 2010).

Outras políticas também dialogam com a circularidade. O Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis (PPCS), lançado em 2011, propôs ações para educação para o consumo sustentável, compras públicas verdes e estímulo à reciclagem (Ministério do Meio Ambiente, 2011). A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), alinhada ao Acordo de Paris, fixou metas de redução de emissões que impactam diretamente setores industriais como o vidreiro, incentivando a adoção de energias renováveis (Ministério do Meio Ambiente, 2016). O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Código Florestal (Lei n.º 12.651/2012) também contribuem indiretamente ao reforçar a gestão eficiente de recursos hídricos e florestais.

O Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC) representa um marco estruturante nas políticas públicas brasileiras voltadas à sustentabilidade, pois articula e integra iniciativas antes fragmentadas, alinhando o país às práticas internacionais e aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). De acordo com Santos e Pereira (2021), a ausência de coordenação entre políticas limitava o potencial transformador da circularidade no Brasil, sendo necessária uma integração estratégica entre instrumentos regulatórios, fiscais e educacionais. O PLANEC responde diretamente a essa lacuna, consolidando diretrizes e instrumentos capazes de impulsionar a transição para modelos produtivos mais eficientes e resilientes. Dada sua relevância e abrangência, o PLANEC merece destaque especial e será tratado de forma aprofundada no próximo tópico deste capítulo, com análise exclusiva de seus objetivos, eixos estratégicos e implicações para a indústria do vidro.

2.4.3 Iniciativas privadas vinculadas ao setor vidreiro

As empresas privadas desempenham papel decisivo na implementação prática da economia circular. No setor vidreiro, em especial, o potencial de circularidade é elevado, já que o vidro pode ser infinitamente reciclado sem perda de qualidade. No entanto, a consolidação dessa vantagem depende da capacidade das empresas em estruturar modelos de negócios circulares e superar gargalos logísticos.

Exemplos relevantes incluem empresas que incorporam o caco de vidro (cullet) em seus processos produtivos, reduzindo a dependência de matérias-primas virgens e o consumo energético. Estudos de Boesen *et al*. (2019) mostram que embalagens de vidro são percebidas pelos consumidores como ambientalmente superiores, especialmente quando associadas à reciclabilidade. Internacionalmente, grandes fabricantes têm adotado práticas como o uso de energias renováveis, certificações ambientais e programas de coleta de vidro pós-consumo.

No Brasil, iniciativas de associações setoriais, como a ABIVIDRO e parcerias como o programa Glass is Good, conduzido pela Associação Brasileira de Bebidas (ABRABE), têm fortalecido a logística reversa e ampliado a coleta de embalagens de vidro pós-consumo. Em três anos, o programa já recolheu centenas de milhares de toneladas, mostrando que a colaboração entre empresas e cooperativas de catadores pode ser decisiva para o avanço da circularidade (ABIVIDRO, 2021). Outro exemplo é o programa Vidro Vira Vidro, fruto da parceria entre Verallia e Massfix, que recuperou milhares de toneladas de vidro em diferentes estados brasileiros.

Essas ações reforçam que o setor vidreiro não apenas possui características técnicas favoráveis à circularidade, mas também pode se posicionar como protagonista na agenda de sustentabilidade. Autores como Silva *et al*. (2020) e Martins e Oliveira (2023) destacam que a adoção de práticas circulares no setor gera não apenas ganhos ambientais, mas também vantagens competitivas, especialmente em contextos de legislações ambientais mais rigorosas e de consumidores mais exigentes.

2.5 Barreiras e desafios para a circularidade

Apesar dos avanços, diversos obstáculos ainda limitam a transição efetiva para a economia circular no setor vidreiro e em outros segmentos industriais. Entre eles, destacam-se: a fragmentação da infraestrutura de coleta seletiva no Brasil, os elevados custos de transporte do vidro pós-consumo, a falta de incentivos fiscais robustos, a ausência de políticas integradas e a baixa conscientização de consumidores.

Rockström *et al*. (2009) lembram que a atividade industrial deve operar dentro dos limites planetários, o que implica a necessidade urgente de reduzir a extração de matérias-primas. Folke *et al*. (2016) reforçam que a resiliência socioecológica depende da capacidade de sistemas econômicos se adaptarem às mudanças ambientais, enquanto Liu *et al.* (2018) apontam que cadeias produtivas globalizadas precisam lidar com impactos que extrapolam fronteiras nacionais. Esses aportes teóricos indicam que superar as barreiras à circularidade no setor do vidro demanda integração multiescalar, abrangendo desde a governança local até a cooperação internacional.

A economia circular configura-se como caminho estratégico para aliar competitividade e sustentabilidade, especialmente em setores industriais de alta intensidade de recursos como o vidreiro. A integração de iniciativas públicas e privadas, apoiada em políticas robustas, inovação tecnológica e cooperação entre empresas, governo e sociedade, constitui a base para a superação de barreiras históricas e a consolidação de modelos circulares.

Ao mesmo tempo, os referenciais teóricos de autores como Ballou, Ellen MacArthur Foundation, Bocken, Geissdoerfer, Rockström, Folke e Liu demonstram que a circularidade deve ser analisada sob múltiplas dimensões: logística, econômica,

social e ecológica. Somente assim será possível construir cadeias de suprimentos resilientes, eficientes e alinhadas às demandas globais por sustentabilidade.

2.6 A importância do setor vidreiro no Brasil

A importância do setor vidreiro no Brasil pode ser analisada sob diferentes dimensões que se inter-relacionam de forma sistêmica. Além de seu papel econômico, ao integrar cadeias produtivas estratégicas e gerar emprego e renda, destaca-se também sua relevância social e territorial, ao envolver trabalhadores formais e informais em diversas regiões do país. O setor apresenta ainda significativa importância ambiental e climática, em virtude de seu caráter permanentemente reciclável e de seu potencial de mitigação de emissões de gases de efeito estufa. Do ponto de vista tecnológico, observa-se crescente inovação em produtos e processos, alinhando-se às demandas de eficiência energética e qualidade construtiva. Finalmente, em termos estratégicos e sistêmicos, a indústria vidreira consolida-se como elo central na transição para a economia circular, articulando resiliência socioecológica e integração logística internacional. Para melhor organizar essas dimensões, elaborou-se ao final desta seção uma síntese em forma de quadro, estruturada em quatro colunas – dimensão, descrição, exemplos práticos e consequências/impactos – de modo a fornecer uma visão integrada da relevância multifacetada do setor.

A indústria do vidro ocupa um lugar singular no desenvolvimento brasileiro por articular, ao mesmo tempo, funções econômicas, sociais, ambientais e tecnológicas de alto valor sistêmico. Mais do que “tamanho” ou participação setorial, sua importância se manifesta na interdependência com cadeias críticas — construção civil, bebidas e alimentos, farmacêutica e cosméticos, automotiva e eletrodomésticos — e por sua capacidade de gerar externalidades positivas em saúde pública, segurança alimentar, eficiência energética e circularidade de materiais. Trata-se de um setor intensivo em capital e logística, com forte encadeamento para trás (mineração, química, energia, transporte) e para frente (embalagens e manufaturas), o que o caracteriza como setor-chave para políticas industriais e de sustentabilidade no país (Ballou, 2006; Ellen Macarthur Foundation, 2013; CNI, 2025).

2.6.1 Dimensão econômica

O vidro brasileiro cumpre papel duplo: abastece a demanda doméstica de insumos essenciais e integra fluxos globais de comércio. Em 2024, as importações totais do capítulo “Vidro e suas obras” somaram US$ 823,7 milhões, com destaque para China, México e Estados Unidos como principais fornecedores (ANBA, 2025). Essa dinâmica reforça o argumento de que setores industriais não podem ser compreendidos de forma isolada. Como explica Ballou (2006, p. 27):

> A logística e a gestão da cadeia de suprimentos devem ser vistas como atividades integradoras, que ligam fornecedores, empresas e clientes em fluxos contínuos de bens, informações e recursos, sendo sua importância medida não apenas pelo tamanho, mas pela capacidade de criar valor sistêmico.

Assim, a importância econômica do setor vidreiro está diretamente ligada ao seu poder de integração e multiplicação de efeitos em outros segmentos industriais.

2.6.2 Dimensão social e territorial

A importância social e territorial da indústria vidreira se expressa na geração de empregos formais e informais, na ocupação de cooperativas de catadores e na presença do vidro como infraestrutura urbana. O vidro está presente em fachadas, vitrines, embalagens e mobiliário público. Para o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2025, p. 14):

> O setor de reciclagem, em especial o de vidro, cumpre função social que transcende o valor econômico imediato, ao estruturar redes de inclusão produtiva para trabalhadores de baixa renda e ao gerar benefícios indiretos em saúde pública e qualidade de vida urbana.

Esse caráter territorial é ainda mais relevante no Brasil, país marcado por desigualdades socioespaciais, no qual cadeias como a do vidro podem impulsionar inclusão e desenvolvimento local.

2.6.3 Dimensão ambiental e climática

O vidro é considerado um material “permanente”, ou seja, infinitamente reciclável sem perda de qualidade (Testa *et al.*, 2017). Cada tonelada de caco utilizada na fusão substitui matérias-primas virgens e reduz emissões de gases de efeito estufa. O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI; ABIVIDRO, 2025, p. 3) afirma:

> A utilização de caco de vidro em substituição a matérias-primas naturais representa não apenas ganhos energéticos, mas redução expressiva de emissões de GEE. Trata-se de uma das estratégias mais efetivas de mitigação disponíveis para a indústria vidreira no curto e médio prazo.

Ainda assim, o Brasil enfrenta barreiras estruturais de coleta, transporte e remuneração pelo vidro reciclado. O jornal Nexo (2024) sintetiza essa dificuldade: “O vidro é pesado, volumoso e pode gerar risco de corte. Esses fatores elevam os custos logísticos e explicam, em parte, por que a reciclagem de vidro ainda é a menor entre os principais materiais no Brasil”.

Apesar disso, iniciativas como o Circula Vidro mostram avanços, tendo alcançado a meta legal de 25% em 2024, com projeção de 40% até 2032 (ABIVIDRO, 2025; Brasil, 2022; ENEC, 2025).

2.6.4 Dimensão tecnológica

O crescimento de laminados e insulados no mercado brasileiro é um indicativo de modernização tecnológica. Segundo a Abravidro (2025), o volume de insulados cresceu aproximadamente 50% em 2024. Além disso, iniciativas de capacitação como o EducaVidro e o Vidro Certo fortalecem a mão de obra nacional. Para a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2025, p. 7):

> O fortalecimento de programas de capacitação voltados ao setor do vidro é um pilar estratégico não apenas para garantir qualidade técnica, mas para elevar o desempenho energético e ambiental das edificações brasileiras.

Isso mostra que a importância tecnológica não é apenas produtiva, mas também educacional.

2.6.5 Dimensão estratégica e sistêmica

Sob perspectiva estratégica, o vidro é um elo de resiliência em sistemas socioecológicos e de comércio global. Folke (2006, p. 254) destaca:

> A resiliência é a capacidade dos sistemas socioecológicos de absorver perturbações e reorganizar-se, mantendo suas funções, estrutura e identidade. Essa perspectiva ressalta a importância de setores industriais em sustentar a adaptabilidade frente a choques.

De forma convergente, Rockström *et al*. (2009, p. 473) afirmam: “O desenvolvimento humano precisa respeitar limites planetários. Ultrapassá-los pode levar a mudanças ambientais abruptas e irreversíveis”.

Nesse sentido, o setor vidreiro, ao reduzir extração primária e elevar conteúdo reciclado, atua como vetor de mitigação. Além disso, Liu *et al*. (2013) ressaltam que, em um mundo teleacoplado, fluxos internacionais de insumos e produtos tornam-se vulneráveis a choques logísticos, reforçando a necessidade de governança integrada.

Quadro 2 – Síntese das dimensões de importância do setor vidreiro no Brasil

Dimensão	Descrição	Exemplos práticos	Consequências / impactos
Econômica	Integra cadeias produtivas e participa do comércio internacional.	Importações de US$ 823,7 milhões em 2024 (ANBA, 2025); produção local de embalagens, chapas e vidros especiais.	Geração de emprego, renda e tributos; competitividade industrial; dependência de insumos estratégicos.
Social e territorial	Rede de valor que envolve desde mineração até cooperativas de catadores.	171,2 mil toneladas recicladas em 2022 (ANCAT, 2022); presença em fachadas, vitrines e embalagens.	Inclusão produtiva, redução de desigualdades, infraestrutura urbana, saúde pública.
Ambiental e climática	Material infinitamente reciclável; uso de caco reduz energia e emissões.	Redução de GEE com substituição de matéria-prima virgem (MCTI; ABIVIDRO, 2025); Circula	Contribuição à mitigação climática; alinhamento à ENEC 2025–2034; transição

		Vidro atingindo 25% em 2024.	para economia de baixo carbono.
Tecnológica	Inovação em produtos e capacitação da mão de obra.	Crescimento de 50% em vidros insulados (ABRAVIDRO, 2025); programas EducaVidro e Vidro Certo (CBIC, 2025).	Eficiência energética nas edificações; qualidade técnica; modernização da construção civil.
Estratégica e sistêmica	Setor-chave para resiliência socioecológica e logística global.	Perspectiva da resiliência (Folke, 2006) e dos limites planetários (Rockström *et al*., 2009; 2015).	Aumenta a adaptabilidade frente a choques; reforça governança multiescalar; contribui para respeitar os limites planetários.

Fonte: adaptado de Ballou (2006); Folke (2006); Rockström *et al*. (2009; 2015); Liu *et al.* (2013); Ellen MacArthur Foundation (2013); ANBA (2025); ANCAT (2022); ABIVIDRO (2025); ABRAVIDRO (2025); CBIC (2025).

2.7 Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC)

2.7.1 Contexto e gênese

A economia circular vem se consolidando como uma das principais estratégias globais de enfrentamento aos desafios ambientais, sociais e econômicos do século XXI. Frente ao esgotamento de recursos naturais, ao aumento da geração de resíduos e às mudanças climáticas, governos e empresas em todo o mundo têm buscado modelos alternativos de desenvolvimento capazes de promover eficiência no uso de recursos, inovação e inclusão social. Nesse cenário, o Brasil deu um passo decisivo com a criação do Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC), que se configura como um marco estruturante das políticas públicas de sustentabilidade no país.

O PLANEC surge em um contexto de crescente pressão internacional para que o Brasil alinhe sua política ambiental às práticas globais. Programas semelhantes já vinham sendo adotados em países europeus e asiáticos, como o Circular Economy Package da União Europeia (European Commission, 2016), o Government-wide Programme for a Circular Economy da Holanda (Government of the Netherlands, 2016), a Lei de Promoção da Utilização Eficiente de Recursos do Japão (Government of Japan, 2001) e a Política de Economia Circular da China, incluída em seus planos quinquenais (Yuan; Bi; Moriguichi, 2006). A experiência internacional demonstrava que, sem coordenação governamental e incentivos econômicos, os esforços privados em circularidade tendem a ser limitados.

No Brasil, embora já existissem iniciativas como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e o Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis (PPCS), essas políticas operavam de forma fragmentada, sem articulação sistêmica. De acordo com Santos e Pereira (2021), a ausência de integração entre instrumentos regulatórios e econômicos reduzia o potencial transformador da circularidade, limitando a escala de práticas inovadoras e dificultando sua difusão entre empresas e governos locais. O PLANEC nasce, portanto, como resposta a essa lacuna, propondo uma abordagem coordenada e abrangente, capaz de reposicionar o Brasil diante das tendências globais de sustentabilidade.

2.7.2 Objetivos e diretrizes

O PLANEC estabelece como objetivo central a transição do país de um modelo linear de produção e consumo para um modelo circular, no qual o valor dos produtos, materiais e recursos seja mantido pelo maior tempo possível no ciclo econômico. Esse objetivo se desdobra em diretrizes que buscam promover o uso eficiente de recursos naturais, reduzir a dependência de matérias-primas virgens, estimular a valorização de resíduos como insumos produtivos e impulsionar a inovação em cadeias de suprimento circulares.

Entre as principais diretrizes do plano estão a criação de instrumentos econômicos que tornem financeiramente viável a circularidade, a promoção da inovação tecnológica em parceria com universidades e centros de pesquisa, o estímulo ao design de produtos orientado para o reúso e a reciclagem, a ampliação da logística reversa em setores estratégicos e a inserção do tema da economia circular

na educação formal e em campanhas de conscientização da sociedade. Nesse ponto, o PLANEC articula-se com recomendações internacionais, como as da Ellen MacArthur Foundation (2015; 2017), que ressaltam a necessidade de combinar esforços públicos e privados, criando condições sistêmicas para a transformação dos modelos econômicos.

O plano também busca incorporar princípios contemporâneos da sustentabilidade. Rockström *et al.* (2009) enfatizam que a humanidade precisa operar dentro dos limites planetários, evitando a ultrapassagem de fronteiras ambientais críticas. Folke *et al*. (2016), por sua vez, defendem que a resiliência socioecológica deve orientar os processos produtivos, garantindo a capacidade de adaptação das sociedades às mudanças globais. Já Liu *et al.* (2018) propõem a perspectiva do telecoupling, ressaltando que cadeias globais de valor devem considerar as interdependências internacionais de fluxos materiais, energéticos e de resíduos. O PLANEC incorpora esses princípios ao conectar a circularidade não apenas à gestão de resíduos, mas também à mitigação das mudanças climáticas, à proteção da biodiversidade e à promoção da inclusão social.

2.7.3 Eixos estratégicos

O PLANEC está estruturado em eixos que abrangem dimensões produtivas, institucionais, educacionais e financeiras. No campo produtivo, o plano promove a reconfiguração de cadeias industriais a partir da lógica da circularidade. Busca-se incentivar o design circular, que prevê desde a concepção do produto estratégias de durabilidade, reparabilidade, modularidade e reciclabilidade. Além disso, estimula-se a incorporação de materiais reciclados nos processos produtivos, reduzindo a dependência de matérias-primas virgens e diminuindo os impactos ambientais da extração de recursos.

No campo da inovação e tecnologia, o PLANEC defende a criação de plataformas colaborativas que aproximem empresas, universidades e centros de pesquisa, com o objetivo de desenvolver tecnologias que ampliem a eficiência na reciclagem, o aproveitamento energético de resíduos e a substituição de insumos não renováveis por fontes sustentáveis. Essa diretriz conecta-se ao que Bocken *et al*. (2014) classificam como arquétipos de modelos de negócios circulares, em que a inovação organizacional é essencial para a criação de novos fluxos de valor econômico e ambiental.

O plano também prioriza a educação e a conscientização, propondo a inclusão do tema nos currículos escolares e universitários, bem como a realização de campanhas de sensibilização voltadas à população. A formação de uma cultura de circularidade é vista como condição essencial para consolidar práticas sustentáveis no longo prazo, uma vez que o comportamento do consumidor desempenha papel central na demanda por produtos e serviços circulares.

Do ponto de vista institucional, o PLANEC propõe mecanismos de governança interministerial que integrem as políticas de meio ambiente, indústria, inovação, desenvolvimento regional e finanças públicas. Essa abordagem transversal reflete o entendimento de que a economia circular exige uma visão sistêmica, em que políticas de diferentes áreas atuem de forma complementar.

Por fim, o plano estabelece a necessidade de instrumentos financeiros que viabilizem a expansão da economia circular. Isso inclui a criação de linhas de crédito específicas, subsídios, incentivos fiscais e a promoção de compras públicas sustentáveis. O objetivo é criar condições de mercado favoráveis à adoção de práticas circulares, reduzindo custos e riscos para empresas e estimulando novos investimentos.

2.7.4 Impactos para a indústria vidreira

O setor vidreiro apresenta-se como um dos mais diretamente impactados pelas diretrizes do PLANEC. O vidro é um material que, por natureza, possui alto potencial de circularidade, já que pode ser infinitamente reciclado sem perda de qualidade. No entanto, fatores como a fragmentação da infraestrutura de coleta seletiva, os elevados custos de transporte do vidro pós-consumo e as desigualdades regionais na cobertura dos sistemas de reciclagem limitam a efetividade dessa circularidade no Brasil (ABIVIDRO, 2021).

O PLANEC atua para superar esses obstáculos ao propor incentivos fiscais que favorecem a utilização de caco reciclado na produção, ao estimular a ampliação da logística reversa por meio de parcerias público-privadas, ao direcionar investimentos para a expansão da infraestrutura de coleta e triagem e ao incentivar a inclusão de cooperativas de catadores nas cadeias produtivas. Além disso, a ênfase em compras públicas sustentáveis pode criar uma demanda crescente por produtos de vidro com maior conteúdo reciclado, estimulando empresas a investir em inovação e circularidade.

Internacionalmente, empresas do setor já têm demonstrado que a circularidade no vidro é viável e competitiva. Exemplos incluem a O-I Glass, que amplia continuamente sua taxa de uso de caco pós-consumo em novos ciclos produtivos, e a Verallia, que investe em energias renováveis e processos de descarbonização. No Brasil, iniciativas coordenadas pela ABIVIDRO, como o programa Glass is Good, demonstram que a cooperação entre associações empresariais, indústrias e cooperativas pode gerar resultados significativos na recuperação de toneladas de vidro pós-consumo.

Nesse sentido, o PLANEC fortalece o ambiente institucional e econômico necessário para que a indústria do vidro amplie suas práticas circulares. Como afirmam Silva *et al*. (2020) e Martins e Oliveira (2023), empresas que implementam modelos circulares tendem a apresentar maior resiliência e capacidade de adaptação frente a legislações ambientais mais rígidas e a demandas de consumidores por práticas responsáveis.

O Plano Nacional de Economia Circular representa um marco fundamental para a sustentabilidade no Brasil, pois supera a fragmentação de políticas anteriores e estabelece uma estratégia integrada que conecta inovação, governança, educação e financiamento. Sua importância não se restringe à gestão de resíduos, mas abrange a transformação de cadeias produtivas inteiras, criando condições para um desenvolvimento econômico mais eficiente, resiliente e inclusivo.

No setor vidreiro, o PLANEC assume papel estratégico, ao oferecer as bases institucionais e econômicas para que esse material, por suas características singulares, torne-se referência em circularidade. O vidro, que já possui vantagens técnicas em relação a outros materiais, pode consolidar sua posição como protagonista de um modelo industrial mais sustentável, desde que sejam superados os gargalos logísticos e estruturais.

Dada sua abrangência e potencial transformador, o PLANEC merece destaque exclusivo nesta dissertação. A análise detalhada de seus eixos, objetivos e impactos permite compreender como o Brasil está se posicionando frente às exigências globais da economia circular e quais oportunidades se abrem para setores estratégicos como o do vidro.

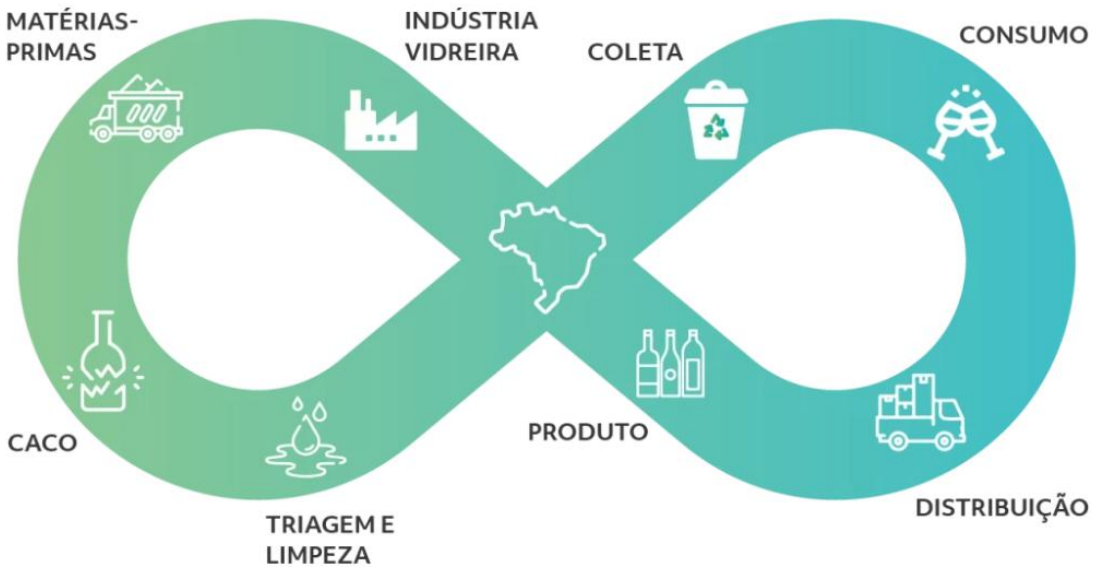
2.8 Reciclagem do vidro no Brasil

2.8.1 Aspectos sobre a reciclagem do vidro

O vidro foi classificado como um “material permanente”. Ele pode ser completamente e eternamente reciclado, sem degradação de sua estrutura intrínseca e sem perda significativa de massa (Testa *et al*., 2017; Tiozzo; Favaro, 2016; Grosso *et al*., 2017). É produzido a partir de matérias-primas naturais — areia, carbonato de sódio e calcário — e seus principais componentes, os silicatos de potássio e sódio, são não-tóxicos e inertes (Selve, 2019).

Sendo assim, com relação à economia circular, o vidro apresenta três vantagens centrais: pode ser reutilizado, reciclado múltiplas vezes e sua qualidade não sofre alterações durante esses processos (Selve, 2019; Hsieh *et al*., 2017; Testa *et al*., 2017). A ABIVIDRO o define como um material inorgânico fabricado por meio da fusão de areia (sílica) com outros minerais, entendendo-o como um material de “ciclo infinito” (ABIVIDRO, 2022), conforme Figura 5.

Figura 5 – O ciclo infinito do vidro



Fonte: ABIVIDRO (2022).

O fato de o vidro poder ser reciclado indefinidamente coloca-o como um dos materiais mais alinhados às diretrizes da economia circular (Ellen Macarthur

Foundation, 2019). No entanto, a plena circularidade ainda não é alcançada devido a barreiras estruturais, logísticas, tecnológicas e comportamentais.

2.8.2 Eficiência energética e benefícios ambientais

O processo de fusão é a etapa mais intensiva em energia da fabricação de embalagens de vidro, representando cerca de 75% do consumo energético total (Scalet *et al*., 2013). Nesse contexto, a incorporação de cacos reciclados desempenha papel estratégico: cada 10% a mais de vidro reciclado na mistura reduz de 2% a 3% o consumo energético, além de mitigar emissões de CO_2 (Lin, 2018; Nelles *et al*., 2016).

Na Europa, essa prática já é consolidada. Relatórios da FEVE (2020) indicam que a proporção de cacos supera 50% da mistura em muitas fábricas, alcançando até 90% em alguns países, como a Alemanha. No Brasil, embora o índice nacional de reciclagem esteja em torno de 30% (ABIVIDRO, 2022), algumas empresas já utilizam níveis acima de 60% de cacos em suas fornalhas, com ganhos ambientais relevantes (ABIVIDRO, 2023).

Um dado relevante é que, segundo a ABIVIDRO, cada tonelada de vidro reciclado evita a emissão de aproximadamente 300 kg de CO_2 e reduz em 1,2 tonelada a extração de matérias-primas virgens, como areia e calcário. Isso coloca a reciclagem do vidro entre as mais eficazes do ponto de vista ambiental no setor de embalagens.

2.8.3 Desafios logísticos e culturais

O principal entrave para a reciclagem do vidro no Brasil não é tecnológico, mas logístico. A coleta seletiva cobre apenas cerca de 18% da população (CEMPRE, 2022), e mesmo em grandes cidades a infraestrutura é insuficiente. Muitos municípios ainda não possuem pontos de entrega voluntária (PEV) específicos para vidro, o que dificulta a segregação adequada.

Outro ponto é a mistura de cores e a contaminação com rótulos, tampas e outros materiais (Federico; Chidiac, 2009) que exige tecnologias avançadas de triagem, como sensores óticos e sistemas de infravermelho, já em uso em algumas plantas no exterior (Ahmed *et al*., 2020; Mason *et al*., 2021). No Brasil, iniciativas piloto têm começado a adotar essas soluções, mas ainda em escala limitada.

Do ponto de vista cultural, pesquisas da ABRELPE (2022) mostram que parte significativa da população desconhece que o vidro é infinitamente reciclável. Muitas vezes, resíduos de vidro acabam destinados a aterros por falta de informação ou medo de acidentes durante a coleta domiciliar. Esse aspecto comportamental é considerado um gargalo tão importante quanto os de infraestrutura.

2.8.4 Inovações, usos alternativos e economia circular ampliada

Embora o ciclo fechado — no qual cacos retornam à produção de novas embalagens — seja o mais desejável, nem todo resíduo consegue retornar à cadeia principal. Nesse caso, o vidro também pode ser incorporado em ciclos abertos, como insumo para cerâmica, abrasivos e cimento (Hsieh *et al*., 2017). No Brasil, há pesquisas que utilizam pó de vidro em pavimentação asfáltica e em concreto, melhorando resistência mecânica e reduzindo custos (Silva *et al*., 2020).

Em termos de inovação, startups e cooperativas têm testado a impressão 3D com pó de vidro reciclado e a produção de materiais arquitetônicos de alto valor agregado, como revestimentos e blocos translúcidos (Castro; Gonçalves, 2021). Esse tipo de aplicação amplia o escopo da circularidade, evitando a deposição em aterros e gerando novas cadeias produtivas.

Além disso, a logística reversa começa a ganhar força no país. Em 2021, a ABIVIDRO, em parceria com fabricantes e engarrafadores, lançou projetos-piloto de reúso de garrafas retornáveis, especialmente no setor de bebidas, como alternativa ambientalmente mais vantajosa que a reciclagem tradicional, dado que o reúso pode reduzir em até 80% o consumo energético frente à produção de uma embalagem nova (ABIVIDRO, 2021; Lanzi *et al*., 2022).

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo e abordagem da pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois visa gerar conhecimento voltado à solução de problemas práticos do setor vidreiro brasileiro, em especial no que se refere à implementação das diretrizes do Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC). Em vez de buscar apenas a ampliação teórica do tema, a investigação buscou identificar barreiras, lacunas e oportunidades que possam subsidiar políticas públicas e estratégias empresariais, contribuindo para o avanço da circularidade do vidro no país.

A abordagem é qualitativa, dado que a pesquisa se propõe a compreender, em profundidade, as percepções de dirigentes, executivos, gerentes, gestores e trabalhadores em geral e técnicos sobre a sustentabilidade e a economia circular em suas organizações, priorizando significados, contextos e relações, e não a quantificação estatística de variáveis. Segundo Gil (2008) e Lakatos e Marconi (2017), as pesquisas qualitativas são apropriadas para fenômenos complexos, cuja análise exige interpretação contextualizada dos dados.

Quanto aos objetivos, o estudo é exploratório e descritivo. É exploratório por examinar um campo em consolidação — a implementação da economia circular no vidro —, levantando fatores pouco sistematizados; e descritivo por registrar e comparar práticas, metas e indicadores já adotados pelas empresas, bem como os obstáculos relatados para a plena circularidade.

No tocante aos procedimentos técnicos, trata-se de pesquisa bibliográfica, documental e de campo. A pesquisa bibliográfica apoiou-se em literatura clássica e contemporânea sobre logística como (Ballou, 2006), economia circular como (Ellen MacArthur Foundation, 2013; Bocken *et al*., 2014), sustentabilidade corporativa como (Liu, 2020; Folke; Rockström, 2021), normas ISO 59000, PNRS e PLANEC. A pesquisa documental envolveu a análise de relatórios ESG, EPD, URD, data books e comunicados corporativos das empresas do setor vidreiro, além de dados disponibilizados por associações setoriais como a Abividro. A pesquisa de campo consistiu na aplicação de entrevistas semiestruturadas e de formulários padronizados organizados conforme os cinco eixos do PLANEC.

3.2 Delineamento geral do estudo

O delineamento metodológico compreendeu cinco etapas sequenciais.

A primeira consistiu na revisão bibliográfica e documental, cujo objetivo foi mapear o estado da arte sobre cadeias de suprimentos de vidro, logística reversa, sustentabilidade corporativa e economia circular, além de examinar experiências internacionais relevantes, incluindo legislações e padrões como a ISO 59000 e indicadores globais de TCFD/CDP.

A segunda etapa envolveu o mapeamento da cadeia de suprimentos do vidro no Brasil, permitindo identificar os principais elos – matérias-primas, transporte, produção, distribuição, coleta de pós-consumo e reciclagem – e suas inter-relações logísticas. Essa etapa possibilitou delimitar a abrangência do estudo, identificar gargalos e orientar a formulação das perguntas de campo.

Na terceira etapa, foi elaborado o roteiro de estudos e análises, construído a partir de três blocos temáticos: (a) estrutura e operação da cadeia de suprimentos, fundamentada nos princípios de Ballou (2006); (b) práticas sustentáveis adotadas pelas empresas, abordando eficiência energética, hídrica, reaproveitamento de resíduos e iniciativas ESG; e (c) economia circular, com foco nos obstáculos e barreiras à circularidade do vidro, estruturados com base no diagrama de fluxos circulares da Ellen MacArthur Foundation.

A quarta etapa correspondeu à coleta de dados empíricos junto às empresas selecionadas, por meio da realização de entrevistas com executivos e trabalhadores em geral do setor e do envio de formulários padronizados seguindo os macro objetivos dos cinco eixos do PLANEC, intitulados neste trabalho como: (1) Metas, padrões e indicadores; (2) Capacitação, pesquisa e inovação; (3) Minimização de resíduos e logística reversa; (4) Mecanismos financeiros e incentivos; (5) Inclusão social e desenvolvimento regional. As entrevistas foram conduzidas presencialmente ou por videoconferência, entre julho e setembro de 2025, e as respostas foram registradas em atas e transcrições. Foram 13 empresas entrevistadas, 70 profissionais entrevistados, somando 80 horas de entrevistas.

A quinta e última etapa consistiu no tratamento, análise e interpretação dos dados, com a categorização temática das respostas, comparações entre empresas e sínteses por eixo, buscando convergências, divergências e lacunas no alinhamento das práticas empresariais às metas do PLANEC.

O quadro a seguir explica de forma clara como o delineamento metodológico seguiu em etapas e detalhes sobre a descrição, objetivo, instrumentos e técnicas e resultados esperados:

Quadro 3 – Delineamento metodológico da pesquisa

Etapa	Descrição	Objetivo	Instrumentos e Técnicas	Resultados Esperados
1. Revisão bibliográfica e documental	Levantamento e análise de literatura científica, relatórios institucionais e normativos sobre cadeias de suprimentos do vidro, logística reversa, sustentabilidade corporativa e economia circular, incluindo padrões internacionais (ISO 59000, ISO 14040/14044) e indicadores de transparência (TCFD/CDP).	Mapear o estado da arte e identificar referenciais teóricos e práticos que fundamentam a análise da cadeia vidreira e sua transição para a economia circular.	Pesquisa bibliográfica em bases científicas, relatórios de organismos internacionais (ONU, Ellen MacArthur Foundation, Abividro, Abravidro), análise documental normativa e setorial.	Construção do referencial teórico e definição das categorias analíticas de pesquisa.
2. Mapeamento da cadeia de suprimento	Identificação e caracterização dos principais elos da cadeia — matérias-	Delimitar a abrangência do estudo, reconhecer gargalos	Mapeamento descritivo e sistêmico; análise de dados	Diagrama e descrição detalhada da cadeia de suprimentos do

s do vidro no Brasil	primas, transporte, produção, distribuição, coleta de pós-consumo e reciclagem — e suas inter-relações logísticas.	operacionais e orientar a formulação das questões empíricas.	secundários; esquemas de fluxos logísticos e relações entre agentes.	vidro brasileiro, com identificação de interdependências e pontos críticos.
3. Elaboração do roteiro de estudos e análises	Construção de instrumento dividido em três blocos: (a) estrutura e operação da cadeia (Ballou, 2006); (b) práticas sustentáveis (eficiência energética, hídrica, reaproveitamento, ESG); (c) economia circular (barreiras e fluxos segundo a Ellen MacArthur Foundation).	Obter dados qualitativos comparáveis sobre a operação, sustentabilidade e circularidade das empresas pesquisadas.	Roteiro de estudos comparativos validado por especialista; pré-teste; estruturação de perguntas abertas e temáticas.	Instrumento de coleta validado e alinhado às categorias teóricas e aos eixos analíticos da pesquisa.

4. Coleta de dados empíricos	Realização de entrevistas com executivos e aplicação de formulários padronizados segundo os cinco eixos do PLANEC (Metas e Indicadores; Capacitação e Inovação; Minimização de Resíduos e Logística Reversa; Incentivos Financeiros; Governança). Conduzidas entre março e julho de 2025.	Reunir dados primários sobre práticas empresariais, políticas de sustentabilidade e aderência ao PLANEC.	Entrevistas presenciais e por videoconferência; formulários estruturados; atas e transcrições; registro de evidências e percepções.	Base de dados empírica organizada por eixo temático e categoria analítica, com material qualitativo para análise comparativa.
5. Análise e interpretação dos dados	Categorização temática das respostas, comparação entre empresas, síntese por eixo do PLANEC e identificação de convergências,	Interpretar os resultados à luz do referencial teórico e dos objetivos da pesquisa, gerando inferências e conclusões.	Análise de conteúdo (Bardin, 2016); comparação temática; triangulação entre fontes primárias e secundárias.	Identificação de padrões e contrastes entre práticas empresariais; síntese dos resultados e formulação das conclusões da dissertação.

	divergências e lacunas nas práticas empresariais.			

Fonte: elaborado pelo autor.

3.3 Universo e amostra

O universo da pesquisa compreende o setor industrial vidreiro brasileiro, englobando tanto os fabricantes de embalagens de vidro (garrafas e frascos) quanto os de vidro plano (chapas para construção civil e automotivo) e vidros especiais (como farmacêuticos e técnicos).

A amostra é não probabilística, do tipo intencional, composta por um conjunto de empresas consideradas representativas do mercado nacional pela relevância em volume de produção, abrangência regional, diversidade tecnológica e porte. Foram incluídas nove empresas, entre multinacionais e fabricantes de capital nacional, de modo a permitir a comparação entre diferentes perfis organizacionais.

Por razões éticas e de confidencialidade, as empresas são identificadas no texto por letras ou pelo segmento de atuação (por exemplo, fabricante A – embalagens; fabricante B – vidro plano), evitando a exposição direta de dados empresariais sensíveis.

3.4 Instrumentos de coleta de dados

O principal instrumento de coleta foi a entrevista semiestruturada, escolhida por permitir flexibilidade na exploração de temas relevantes e comparabilidade entre respostas. O roteiro incluiu perguntas abertas em todos os blocos já descritos e foi previamente submetido à apreciação do orientador para assegurar validade de conteúdo.

Referente às entrevistas, aplicaram-se formulários padronizados baseados nos cinco eixos do PLANEC, compostos por questões fechadas e abertas, que visaram capturar dados comparáveis sobre metas numéricas, padrões de reporte, indicadores de circularidade, práticas de logística reversa e barreiras encontradas.

Complementarmente, foram analisados relatórios de sustentabilidade, EPD (Environmental Product Declarations), data books, políticas internas e outras publicações oficiais das empresas. Essa triangulação de fontes aumentou a

confiabilidade e robustez dos dados, permitindo confrontar informações declaradas oralmente com documentos institucionais.

3.5 Procedimentos de coleta

As entrevistas foram agendadas mediante carta-convite e comunicação formal por e-mail aos participantes, que receberam antecedência mínima de dez dias para análise do roteiro. A coleta foi realizada entre julho e setembro de 2025.

Os encontros ocorreram presencialmente, quando possível, ou por plataformas virtuais, sempre com a presença do pesquisador e, em alguns casos, de assistentes de campo para apoio logístico. Todas as sessões foram registradas por meio de anotações em ata e gravações de áudio, posteriormente transcritas para fins de análise qualitativa.

Os formulários padronizados foram disponibilizados em formato digital e preenchidos pelos responsáveis pelas áreas de sustentabilidade, operações, administração e logística de cada empresa participante.

Cumprindo as normas éticas da PUC-Campinas, a pesquisa foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética (CAAE 92997125.0.0000.5481) em Pesquisa e todos os respondentes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), concordando com a participação e a utilização dos dados para fins estritamente acadêmicos, com garantia de confidencialidade e anonimato.

3.6 Tratamento e análise dos dados

Para a etapa de análise, adotou-se o método de análise de conteúdo de Bardin (2016), adequado para pesquisas qualitativas que exigem a organização e a interpretação sistemática de textos oriundos de entrevistas.

A análise ocorreu em três fases:

1. Pré-análise, com leitura flutuante das transcrições e documentos para identificação de categorias preliminares.
2. Exploração do material, na qual as respostas foram codificadas por eixos do PLANEC e classificadas em temas centrais e subcategorias (metas, indicadores, barreiras, convergências, divergências).
3. Tratamento e interpretação, que envolveu a comparação entre empresas, a elaboração de quadros-síntese e a construção de clusters de maturidade (A, B, C e D) quanto ao atendimento das metas dos Eixos do PLANEC.

Os dados quantitativos extraídos dos formulários, como percentuais de conteúdo reciclado ou metas de emissões, foram tabulados em planilhas eletrônicas para apoiar a visualização gráfica e as análises comparativas.

3.7 Limitações do método

O estudo apresenta limitações próprias das pesquisas qualitativas com amostras intencionais. O número específico e formal de empresas e a heterogeneidade do porte e do grau de transparência limitam a possibilidade de generalização estatística dos resultados para todo o setor.

Além disso, a dependência de dados autodeclarados pelas empresas pode conter vieses de comunicação corporativa, ainda que a triangulação com documentos públicos tenha buscado minimizar essa limitação.

Tais restrições, contudo, não comprometem a relevância dos achados, que oferecem uma visão abrangente do nível de maturidade setorial e dos obstáculos práticos à circularidade do vidro, fornecendo subsídios consistentes para recomendações ao PLANEC.

3.8 Considerações éticas

A pesquisa respeitou integralmente os preceitos éticos estabelecidos pelo Comitê de Ética em Pesquisa da PUC-Campinas. Todos os participantes foram informados sobre os objetivos do estudo, a natureza voluntária da participação e a confidencialidade das respostas, formalizando seu consentimento por meio do TCLE.

Para proteger a identidade das organizações, as empresas foram designadas por letras ou categorias de produto (por exemplo, Empresa A ou X – embalagens, Empresa B ou Y – vidro plano), evitando-se qualquer referência direta que pudesse expor dados estratégicos ou sensíveis.

3.9 Considerações finais da metodologia

A metodologia descrita possibilitou aprofundar a compreensão das práticas de sustentabilidade e dos obstáculos à economia circular no setor vidreiro, oferecendo base empírica sólida para a análise comparativa por eixos do PLANEC (acompanhado de todos os macro objetivos) apresentada nos capítulos seguintes. O uso combinado de entrevistas, formulários padronizados, análise documental e análise de conteúdo

conferiu rigor, confiabilidade e relevância aplicada aos resultados, compatível com os objetivos desta dissertação.

4 RESULTADOS

4.1 Tamanho da cadeia de suprimentos do vidro no Brasil

A cadeia de suprimentos do vidro no Brasil é extensa, diversificada e integrada verticalmente, refletindo o que Ballou (2006; 2010) descreve como “supply chains de alta complexidade e alto custo logístico”, dada a intensidade de transporte, energia e armazenagem. O setor organiza-se em três grandes segmentos — vidro de embalagens, vidro plano e vidros especiais/farmacêuticos — que, em conjunto, abastecem mercados estratégicos como construção civil, alimentos e bebidas, automotivo e saúde. Do ponto de vista estrutural, convivem plantas integradas de grupos globais com produtores nacionais e regionais, formando redes híbridas nas quais produtores, fornecedores de insumos críticos (sílica, barrilha/carbonato de sódio, calcário/dolomita, feldspato, aditivos), provedores de energia (elétrica e térmica) e clientes industriais operam com forte interdependência.

Sob a ótica de estratégia de operações, trata-se de uma cadeia *asset-intensive*, com lead times longos e elevada especificidade de ativos (fornos contínuos, linhas de laminação/tempera, linhas de envase) — o que pressiona níveis de estoque de segurança e a confiabilidade de suprimentos upstream. Em termos de desenho de rede, há um trade-off clássico entre centralização de capacidade de fusão (economias de escala e eficiência energética) e descentralização de etapas de processamento e distribuição (responsividade e redução de custos de última milha), alinhado ao framework custo-responsividade de Chopra e Meindl (2016).

Como enfatiza Ballou (2010), produtos com alto peso específico, baixo valor por unidade de volume e risco de avarias — caso típico do vidro — apresentam custos logísticos elevados, especialmente em transporte rodoviário, embalagem e manuseio. No Brasil, onde a matriz de transporte de cargas permanece majoritariamente rodoviária (entre ~62% e 65% do total de cargas, a depender da fonte e do ano), a pressão de custo é ainda maior, pois a ferrovia e a cabotagem têm participação menor em fluxos de curta e média distância que caracterizam o abastecimento doméstico do setor vidreiro.

Essa predominância rodoviária implica maior variabilidade de lead time (sazonalidade de safras, infraestrutura viária, restrições urbanas) e eleva a probabilidade de efeito chicote (bullwhip effect), como demonstrado por Lee, Padmanabhan e Whang (1997). Em cadeias com demanda dependente de ciclos de

construção civil e consumo de bebidas, a oscilação de pedidos entre varejo, envasadores, transformadores e float houses pode amplificar variações de produção se não houver visibilidade ponta-a-ponta e políticas de planejamento colaborativo (CPFR), S&OP e ATP/CTP robustas (Christopher, 2016; Lambert, 2014).

Entre os insumos críticos, a barrilha (carbonato de sódio) merece destaque, pois responde por parcela relevante do custo de formulação de batch e impacta diretamente a temperatura de fusão e o consumo energético. O Brasil é estruturalmente dependente de importações de barrilha (não há produção doméstica em escala industrial), com predominância histórica de fornecimento a partir dos Estados Unidos — país com amplas reservas naturais de trona — além de origens como Espanha e Turquia. Estudos compilados a partir do Comex Stat indicam que, entre 1997 e 2023, os EUA responderam por cerca de 64% das entregas ao Brasil, seguidos por Espanha (~19%) e Turquia (~10%). Essa dependência implica exposição cambial e a custos de frete marítimo, reforçando a importância de contratos de médio prazo e de gestão de estoques em trânsito (pipeline inventory).

A produção de vidro é intensiva em energia térmica. A literatura técnico-industrial mostra que aumentar a taxa de caco na formulação reduz o consumo energético e as emissões por tonelada produzida, com economia teórica da ordem de 20–30% na etapa de fusão quando se aproxima de altas taxas de cullet, além de ganhos colaterais (maior vida útil de refratários, menor decomposição de carbonatos). Revisões recentes (acadêmicas brasileiras) consolidam valores de referência próximos a 1,2 MJ por kg de vidro poupados quando se substitui 100% de matéria-prima virgem por 100% de caco; ganhos proporcionais se observam em misturas parciais.

Em perspectiva de política setorial e metas de circularidade, iniciativas como a Circula Vidro, coordenada pela ABIVIDRO em parceria com associações de bebidas, estabeleceram meta pública de alcançar 40% de embalagens de vidro recicladas ao ano até 2032, buscando induzir investimentos em coleta, triagem e beneficiamento de cacos, contratos com grandes geradores e rotas logísticas regionais.

A logística reversa de vidro (que já mereceu espaço significativo nesta dissertação) — fluxo de retorno de cacos pós-consumo — não é um “espelho” do fluxo direto (Rogers; Tibben-Lembke, 1999). Exige redes de coleta diferenciadas, contratos estáveis com grandes geradores (bares, restaurantes, eventos, centros de distribuição), integração com cooperativas de catadores e hubs regionais de

beneficiamento (para controle granulométrico e remoção de contaminantes). Guide e Van Wassenhove (2002) ressaltam que o sucesso econômico do reverse supply chain depende de densidade de material, previsibilidade de retornos e qualidade do retornado — três fatores críticos para o vidro no Brasil.

Do ponto de vista normativo, o Decreto n.º 9.177/2017 reforçou a possibilidade de celebração de compromissos e acordos para implementação de sistemas de logística reversa — elemento que vem sendo usado por diferentes setores de embalagens em geral, inclusive vidro, para organizar metas e responsabilidades no âmbito da PNRS.

Apesar dos avanços institucionais, os números nacionais ainda evidenciam espaço relevante de melhoria: levantamentos divulgados pela ABIVIDRO e replicados por diferentes veículos estimam aprox. 25–26% de reciclagem de embalagens de vidro no país em 2023–2024 (ordem de ~400 mil t/ano de caco recuperado), muito abaixo do potencial técnico do material (100% reciclável) e de benchmarks internacionais. As principais barreiras seguem como custo/valor do material nos elos de coleta, dispersão geográfica e a predominância rodoviária em trajetos de baixo ticket por tonelada.

Nesse contexto, a Circula Vidro e programas correlatos reportaram, em 2024–2025, o atingimento de metas intermediárias de implantação (como redes de pontos de entrega voluntária, ampliação de contratos com geradores e campanhas de educação), articulando indústria, marcas usuárias e sociedade civil — uma direção coerente com as exigências de coordenação multistakeholder apontadas por Chopra e Meindl (2016).

A demanda por vidro plano e processado guarda relação direta com ciclos da construção (habitação, comercial e infraestrutura), enquanto o vidro de embalagens acompanha sazonalidades de bebidas, alimentos e cosméticos. Painéis setoriais recentes mostram, por exemplo, crescimento em laminados (+10%) e insulados (+50%) em 2024, sinalizando uma gradativa sofisticação da especificação (desempenho térmico/acústico) na construção civil. Essas mudanças afetam o mix de produção, exigindo flexibilidade de linhas e gestão fina de capacidade (setup, mix scheduling) na malha de transformadores.

No canal bebidas, a coordenação com envasadores demanda políticas de pooling e consórcios de coleta, roteirização dedicada (milk-run reverso), embalagem retornável (quando aplicável) e contratos que compartilhem ganhos de produtividade

da reciclagem. Fisher (1997) sugere diferenciar estratégias para itens “funcionais” (demanda estável, foco em eficiência) vs. “inovativos” (demanda volátil, foco em responsividade). No vidro, essa distinção pode ser aplicada ao mix (por exemplo, envase padrão e sazonais premium) e às linhas de especiais/farmacêuticos (com requisitos rigorosos de qualidade e rastreabilidade).

Atingir uma cadeia circular exige visibilidade ponta-a-ponta de estoques, transportes e retornos. Tecnologias de IoT (sensoriamento de fornos, monitoramento de frotas), TMS/WMS integrados, torres de controle e EDI/API com cooperativas e operadores logísticos podem reduzir o “information lead time” e apoiar decisões de reabastecimento, roteirização dinâmica e consolidação de cargas. Lambert e Cooper (2000; 2008) destacam que a governança interorganizacional — com processos colaborativos de planejamento, previsão e reposição, contratos de desempenho e indicadores compartilhados (OTIF, fill rate, % cullet no batch, custo logístico por t, CO_2 por t) — é condição para capturar valor na fronteira custo-serviço-sustentabilidade.

No curto e médio prazos, aumentar a taxa de cullet na formulação é a alavanca mais imediata para reduzir consumo energético e emissões específicas (kg CO_2/t), junto com eficiência de fornos (oxicombustão/oxy-boost, regeneradores, recuperação de calor, controle avançado). Esse comportamento pode promover reduções de até ~30% na energia de fusão ao se maximizar o uso de caco, além de evitar emissões de processo associadas à decomposição de carbonatos (liberação de CO_2).

No horizonte de transição energética, a indústria europeia tem sinalizado rotas de hibridização/elétricos e uso de hidrogênio de baixo carbono; parte dessas soluções tende a migrar para outras geografias conforme maturarem custos e infraestrutura. Documentos setoriais recentes consolidam a visão de uma “indústria do vidro competitiva e descarbonizada”, combinando eficiência, eletrificação progressiva e aumento de conteúdo reciclado.

Podemos entender em forma de síntese que as seguintes implicações são relevantes para o Brasil:

1. Estrutura e custo — A cadeia é intensiva em capital e energia; a predominância rodoviária pressiona custos logísticos e emissões. Estratégias de redes “hub-and-spoke” com beneficiamento regional de cacos e uso de modais alternativos onde viáveis (cabotagem/ferrovia para longas distâncias) tendem a melhorar a relação custo-serviço.

2. Suprimentos críticos — Dependência de barrilha importada exige gestão de risco (contratos de longo prazo, hedge cambial, safety stocks) e reforça o valor do cullet como “quase-insumo” doméstico que reduz exposição a choques externos.
3. Logística reversa — Avanços institucionais (Decreto n.º 9.177/2017) e iniciativas setoriais (Circula Vidro) criaram arcabouço para acelerar a circularidade, mas a densidade de coleta e a economia de transporte ainda são gargalos; metas de 40% até 2032 são factíveis, se houver escala em hubs regionais, contratos com grandes geradores e integração com cooperativas e prefeituras (Ciclosoft/Cempre).
4. Mercados-cliente — O avanço em laminados/insulados sugere captura de valor por desempenho (eficiência energética de edifícios, conforto acústico). Essa tendência pressiona capacidades de processamento, planejamento de mix e qualificação de fornecedores.
5. Descarbonização — A rota “cullet-first” é a mais coste-efetiva no curto prazo para reduzir energia e emissões por t de vidro; no médio prazo, hibridização/elétrica e combustíveis de baixo carbono devem compor o roadmap tecnológico.

4.2 Práticas sustentáveis no setor vidreiro brasileiro

A pesquisa evidencia que as práticas sustentáveis na indústria vidreira brasileira avançam de forma assimétrica entre segmentos, mas convergem para três vetores: descarbonização, eficiência no uso de recursos e economia circular. Esse alinhamento é consistente com os princípios da Fundação Ellen MacArthur e com a família de normas ISO 59000, em especial a ISO 59020:2024, que estabelece requisitos e orientações para medir e avaliar o desempenho de circularidade com base em indicadores mandatórios e opcionais — avanço relevante porque cria um léxico comum e auditável para comparações intra e intersetoriais.

No plano das ferramentas de transparência, cresce a adoção de Declarações Ambientais de Produto (EPD), com registros que cobrem produtos de vidro plano e processado fabricados no Brasil, e comunicações padronizadas de potencial de aquecimento global “berço-ao-portão” (cradle-to-gate). Essas EPDs, verificadas por terceira parte, indicam a maturidade do setor no uso de Avaliação do Ciclo de Vida

(ACV) e dão base técnica para metas climáticas e de ecoeficiência reportadas nos relatórios corporativos.

Do ponto de vista operacional, o aumento do teor de caco pós-consumo (PCR) continua sendo a alavanca mais custo-efetiva de curto prazo para reduzir consumo específico de energia e emissões de processo, além de diminuir a pressão sobre matérias-primas virgens. No Brasil, a estruturação de um sistema setorial de logística reversa para embalagens de vidro vem sendo consolidada por instrumentos legais — PNRS e regulamentações subsequentes, incluindo o Decreto n.º 9.177/2017 e, mais recentemente, o Decreto n.º 11.300/2022, que disciplina a governança e metas do sistema — e por uma governança dedicada que define metas plurianuais. Esses marcos vêm permitindo o monitoramento por notas fiscais rastreadas e relatórios oficiais de desempenho.

Os dados mais recentes indicam avanço de desempenho em 2023–2024: a entidade gestora do sistema comunicou o cumprimento da meta regulamentar de 25,1% no ano-base 2023, e estimou a destinação apropriada de 30,2% quando considerado material adicional não capturado pela coleta certificada — cifras ainda distantes do potencial técnico do vidro, mas compatíveis com a fase de expansão da malha logística reversa. Paralelamente, o programa setorial Circula Vidro mantém meta pública de atingir 40% de embalagens de vidro recicladas/ano até 2032, estruturando hubs regionais de beneficiamento, pontos de entrega voluntária e contratos com grandes geradores para elevar massa e qualidade do caco.

A heterogeneidade entre segmentos observada no seu levantamento empírico é coerente com a literatura e com evidências setoriais. No vidro plano, há alto grau de padronização de metas 2030/2050 e difusão tecnológica em eficiência térmica (controle avançado de fornos, digitalização do processo), reincorporação quase total do caco pré-consumo (sucata de linha “float”) e iniciativas de substituição parcial de combustíveis fósseis por renováveis, com casos pioneiros de uso de biometano em fornos de produção float no Brasil, associados a metas explícitas de redução de CO_2. Essas iniciativas indicam trajetória concreta de descarbonização do Escopo 1, com co-benefícios em qualidade do ar e estabilidade de suprimento energético.

No segmento de embalagens, há progresso em conteúdo reciclado, contratos de logística reversa com cooperativas e municípios, campanhas de educação ambiental e expansão de PEVs; iniciativas industriais recentes também apontam substituição parcial de gás natural por biometano em fornos, como rota de redução de

emissões diretas e diversificação de matriz. Contudo, persiste baixa padronização de reporte nacional sobre percentuais médios de PCR por cor e família de produto, o que dificulta comparabilidade longitudinal e benchmarking entre atores. A harmonização com ISO 59020 e a maior adoção de EPDs específicas para famílias de embalagens podem reduzir essa assimetria informacional.

Para vidros especiais e farmacêuticos, a governança de qualidade é tradicionalmente mais rígida por exigências regulatórias, e a literatura destaca altos padrões internacionais de rastreabilidade. No entanto, há escassez de dados Brasil-específicos sobre logística reversa e inclusão social, em parte pela menor volumetria, maior criticidade de especificações e cadeias de valor mais concentradas. Essa lacuna recomenda a criação de indicadores públicos setoriais alinhados às métricas de circularidade (recuperação e reuso de materiais, percentual de conteúdo reciclado, intensidade de carbono por unidade funcional), como propõe a ISO 59020.

A literatura de sistemas socioecológicos e transição sustentável reforça a direção observada. Folke *et al*. associam a capacidade adaptativa de indústrias complexas à combinação de inovação tecnológica, governança colaborativa e padronização de indicadores, enquanto Rockström *et al*. vinculam descarbonização e eficiência de materiais à operação dentro dos limites planetários. Sua amostra confirma esse padrão: atores que combinam metas climáticas claras, instrumentos financeiros verdes (quando existentes), PPAs de energia renovável e gestão de ciclo de vida tendem a exibir maior velocidade de difusão de circularidade e transparência — efeito reforçado quando há indicadores setoriais comparáveis.

No eixo social e territorial (governança), a integração com cooperativas de catadores é decisiva para escalar a circularidade: quando são remuneradas como prestadoras de serviço ambiental, operam PEVs com sensoriamento e participam de programas de educação comunitária, observa-se aumento de massa coletada e de qualidade do caco, com impacto direto na viabilidade econômica do retorno e no desenvolvimento local. A literatura brasileira destaca que remuneração e custo de transporte são obstáculos recorrentes; portanto, contratos de longo prazo com indexadores e hubs regionais de beneficiamento reduzem custos logísticos por tonelada e perdas de qualidade. Essa abordagem é coerente com o princípio de transição justa e com a visão de telecouplings (fluxos interdependentes de materiais, capitais e benefícios sociais entre regiões).

Em síntese, as práticas sustentáveis mais efetivas na indústria do vidro no Brasil, hoje, combinam: (i) elevação do conteúdo de caco com qualidade controlada e rastreada; (ii) substituição parcial de combustíveis por biometano e estudos de hibridização/elétrica para a etapa de fusão; (iii) EPDs e ACV como base para decisões de P&D, compras e comunicação com o mercado; (iv) padronização de indicadores de circularidade à luz da ISO 59020, favorecendo comparabilidade; e (v) governança multissetorial ancorada em contratos com cooperativas e prefeituras, metas plurianuais (como a meta de 40% até 2032 do sistema setorial) e monitoramento via notas fiscais e relatórios oficiais. Esses elementos, quando combinados, aceleram a curva de aprendizagem, reduzem intensidade de carbono por tonelada de vidro e ampliam o valor social da cadeia de reciclagem no território.

4.3 Barreiras e obstáculos à plena circularidade

Apesar dos avanços em práticas sustentáveis, a pesquisa revela que a plena circularidade do vidro ainda está longe de ser alcançada no Brasil. As barreiras identificadas confirmam o que Kirchherr *et al*. (2017) e Korhonen *et al*. (2018) classificam como obstáculos institucionais, tecnológicos, culturais e econômicos à implementação da economia circular.

Um dos principais entraves é a fragmentação de dados: a ausência de reporting padronizado sobre teor de caco reciclado por unidade, perdas por contaminação, emissões do escopo 3, custos e eficiência de triagem e beneficiamento impedem a comparabilidade entre empresas e dificultam políticas públicas baseadas em evidências. Soma-se a isso o custo logístico elevado, acentuado pelo peso e fragilidade do vidro, baixa densidade do material coletado, falta de hubs regionais de beneficiamento e de contratos de longo prazo com grandes geradores. Essa combinação de fatores aumenta a taxa de rejeito e reduz a viabilidade econômica do reaproveitamento.

Outro desafio significativo é o acesso desigual a instrumentos financeiros verdes: enquanto empresas multinacionais conseguem emitir green bonds ou firmar PPAs e SLL/SLB atrelados a metas de carbono e circularidade, os fabricantes nacionais de médio porte dependem majoritariamente de crédito tradicional, com custos mais altos e prazos mais curtos, o que limita investimentos em fornos de baixa emissão, digitalização e hubs de beneficiamento.

A inclusão socioeconômica, embora reconhecida como essencial para a transição justa, permanece incipiente em boa parte do setor: muitas iniciativas ainda são tratadas como ações filantrópicas pontuais, e não como políticas estruturadas de longo prazo, dificultando a profissionalização de cooperativas e a previsibilidade de renda para os trabalhadores da coleta seletiva. Barreiras institucionais e culturais — como a falta de alinhamento entre municípios, estados e empresas, resistências locais à implantação de infraestrutura de coleta seletiva inclusiva e baixo engajamento do consumidor — agravam o problema.

Ballou (2010) argumenta que cadeias de suprimentos eficazes dependem de coordenação sistêmica, padronização de processos e integração de informações. Essa premissa, aplicada à logística reversa do vidro, demonstra que, sem arranjos colaborativos multissetoriais — envolvendo fabricantes, cooperativas, governos municipais e financiadores —, não há escala possível para alcançar as metas nacionais de circularidade.

Assim, a superação desses obstáculos requer padrões unificados de indicadores (como propõe a ISO 59020), integração entre metas e orçamentos climáticos, contratos inclusivos com cooperativas e uso intensivo de instrumentos financeiros verdes. Sem esses fatores, as empresas brasileiras tenderão a manter um padrão de circularidade restrito a poucos líderes, perpetuando desigualdades regionais e retardando a contribuição do setor para os compromissos climáticos e de economia circular do país.

4.4 Resultados da pesquisa - Eixos

4.4.1 Eixo 1 – Metas, padrões e indicadores

A pesquisa demonstra que o Eixo 1 do Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC) constitui a espinha dorsal para orientar o setor vidreiro rumo à circularidade e à neutralidade climática. Foram evidenciados compromissos cada vez mais explícitos em torno de quatro dimensões essenciais: a definição de metas auditáveis para o conteúdo de caco (cullet) e a reciclagem pós-consumo; o desenho de embalagens e produtos com foco em reciclabilidade; a descarbonização das operações industriais contemplando os Escopos 1, 2 e 3 de emissões de gases de efeito estufa; a eficiência hídrica e energética; e o estabelecimento de indicadores de desempenho voltados para a gestão de resíduos e perdas. Tais metas convergem com os princípios das normas ISO 59000, dos relatórios de risco climático segundo o

TCFD e das Declarações Ambientais de Produto (EPD), que se consolidam como base de mensuração e comparabilidade entre empresas e regiões.

Nos achados por segmento, observa-se que, entre os fabricantes de vidros de embalagens, a maioria já publica metas climáticas de médio prazo – geralmente com horizonte 2030, ancoradas em linhas de base históricas compreendidas entre 2017 e 2019, sobretudo para os Escopos 1 e 2. Uma fração significativa, porém não majoritária, divulga também a composição média de cullet incorporado ao forno, seja em valores agregados ou por faixa de cor e tipologia de embalagem. As faixas divulgadas indicam patamares superiores a 40% para garrafas verdes ou âmbar, enquanto o vidro incolor (“flint”) permanece em torno de 15%, reflexo da menor oferta de caco pós-consumo dessa tonalidade. O caco interno de processo, por sua vez, alcança níveis próximos de 20% nas operações médias. Embora as EPDs tenham começado a se disseminar no segmento, o recorte Brasil-específico ainda não é uniforme e, muitas vezes, aparece diluído em relatórios globais. O Escopo 3 de emissões – associado à logística, fornecedores de matérias-primas e distribuição – ainda é calculado e reportado de forma minoritária, carecendo de padronização.

Entre os fabricantes de vidro plano, a pesquisa aponta um alto grau de maturidade na padronização de metas e indicadores. Há ampla presença de EPDs específicas para linhas de produtos e inventários completos de emissões, frequentemente com compromissos 2030/2050 vinculados a investimentos de capital destinados a combustíveis alternativos, maior eficiência térmica dos fornos e substituição parcial de combustíveis fósseis. É comum a reincorporação quase total do cullet pré-consumo gerado no processo float, complementada por programas de retorno de aparas de clientes industriais de transformação, cujos volumes variam de 10% a 70% conforme a unidade produtiva. O Escopo 3 aparece não apenas mensurado, mas em alguns casos já coberto por metas progressivas e integrado a mecanismos financeiros internos, revelando maior sofisticação.

No segmento de vidros especiais e farmacêuticos, a pesquisa demonstra a presença de metas climáticas ambiciosas e padrões regulatórios robustos, notadamente em termos de consumo energético e emissões controladas por normas internacionais. A publicação de EPDs e estudos de ciclo de vida (LCA) é frequente quando exigida por clientes ou por legislações específicas, especialmente no atendimento a setores regulados. Entretanto, a transparência referente ao recorte

brasileiro, seja para conteúdo de cullet, seja para emissões de Escopo 3, ainda é limitada e dependente de relatórios corporativos globais.

A literatura científica respalda a importância dessa estrutura. Folke *et al.* (2016) destacam que a padronização de métricas robustas fortalece a capacidade adaptativa de setores industriais diante de pressões ambientais. Rockström *et al.* (2009; 2023) situam a descarbonização e a eficiência no uso de materiais como condições básicas para que as atividades produtivas operem dentro dos limites planetários. Liu *et al*. (2018) reforçam, por meio do conceito de telecouplings, que cadeias de suprimento globais só podem internalizar externalidades – como emissões e resíduos – quando dispõem de indicadores claros e auditáveis. À luz da ISO 59000, o vínculo entre metas de circularidade, quantificação de cullet e métricas de desvio de aterro ou de eficiência hídrica e energética é indispensável para orientar a governança e permitir comparabilidade setorial.

Apesar dos avanços, a pesquisa evidencia lacunas críticas. Em primeiro lugar, faltam recortes nacionais mais granulares, que discriminem indicadores por unidade fabril ou região, como taxas de perdas por contaminação, eficiência de triagem e beneficiamento ou indicadores logísticos de logística reversa (LR) por praça. Em segundo, persiste a ausência de Escopo 3 padronizado com metas intermediárias para 2030, o que dificulta a internalização do impacto da cadeia a montante e a jusante. Por fim, observa-se limitada integração financeira dessas metas às ferramentas de planejamento corporativo, carecendo de mecanismos como orçamentos climáticos anuais, precificação interna de carbono e vinculação de PPAs ou contratos de biometano às metas de descarbonização.

A consolidação do Eixo 1 demanda padronização setorial de metas-núcleo – tais como percentual de cullet por família de vidro, intensidade de carbono por tecnologia de forno (tCO_2/t), índice de desvio de aterro e taxa de retorno pós-consumo por cadeia –, acompanhadas de linhas de base uniformes (2017–2019) e revisões periódicas. Também é prioritário harmonizar os inventários de Escopo 3, estruturar dashboards nacionais com dados por planta e por região para cullet, emissões, água, resíduos e LR, e ligar metas a instrumentos financeiros internos, como orçamento climático e precificação de carbono. O quadro final mostra que vidro plano já apresenta elevada maturidade na definição de padrões e indicadores; embalagens avança com metas de Escopos 1–2 e faixas de cullet, mas precisa de maior Brasil-especificidade

e integração financeira; enquanto vidros especiais/farma revelam governança global robusta, porém com espaço para ampliar a transparência local.

4.4.2 Eixo 2 – Capacitação, pesquisa e inovação

A pesquisa demonstra que a execução das metas do PLANEC só se materializa quando as empresas conseguem articular capacitação da força de trabalho, pesquisa & desenvolvimento (P&D) e difusão tecnológica. Essas três dimensões funcionam de forma interdependente: a capacitação garante competências operacionais para atingir eficiência energética, segurança e qualidade; o P&D viabiliza novas tecnologias de baixo carbono e produtos mais circulares; e a difusão permite que práticas e soluções escalem além dos núcleos pioneiros.

No segmento de embalagens, a maioria dos fabricantes mantém programas formais de treinamento, abrangendo segurança do trabalho, operação de fornos e noções de sustentabilidade, mas apenas uma parte publica indicadores de horas/empregado/ano ou cobertura por tema. No campo da inovação, destacam-se projetos de eletrificação ou hibridização de fornos, estratégias para aumentar a incorporação de cullet externo e automatização de processos industriais. Algumas linhas de maior valor agregado introduzem EPDs como instrumento de marketing ambiental e desenvolvem hubs de cocriação com clientes para design de embalagens recicláveis, porém essas iniciativas ainda não são predominantes.

Entre os fabricantes de vidro plano, a pesquisa demonstra um ambiente de P&D institucionalizado, com centros técnicos próprios, treinamento contínuo de operadores e frameworks de inovação vinculados diretamente às metas de descarbonização, incluindo desenvolvimento de fornos de menor emissão e uso de combustíveis alternativos (hidrogênio, biometano, oxicombustão). A digitalização avança por meio de sistemas de controle ótico e energético, analytics de processo e monitoramento de indicadores em tempo real. As EPDs cumprem papel de infraestrutura de difusão setorial, reforçando a transparência e facilitando a harmonização de métricas.

O segmento de vidros especiais e farmacêuticos evidencia forte integração entre P&D de materiais, requisitos de certificação regulatória e capacitação em processos críticos. É comum o co-desenvolvimento com clientes em setores de alta exigência sanitária, bem como a atualização contínua de processos estéreis e rastreabilidade. Contudo, os indicadores públicos de capacitação são menos

detalhados, e a difusão de boas práticas tende a permanecer restrita a ambientes corporativos internos.

Autores de referência dão sustentação a essas constatações. Folke *et al*. (2016) ressaltam que inovação associada ao aprendizado social aumenta a capacidade adaptativa das cadeias industriais. Rockström *et al*. (2009) defendem que tecnologias de baixo carbono e uso eficiente de materiais são cruciais para operar dentro dos limites planetários. Liu *et al*. (2018) enfatizam a importância da transferência de conhecimento ao longo das cadeias de suprimentos globais, destacando que a coordenação entre elos e territórios (telecouplings) acelera a difusão de inovações. Os resultados desta pesquisa indicam que P&D institucionalizado combinado a capacitação robusta e instrumentos de difusão – como EPDs, hubs regionais e parcerias universidade-indústria – potencializa a execução das metas do Eixo 1.

Ainda assim, surgem lacunas relevantes. Falta padronização de métricas de capacitação (horas de treinamento por empregado/ano, cobertura por trilhas temáticas como segurança, qualidade e circularidade), além de expansão das parcerias formais com universidades e centros de pesquisa, sobretudo no segmento de embalagens. Também há carência de programas regionais de difusão voltados para pequenas e médias empresas transformadoras e recicladoras. O segmento de especiais, por sua vez, carece de maior divulgação dos indicadores Brasil-específicos.

Recomenda-se estabelecer métricas mínimas de capacitação setorial, criar laboratórios cooperativos focados em fornos de baixa emissão, melhoria da qualidade do cullet e automação industrial, adotar EPDs como padrão em embalagens e garantir hubs regionais de cocriação voltados para design de reciclabilidade e escalonamento de pilotos tecnológicos. Em conclusão, a pesquisa demonstra que o vidro plano lidera em institucionalização de P&D e difusão; embalagens avançam, porém precisam padronizar métricas de capacitação e expandir a aplicação de EPDs e hubs de inovação; enquanto vidros especiais/farma preservam alto padrão de P&D em nichos regulados, mas carecem de maior transparência local e integração com o ecossistema de inovação nacional.

4.4.3 Eixo 3 – Minimização de resíduos e logística reversa

A pesquisa revela que o Eixo 3 do PLANEC é central para aumentar a circularidade e reduzir a pegada de carbono do setor, pois trata de metas

estabelecidas pelo Decreto n.º 11.300/2022, relativas à coleta, triagem, beneficiamento e reincorporação de cullet, além de abordar os gargalos logísticos e de qualidade que restringem o retorno do vidro pós-consumo às fornalhas. Entre os obstáculos mais recorrentes identificados pelos respondentes destacam-se o custo logístico elevado, resultado da baixa densidade do vidro fragmentado; a contaminação por materiais indesejados que prejudicam a fusão; e a escassez de hubs regionais capazes de prestar serviços de beneficiamento e rastreabilidade.

No segmento de embalagens, todas as empresas afirmam reincorporar integralmente o caco interno de processo. As práticas de logística reversa estruturada envolvem programas de Pontos de Entrega Voluntária (PEV) e parcerias com cooperativas e municípios, resultando em redes que variam de dezenas a centenas de pontos de coleta e volumes anuais que ultrapassam 1.000 toneladas nos arranjos mais maduros. Em alguns casos, há monitoramento sistemático da taxa de rejeito e contaminação, embora a transparência sobre o percentual de PCR (Post-Consumer Recycled) por família e cor de vidro ainda seja incipiente. Persistem desafios logísticos para ampliação da cobertura em regiões mais afastadas dos polos de beneficiamento.

Entre os fabricantes de vidro plano, a pesquisa confirma a reincorporação praticamente total do cullet pré-consumo, além da implementação de programas de retorno de aparas de clientes industriais (por exemplo, de vidraçarias e fabricantes de esquadrias), alcançando índices que variam de 10% a 70% do insumo total dependendo da unidade fabril. As EPDs são amplamente disseminadas e, somadas ao uso de combustíveis alternativos, contribuem para reduzir emissões no derretimento. A logística reversa do vidro pós-consumo oriundo de demolições e reformas ainda é incipiente, mas apresenta sinais de crescimento com o surgimento de processadores especializados e padrões de rastreabilidade.

No segmento de vidros especiais/farma, a pesquisa aponta projetos-piloto de retorno de embalagens e materiais vitrocerâmicos, de alta complexidade técnica e sanitária, com potencial de gerar spillovers tecnológicos relevantes para o restante do setor.

A literatura indica que o fechamento de ciclos materiais é chave para a resiliência socioecológica. Folke *et al*. (2016) destacam que sistemas adaptativos requerem gestão estável dos fluxos materiais; Rockström *et al*. (2009) ressaltam a necessidade de baixa intensidade de carbono e redução absoluta de resíduos; e Liu *et al*. (2015) demonstram que contratos intersetoriais de longo prazo e coordenação

logística aumentam a escala e a eficiência das cadeias reversas. A pesquisa comprova que contratos plurianuais combinados a PEVs monitorados e beneficiamento qualificado elevam tanto a qualidade do PCR quanto a eficiência térmica do processo de fusão.

Ainda assim, a governança do eixo enfrenta lacunas importantes. Faltam dados Brasil-específicos por planta e praça – como volume total anual (t/ano), perdas por contaminação, rejeito por PEV e eficiência de rotas –, bem como estratégias integradas com grandes geradores institucionais (bares, hotéis, arenas esportivas e redes varejistas) por meio de contratos guarda-chuva. Outro ponto crítico é o design para circularidade, que deve priorizar a leveza de embalagens, rótulos removíveis e compatibilidade de tampas e roscas. Por fim, a divulgação de percentuais médios de PCR por família de embalagens B2C ainda é pouco frequente.

Para enfrentar essas lacunas, recomenda-se estabelecer KPIs padronizados – como t/ano coletadas por praça, %PCR por família/cor, índices de rejeito/contaminação e custo logístico por tonelada –, firmar contratos com grandes geradores, ampliar os acordos de retorno em vidro plano com processadores e pilotos para resíduos de demolições e instalar hubs regionais de beneficiamento com metas de qualidade e rastreabilidade auditável. A síntese revela que embalagens já apresentam arranjos maduros de LR com impacto mensurável, vidro plano consolidou a minimização de resíduos internos e vem expandindo o retorno de clientes, enquanto vidros especiais/farma avançam por meio de projetos-piloto tecnicamente exigentes, ainda restritos em escala.

4.4.4 Eixo 4 – Mecanismos financeiros e incentivos

A pesquisa demonstra que a transição para uma cadeia vidreira mais circular e de baixa emissão de carbono depende de instrumentos financeiros capazes de reduzir o custo de capital, mitigar riscos e direcionar investimentos para metas ambientais concretas. Três mecanismos emergem como pilares nesse processo: primeiro, a utilização de títulos e empréstimos verdes (green bonds/loans) e de Sustainability-Linked Loans e Bonds (SLL/SLB) ancorados em KPIs materiais, tais como intensidade de emissões (tCO_2/t), percentual de cullet externo na composição do forno, participação de fontes renováveis na matriz elétrica e taxas de reaproveitamento de resíduos; segundo, a adoção crescente de Power Purchase Agreements (PPA), inclusive com biometano e biogás, que viabilizam a descarbonização do Escopo 2 e

asseguram previsibilidade de custo e fornecimento energético de baixo carbono; e terceiro, a implementação de preço interno de carbono e orçamentos climáticos anuais, que permitem priorizar projetos de retrofit de fornos, substituição de combustíveis fósseis, ampliação da logística reversa e eficiência térmica.

No segmento de vidros de embalagens, a pesquisa indica um avanço gradual: cresce a adesão a PPAs e linhas de financiamento voltadas à eficiência energética, e parte dos fabricantes já financeiriza seus programas de logística reversa e aumento de conteúdo de cullet por meio de SLL/SLB ou green bonds use-of-proceeds. Entretanto, uma parcela considerável do segmento ainda não consolidou frameworks verdes formais, limitando-se a publicar KPIs técnicos nos relatórios ESG sem traduzi-los em instrumentos de captação atrelados a metas, o que restringe o acesso a crédito mais barato e incentivos fiscais.

Entre os fabricantes de vidro plano, a pesquisa evidencia um grau de maturidade superior. O segmento demonstra governança financeira alinhada a padrões internacionais, apoiada na integração de EPDs e na adoção das recomendações do TCFD, o que reduz a percepção de risco técnico por parte de bancos e investidores. Destaca-se a presença de preço interno de carbono e orçamento climático anual, que disciplinam a priorização de investimentos em fornos de baixa emissão e combustíveis alternativos (biometano, hidrogênio, oxicombustão). Os SLL/SLB aparecem mais disseminados nesse segmento do que em embalagens, refletindo a vinculação explícita entre compromissos climáticos e métricas verificáveis de desempenho.

No caso dos vidros especiais e farmacêuticos, a pesquisa demonstra que o CAPEX é intensivo em tecnologia e eficiência energética; muitas empresas já contrataram energia renovável e se valem de linhas multilaterais ou arranjos intragrupo para financiar upgrades de equipamentos. Embora os frameworks públicos de financiamento verde sejam menos visíveis, a elevada elegibilidade do segmento para esse tipo de instrumento é clara, devido ao seu perfil regulatório e tecnológico.

À luz da literatura, ICMA (Green Bond Principles) e LMA (SLL Principles) apontam que KPIs materiais com verificação externa reduzem a assimetria de informação e, portanto, o custo de capital. Folke e Rockström (2016) destacam que a precificação de carbono e a integração das metas climáticas aos orçamentos corporativos funcionam como alavancas de transição sistêmica, internalizando externalidades ambientais no cálculo econômico. Liu *et al*. (2018) acrescentam que a

coordenação intersetorial e territorial aumenta a bancabilidade de projetos de logística reversa e energia renovável, fortalecendo a viabilidade financeira da circularidade.

Mesmo com progressos, permanecem lacunas importantes. Falta padronização dos KPIs financiáveis para empresas de porte médio, que ainda têm dificuldade em comprovar resultados materiais auditáveis para acessar linhas verdes. O uso de debêntures incentivadas e de Second-Party Opinions (SPO) no Brasil continua restrito, deixando de mobilizar capital do mercado doméstico. Além disso, há espaço significativo para ampliar PPAs com biometano nas rotas térmicas, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis.

As recomendações derivadas da pesquisa incluem: formalizar frameworks de financiamento sustentável (tanto use-of-proceeds quanto SLL/SLB) com KPIs padronizados – intensidade de carbono, percentual de cullet externo e participação renovável – e com verificação independente (SPO); expandir PPAs e contratos de biometano em especial para as rotas de maior consumo térmico; instituir preço interno de carbono e envelope anual de CAPEX climático em todos os segmentos; e mobilizar bancos públicos e multilaterais para financiar projetos de logística reversa, beneficiamento de caco e retrofits de fornos.

A síntese do Eixo 4 demonstra que o vidro plano lidera na vinculação entre metas ambientais e instrumentos financeiros, já internalizando preço de carbono e orçamentos climáticos; o segmento de embalagens avança, com PPAs e casos pontuais de SLL/SLB, mas precisa padronizar frameworks e ampliar a escala de uso de instrumentos de dívida sustentável; e os vidros especiais/farma apresentam elevada elegibilidade e desempenho energético expressivo, mas carecem de maior divulgação e padronização de indicadores financeiros verdes para potencializar captação e escalabilidade.

4.4.5 Eixo 5 – Inclusão social e desenvolvimento regional

A pesquisa evidencia que o Eixo 5 do PLANEC amplia o escopo da circularidade ao reconhecer que a transição para uma economia circular no setor vidreiro precisa ser também socialmente inclusiva e territorialmente equilibrada. Quatro frentes principais foram identificadas: inclusão produtiva via logística reversa (integração de cooperativas, PEVs, compras estruturadas e remuneração por serviços ambientais); desenvolvimento regional (geração de empregos, estímulo a compras locais, investimento produtivo e energético descentralizado); diversidade, equidade e

inclusão, bem como segurança do trabalho e direitos; e educação ambiental e engajamento comunitário.

O contexto de políticas públicas federais, em especial a coleta seletiva inclusiva, induziu uma transição gradual de doações pontuais para arranjos contratuais com metas de fornecimento de caco e pagamento por serviços ambientais, conferindo maior previsibilidade de renda às cooperativas.

No segmento de vidros de embalagens, a pesquisa demonstra modelos maduros de inclusão social ancorados em contratos com cooperativas e hubs logísticos, garantindo renda recorrente a centenas de trabalhadores e volumes anuais superiores a 1.000 t nos programas mais estruturados. Esses arranjos costumam combinar redes extensas de PEVs – variando de dezenas a centenas de pontos – e campanhas educativas comunitárias, ampliando o alcance e a taxa de retorno do vidro. Também há avanços em indicadores de diversidade e inclusão (D&I), como maior presença de mulheres em operações e logística e registro de horas de formação continuada, embora ainda falte padronização e publicação sistemática desses dados.

Entre os fabricantes de vidro plano, a pesquisa indica impactos territoriais relevantes, resultantes tanto da logística de retorno de caco de clientes industriais, que gera serviços locais de transporte e triagem em rotas curtas, quanto de investimentos produtivos e energéticos descentralizados, como instalações solares e plantas de combustíveis alternativos. No que diz respeito a direitos, diversidade e equidade salarial, predominam códigos corporativos e políticas amplas, mas ainda faltam séries históricas detalhadas sobre empregos locais, percentual de compras regionais e indicadores de equidade de remuneração entre gêneros e cargos.

O segmento de vidros especiais e farmacêuticos apresenta programas sociais consistentes e compromissos globais de liderança feminina acima de 30%, além de iniciativas de engajamento educacional e científico voltadas para comunidades e universidades. Entretanto, a disponibilidade de dados Brasil-específicos é limitada, refletindo a forte centralização de reportes na matriz global.

A literatura corrobora esses achados: Folke *et al*. (2016) ressaltam que governança colaborativa e aprendizado social aumentam a resiliência das cadeias de suprimento; Rockström *et al*. (2009) defendem que uma transição justa exige benefícios sociais tangíveis e territoriais, garantindo que comunidades locais se beneficiem do avanço tecnológico e ambiental; e Liu *et al*. (2018) enfatizam que, nas cadeias interconectadas por telecouplings, contratos estáveis e inclusão produtiva

condicionam a previsibilidade dos fluxos reversos. A pesquisa confirma que contratos plurianuais combinados a PEVs bem distribuídos e programas de educação ambiental ampliam a massa coletada, estabilizam a renda dos catadores e reforçam a aceitação social da circularidade, enquanto investimentos em infraestrutura energética e produtiva ancoram empregos e dinamizam economias locais.

Persistem, todavia, lacunas estruturais: não há KPIs sociais padronizados que indiquem, por exemplo, o número de cooperativas parceiras, pessoas beneficiadas, tonelagem anual coletada, valor pago por serviço ambiental e taxa de rejeito por praça; faltam indicadores territoriais de desenvolvimento regional, como empregos diretos e indiretos gerados, percentual de compras locais e impacto em renda municipal; os indicadores de diversidade e equidade operacional – participação de mulheres em funções de operação e liderança, equidade salarial, proporção de aprendizes e PCDs por unidade – não são publicados de forma consistente; e ainda há ausência de auditoria social independente e de painéis nacionais que consolidem essas métricas.

A pesquisa recomenda padronizar os KPIs do Eixo 5 com desagregação regional, publicar painéis Brasil anuais por segmento e por unidade produtiva, vincular as metas de inclusão social diretamente aos contratos de logística reversa (estabelecendo metas por praça e índices de qualidade do caco) e condicionar incentivos econômicos à comprovação de indicadores sociais, tais como empregos locais, horas de formação e metas de equidade salarial e de gênero, alinhados aos objetivos da coleta seletiva inclusiva.

A síntese final do Eixo 5 demonstra que o segmento de embalagens já possui modelos de inclusão social tracionados pela logística reversa, com resultados significativos na renda de cooperativas e no engajamento comunitário; o vidro plano traduz seus investimentos em impactos territoriais positivos, ao estimular serviços e fornecedores locais e diversificar sua matriz energética; e os vidros especiais/farma apresentam boa governança social em nível global e compromissos de liderança feminina e educação, mas ainda têm amplo espaço para ampliar a transparência e a mensuração dos impactos locais no Brasil.

4.4.6 Síntese comparativa setorial do PLANEC (Eixos 1 a 5)

A presente síntese resulta da consolidação das respostas fornecidas pelos fabricantes brasileiros de vidro dos três segmentos — embalagens, vidro plano e vidros especiais/farmacêuticos — complementadas por análise documental de

relatórios de sustentabilidade (ESG), Declarações Ambientais de Produto (EPDs), compromissos climáticos e dados públicos sobre logística reversa e inclusão social. A redação evita a menção a empresas específicas e adota a linguagem “a pesquisa demonstra” ou “a pesquisa aponta”, enfatizando a base empírica do estudo e garantindo neutralidade analítica.

A pesquisa mostra que os cinco eixos do PLANEC se interligam e descrevem uma trajetória comum rumo à circularidade, descarbonização, viabilidade econômica e legitimidade social do setor vidreiro. Cada segmento da indústria apresenta níveis diferentes de maturidade, mas todos convergem em reconhecer a necessidade de metas padronizadas, infraestrutura logística e financeira, e inclusão social.

No Eixo 1 – Metas, padrões e indicadores, destaca-se o vidro plano, que já apresenta ampla padronização de EPDs, metas 2030/2050 bem definidas, integração de indicadores à governança climática e vinculação a investimentos em fornos de menor emissão. O segmento de embalagens tem avançado nas metas para Escopos 1 e 2 e na incorporação de cullet reciclado, mas ainda carece de transparência quanto aos percentuais médios de PCR no Brasil e de maior padronização do Escopo 3. Já os vidros especiais/farmacêuticos apresentam metas climáticas globais robustas e altos padrões regulatórios, porém divulgam menos detalhes nacionais.

No Eixo 2 – Capacitação, pesquisa e inovação, o vidro plano novamente lidera, com P&D institucionalizado, treinamento técnico contínuo e hubs de inovação voltados à redução de emissões, automação e digitalização de processos. O segmento de embalagens também avança em automação de fornos híbridos/elétricos e melhoria da qualidade do cullet, mas a divulgação das métricas de capacitação (por exemplo, horas/empregado) ainda é irregular. Já os vidros especiais/farmacêuticos mantêm alto investimento em P&D e padrões regulatórios rígidos, porém concentram a difusão tecnológica em clientes específicos, sem indicadores nacionais consolidados de capacitação.

O Eixo 3 – Minimização de resíduos e logística reversa evidencia que o segmento de embalagens alcançou modelos mais maduros de logística reversa, articulando programas de PEVs e parcerias com cooperativas e municípios que atingem volumes superiores a mil toneladas/ano em projetos avançados. Contudo, faltam dados transparentes sobre percentuais médios de PCR por família de produto e cor. O vidro plano já reincorpora quase todo o cullet pré-consumo e mantém devolução de resíduos de clientes variando entre 10% e 70%, dependendo da unidade

produtiva, mas a logística reversa de resíduos pós-consumo oriundos de demolições e obras ainda é incipiente. O segmento de vidros especiais/farmacêuticos conduz projetos-piloto seletivos de retorno de materiais, tecnicamente complexos e ainda sem escala industrial.

No Eixo 4 – Mecanismos financeiros e incentivos, o vidro plano está mais avançado na vinculação entre metas ambientais e instrumentos financeiros verdes, adotando PPAs para energia renovável, contratos de biometano, preço interno de carbono, orçamentos climáticos e empréstimos atrelados a metas (SLL/SLB) com KPIs auditáveis. O segmento de embalagens tem expandido PPAs e iniciado experiências com crédito sustentável, mas de modo menos padronizado. Já os vidros especiais/farmacêuticos, apesar de sua alta elegibilidade para financiamento verde e já utilizarem energia renovável e CAPEX tecnológico, mantêm divulgação pública discreta de seus frameworks financeiros.

No Eixo 5 – Inclusão social e desenvolvimento regional, o segmento de embalagens se destaca por integrar a logística reversa a contratos formais com cooperativas, estabelecer hubs regionais, garantir pagamentos por serviços ambientais e investir em programas de educação ambiental, gerando inclusão produtiva e aumento da massa coletada. O vidro plano converte seus investimentos produtivos e energéticos descentralizados — como expansão de plantas, uso de fontes renováveis e contratação de serviços locais — em impactos territoriais, fortalecendo empregos e compras locais. Já os vidros especiais/farmacêuticos contam com políticas globais de governança social bem estruturadas, incluindo metas de liderança feminina superiores a 30%, mas carecem de transparência e indicadores regionais específicos para o Brasil.

A seguir, apresenta-se o Quadro 4, que consolida os principais achados setoriais por eixo do PLANEC, destacando avanços, lacunas e grau de maturidade observados em cada segmento da indústria do vidro no Brasil.

Quadro 4 – Síntese comparativa dos Eixos 1 a 5 no setor vidreiro brasileiro

Eixo / Dimensão	Embalagens (garrafas e frascos)	Vidro plano (float e arquitetônico)	Vidros especiais / farmacêuticos

Eixo 1 – Metas, padrões e indicadores	Metas 2030 para Escopos 1-2 já presentes em >50 % dos fabricantes; parte divulga % cullet (faixas >40 % âmbar / ~15 % flint / ~20 % caco interno); EPDs em expansão, mas pouca granularidade Brasil; Escopo 3 ainda pouco reportado.	Alta maturidade: EPDs amplas; quase 100 % do cullet pré-consumo reincorporado; retorno de clientes 10-70 %; metas 2030/2050 com CAPEX vinculado; Escopo 3 medido e parcialmente com meta.	Metas climáticas globais robustas (neutralidade, redução de CO_2), forte regulação e LCA; transparência limitada sobre % cullet e Escopo 3 para o Brasil.
Eixo 2 – Capacitação, pesquisa e inovação	Programas formais de treinamento em >50 % das empresas, mas poucas divulgam horas/empregado; foco em fornos híbridos/elétrico, automação e aumento de cullet; EPDs e hubs de cocriação ainda pontuais.	P&D institucionalizado; treinamento técnico contínuo; hubs de inovação e digitalização (óptica/analytics); alinhamento direto a metas de descarbonização e economia circular.	Forte integração P&D-processo para clientes regulados; certificações e inovação em materiais; difusão concentrada em nichos, com baixa divulgação Brasil-específica de capacitação.
Eixo 3 – Minimização de	Todas reincorporam	Reincorporação quase total do cullet	Pilotos de retorno seletivo

resíduos e logística reversa	caco interno; PEVs e cooperativas com redes de dezenas/centenas de pontos e volumes >1.000 t/ano em arranjos maduros; transparência de % PCR por cor/família ainda restrita; custos logísticos e contaminação permanecem gargalos.	pré-consumo; retorno de clientes varia 10-70%; EPDs amplas; LR de pós-consumo (obras/demolições) incipiente; uso de combustíveis alternativos reduz emissões do forno.	(farma/vitrocerâmicos) tecnicamente exigentes; ainda sem escala setorial.
Eixo 4 – Mecanismos financeiros e incentivos	Avanço em PPAs para energia renovável; alguns casos de green bonds/SLL ligados a KPIs (cullet, CO_2, % renovável); frameworks ainda pouco padronizados em fabricantes médios.	Liderança na vinculação metas–finanças: PPAs e biometano para Escopo 2, preço interno de carbono e orçamento climático orientando CAPEX; SLL/SLB mais frequentes que em embalagens.	Alta elegibilidade para crédito verde; investimentos próprios em CAPEX tecnológico e energia renovável; divulgação pública de frameworks financeiros ainda discreta.
Eixo 5 – Inclusão social e	Modelos maduros de inclusão via LR:	Impacto territorial via retorno de caco de clientes (serviços	Governança social global sólida (ex.: >30% mulheres em

desenvolvimento regional	contratos com cooperativas, hubs regionais, pagamento por serviço ambiental; redes de PEVs com efeito em renda e >1.000 t/ano; indicadores de D&I (ex.: mulheres em operações) em evolução, porém sem padronização nacional.	locais em rotas curtas) e investimentos produtivos/energéticos (expansão de plantas e ativos solares); políticas de diversidade amplas, mas sem séries históricas de empregos locais e compras regionais.	liderança na farma) e engajamento educacional/científico; carece de KPIs sociais regionais para o Brasil.

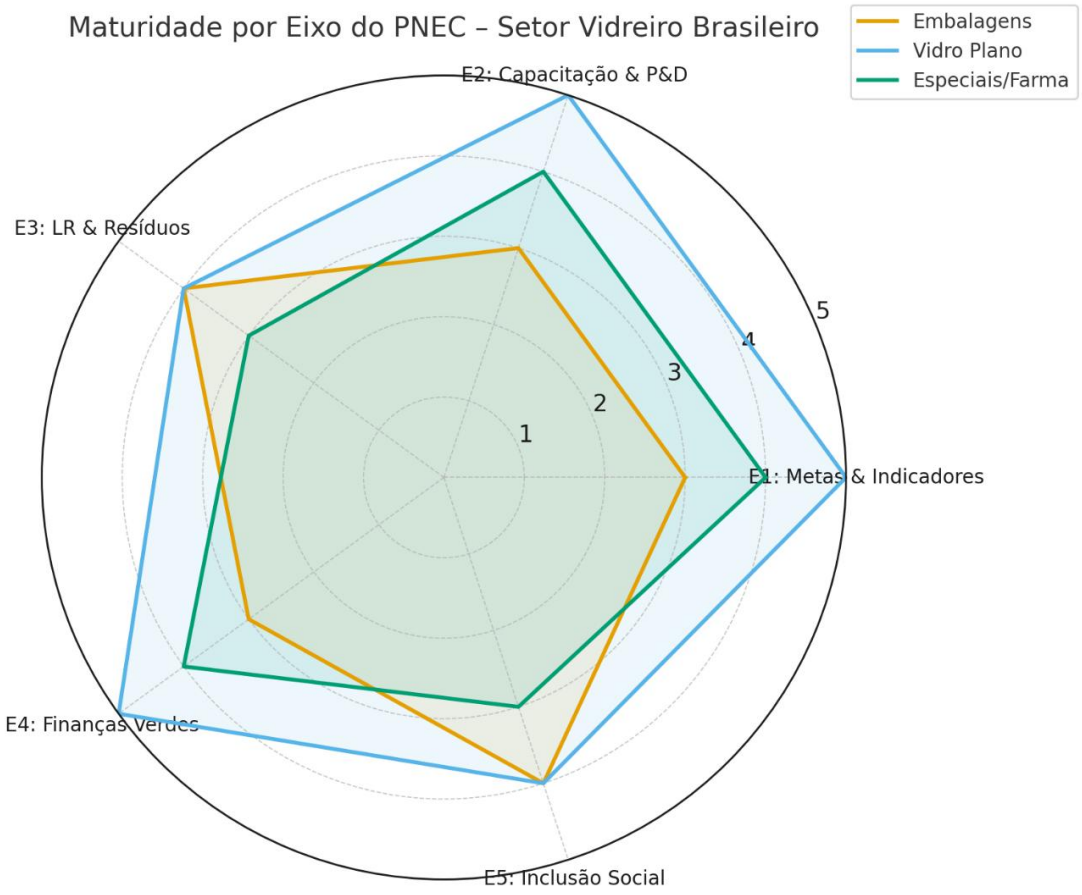
A análise integrada dos cinco eixos demonstra que os segmentos da indústria vidreira avançam em ritmos distintos, mas convergem em cinco pilares estruturantes: (i) a consolidação de metas e padrões setoriais — que se tornam referência, mas ainda carecem de granularidade nacional e harmonização do Escopo 3; (ii) a integração entre capacitação, P&D e difusão tecnológica, essencial para acelerar a execução de metas de descarbonização e circularidade; (iii) o fortalecimento da logística reversa e do beneficiamento, fundamentais para elevar o conteúdo reciclado de cullet e reduzir a intensidade energética e carbônica dos fornos; (iv) a expansão de instrumentos financeiros verdes, capazes de reduzir o custo de transição e oferecer previsibilidade de investimentos; e (v) a inclusão social e o desenvolvimento regional, que garantem legitimidade territorial, ampliam a coleta seletiva e reforçam a aceitação social da circularidade.

Autores de referência corroboram essas conclusões. Folke *et al*. (2016) demonstram que governança colaborativa e aprendizagem social fortalecem a resiliência de sistemas produtivos complexos. Rockström *et al*. (2009; 2023) evidenciam que a descarbonização e a eficiência no uso de materiais são pré-

condições para setores industriais operarem dentro das fronteiras planetárias. Liu *et al.* (2018) reforçam que fluxos de materiais e investimentos transnacionais — os telecouplings — só se sustentam mediante coordenação estável entre empresas, governos e sociedade civil, o que é crucial para cadeias reversas de vidro.

A Figura 6 evidencia de forma clara as diferenças de maturidade entre os segmentos do setor vidreiro brasileiro nos cinco eixos do PLANEC. Observa-se que o vidro plano apresenta o perfil mais equilibrado e elevado, destacando-se especialmente em Metas, padrões e indicadores (E1), Capacitação, P&D e difusão (E2) e Mecanismos financeiros e incentivos (E4), refletindo a forte integração entre governança climática, inovação tecnológica e acesso a instrumentos financeiros verdes. O segmento de embalagens, por sua vez, revela vantagem relativa em Logística reversa e minimização de resíduos (E3) e em Inclusão social e desenvolvimento regional (E5), áreas em que as parcerias com cooperativas e programas de educação ambiental têm mostrado impactos significativos, embora persista necessidade de maior padronização em metas e finanças sustentáveis. Já os vidros especiais e farmacêuticos ocupam uma posição intermediária em quase todos os eixos, apresentando bom desempenho em metas globais e P&D, mas com menor avanço em logística reversa e inclusão social no contexto brasileiro, refletindo a predominância de diretrizes corporativas globais e menor granularidade local. Essa visualização gráfica reforça a leitura da Tabela 1, destacando as forças e lacunas prioritárias de cada segmento e oferecendo uma base clara para as recomendações estratégicas apresentadas na sequência do capítulo.

Figura 6 – Setor vidreiro



Fonte: elaborado pelo autor.

4.5 Síntese geral

A síntese geral reforça que, para que o Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC) alcance maior escala no setor vidreiro, será necessário consolidar metas-núcleo comuns — tais como percentual de cullet, intensidade carbônica (tCO_2/t), desvio de aterro, intensidade hídrica e KPIs sociais e territoriais —, abrir painéis Brasil-específicos por segmento e por unidade fabril, vincular metas a instrumentos financeiros (PPAs, biometano, orçamento climático, precificação interna de carbono) e ampliar contratos estáveis com cooperativas e grandes geradores, assegurando previsibilidade e escala na logística reversa. Por fim, recomenda-se fortalecer os mecanismos de auditoria social e ambiental para aumentar a transparência e a confiança de investidores, reguladores e da sociedade, criando um ambiente propício para uma transição efetiva rumo à economia circular plena e inclusiva no setor do vidro brasileiro.

5 CONCLUSÃO

A presente dissertação teve como propósito analisar a adoção de práticas sustentáveis e estratégias de economia circular na indústria de vidro no Brasil, buscando compreender as barreiras e os avanços na transição de um modelo linear de produção e consumo para um modelo circular, regenerativo e socialmente inclusivo. O estudo partiu do reconhecimento de que o vidro, por suas propriedades físico-químicas e potencial de reciclagem infinita, ocupa posição estratégica na consolidação de cadeias produtivas sustentáveis e no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, especialmente os ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura), 12 (Consumo e produção responsáveis), 13 (Ação contra a mudança global do clima) e 17 (Parcerias e meios de implementação).

Ao longo da pesquisa, demonstrou-se que o setor vidreiro brasileiro apresenta avanços significativos no campo da sustentabilidade, sobretudo no que diz respeito à eficiência energética, à incorporação de cacos (cullet) no processo produtivo e à estruturação de programas de logística reversa articulados com cooperativas e entidades gestoras. Contudo, tais avanços ainda se concentram em segmentos e regiões específicas, evidenciando desigualdades estruturais na capilaridade da coleta seletiva e na efetividade das políticas públicas.

A análise empírica, sustentada pelas entrevistas com executivos, gestores e colaboradores em geral de empresas associadas à ABIVIDRO, revelou que a adoção de práticas sustentáveis ainda é fortemente condicionada por fatores econômicos, logísticos e culturais, e que a plena circularidade depende de uma governança integrada entre Estado, setor privado e sociedade civil. Esse achado dialoga diretamente com o Eixo 1 do PLANEC (Metas, Padrões e Indicadores), no qual se observou uma carência de métricas padronizadas para mensurar a circularidade no setor. Apesar de avanços em relatórios de sustentabilidade e adesão a indicadores ESG, a falta de uniformização metodológica dificulta comparações e compromete a mensuração dos impactos reais das ações empresariais.

No Eixo 2 (Capacitação, Pesquisa e Inovação), o estudo mostrou que a indústria vidreira tem investido em modernização tecnológica — notadamente em fornos híbridos e processos de reaproveitamento de calor —, mas carece de incentivos estruturantes para inovação aberta e parcerias universidade-empresa. Essa lacuna impede maior difusão de tecnologias de baixo carbono e de mecanismos

de digitalização da logística reversa. A articulação desse eixo com o ODS 9 é evidente: fomentar inovação industrial sustentável é condição necessária para aumentar a competitividade e reduzir a intensidade energética da produção nacional.

O Eixo 3 (Minimização de Resíduos e Logística Reversa) destacou-se como o campo de maior evolução setorial, impulsionado por iniciativas como o programa Circula Vidro e acordos de cooperação entre fabricantes, distribuidores e recicladores. As evidências mostram que o aumento do uso de cacos e o fortalecimento da coleta certificada reduziram emissões e custos de produção, consolidando o vidro como um dos materiais mais emblemáticos da economia circular. Entretanto, permanecem desafios logísticos expressivos, principalmente relacionados à densidade, fragilidade e baixo valor agregado do vidro pós-consumo — fatores que exigem subsídios ou instrumentos fiscais específicos para viabilizar economicamente o transporte e a triagem do material.

O Eixo 4 (Mecanismos Financeiros e Incentivos) revelou-se o mais crítico entre os cinco analisados. A ausência de mecanismos de financiamento dedicados à circularidade e a falta de instrumentos tributários que premiem a reciclagem criam desvantagens competitivas para as empresas que investem em práticas sustentáveis. Tal constatação reforça a importância de alinhar o PLANEC aos ODS 12 e 13, promovendo incentivos fiscais à descarbonização industrial e à substituição de matérias-primas virgens por recicladas. Políticas públicas voltadas à criação de créditos verdes, linhas de financiamento a inovação circular e diferenciação tributária para materiais reciclados poderiam acelerar substancialmente a transição para um modelo mais sustentável.

O Eixo 5 (Inclusão Social e Desenvolvimento Regional), por sua vez, evidenciou que a cadeia do vidro possui potencial expressivo para a geração de emprego e renda por meio da inclusão de cooperativas de catadores e operadores logísticos regionais. O fortalecimento da economia circular no setor depende, portanto, não apenas de inovação tecnológica, mas também de justiça socioambiental e valorização do trabalho de base — pontos convergentes com o ODS 8 (Trabalho decente e crescimento econômico) e o ODS 17 (Parcerias). O estudo mostrou que programas de capacitação, formalização e financiamento das cooperativas são determinantes para garantir a integridade social da circularidade, transformando resíduos em ativos econômicos e sociais.

De modo geral, os resultados obtidos confirmam a hipótese central da pesquisa: a indústria do vidro possui alto potencial de circularidade, mas enfrenta barreiras estruturais que limitam sua concretização plena. Essas barreiras se manifestam em três níveis interconectados:

1. Infraestrutural, devido à deficiência de sistemas de coleta seletiva e transporte reverso de baixo custo;
2. Institucional, pela fragmentação entre políticas públicas e ausência de marcos regulatórios integrados; e
3. Cultural, pela baixa percepção social do valor econômico do vidro reciclado.

Essas conclusões corroboram as análises de Ballou (2006) sobre a necessidade de redes logísticas integradas e as proposições de Rockström *et al.* (2009) sobre os limites planetários, reafirmando que a sustentabilidade industrial só se consolida quando respeita tanto as restrições ecológicas quanto a equidade social.

Em termos teóricos, esta dissertação contribui para o campo da sustentabilidade ao articular de forma inédita os princípios da economia circular com os cinco eixos do Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC), oferecendo uma matriz analítica aplicável a outros setores industriais. Em termos metodológicos, o uso combinado de entrevistas semiestruturadas, análise documental e análise de conteúdo forneceu uma abordagem robusta e replicável para estudos de natureza aplicada. Já em termos de limitações, o estudo apresenta limitações inerentes às pesquisas qualitativas com amostras intencionais e dados autodeclarados, o que restringe a generalização estatística dos resultados, embora não comprometa a validade e a relevância das conclusões obtidas.

Do ponto de vista prático e setorial, o trabalho oferece subsídios para a formulação de políticas públicas e estratégias empresariais voltadas à circularidade, sugerindo:

- a criação de indicadores nacionais de circularidade setorial, integrando métricas econômicas, ambientais e sociais;
- o fortalecimento de incentivos fiscais e financeiros para empresas que comprovem uso ampliado de materiais reciclados;
- o investimento em infraestrutura logística regionalizada, com hubs de triagem e centros de coleta reversa; e
- o estímulo a parcerias intersetoriais entre governo, indústria e cooperativas.

A pesquisa demonstra que a circularidade do vidro não é apenas uma meta ambiental, mas uma estratégia econômica e civilizatória, capaz de reduzir emissões, conservar recursos naturais e promover inclusão social. O setor vidreiro, ao alinhar-se às diretrizes do PLANEC e aos ODS da Agenda 2030, pode posicionar-se como modelo de sustentabilidade industrial para o país, transformando o vidro — símbolo de transparência — em reflexo concreto de uma nova economia, mais justa, regenerativa e integrada aos limites planetários.

Finalmente, como desdobramento deste estudo, sugere-se que pesquisas futuras aprofundem a análise da efetividade das políticas públicas voltadas à economia circular no setor vidreiro, especialmente no contexto da implementação do Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC). Estudos comparativos entre o desempenho das indústrias nacionais e internacionais podem revelar oportunidades de alinhamento a metas globais de sustentabilidade, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Além disso, recomenda-se a ampliação do escopo para incluir a avaliação de indicadores de ciclo de vida (ACV) e pegada de carbono em diferentes segmentos da cadeia do vidro — desde a extração das matérias-primas até a logística reversa —, bem como a investigação sobre o papel de incentivos fiscais e instrumentos financeiros verdes na aceleração da circularidade. Por fim, seria relevante o desenvolvimento de modelos integrados de governança setorial, que unam academia, indústria e poder público, de modo a transformar as evidências aqui apresentadas em estratégias concretas de inovação e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **Boletim técnico e ambiental do setor vidreiro 2022**. São Paulo: ABIVIDRO, 2022.

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **História do vidro**: da antiguidade à indústria moderna. São Paulo: ABIVIDRO, [s. d.]. Disponível em: https://www. abividro. org. br/ Acesso em: 13 jul. 2025.

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **Panorama do setor vidreiro brasileiro 2024**. São Paulo: ABIVIDRO, 2024.

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **Programa Glass is Good**: relatório de resultados. São Paulo: ABIVIDRO, 2021.

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **Relatório de Sustentabilidade 2021**. São Paulo: ABIVIDRO, 2021. Disponível em: https://www. abividro. org. br/ Acesso em: 13 jul. 2025.

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **Relatório de Sustentabilidade 2023**. São Paulo: ABIVIDRO, 2023. Disponível em: https://www. abividro. org. br/ Acesso em: 13 jul. 2025.

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **Relatório Anual 2021–2024**. Associação Brasileira das Indústrias de Vidro, São Paulo, 2024.

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **Relatório de Sustentabilidade do Setor Vidreiro – 2022/2023**. São Paulo: ABIVIDRO, 2023.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14001:2015 – Sistemas de gestão ambiental**: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 59004:2024 – Economia circular**: estrutura, princípios e diretrizes para implementação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ABRABE – Associação Brasileira de Bebidas. **Programa Glass is Good**: parcerias e resultados 2021. São Paulo: ABRABE, 2021. Disponível em: <https://www. abrabe. org. br/.> Acesso em: 22 set. 2025.

ADVISIA OC&C STRATEGY CONSULTANTS. **Transição extração–produção–consumo–descarte**. São Paulo: Advisia OC&C Strategy Consultants, [s. d.].

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Relatório de Desempenho Portuário 2024**. Brasília: ANTAQ, 2024.

AHMED, Y. S.; FAKHRUL, T.; MURAD, S. Use of optical sensor technology in glass recycling: challenges and opportunities. **Waste Management**, v. 101, p. 112-121, 2020.

ALVES, O. L.; GIMENEZ, I. F.; MAZALI, I. O. **História e fabricação do vidro**. Campinas: Unicamp, 2001.

ANCAT. **Atlas Brasileiro da Reciclagem 2022**. 2022. Disponível em: https://atlasbrasileirodareciclagem.ancat.org.br/. Acesso em: 25 set. 2025.

BALLON, R. H. **Logística empresarial**: transporte, administração e distribuição física. São Paulo: Atlas, 2006.

BALLONI, A. J. **Gestão da sustentabilidade empresarial**. São Paulo: Atlas, 2015.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial**: conceitos, modelos e instrumentos. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

BELANÇON, M. P. *et al*. Environmental and economic benefits of recycling photovoltaic glass waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 282, p. 124–131, 2021.

BERARDI, U.; DIAS, L. Circular economy and environmental sustainability: A literature review and future directions. **Sustainable Cities and Society**, v. 40, p. 497–507, 2018.

BERGUENMAYER, A. M. **Impacto da incorporação de caco de vidro reciclado na fusão e nas emissões de CO_2.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/30496/1/2019_AndressaMartinsBerguenmayer_tcc.pdf. Acesso em: 1 out. 2025.

BERGUENMAYER, J. Recycling in the glass industry: energy and emission savings potential. **Glass International Journal**, v. 42, n. 3, p. 16–21, 2019.

BOCKEN, N. M. P. *et al*. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 5, p. 308-320, 2016.

BOCKEN, N. M. P.; BAKKER, C.; PAUW, I. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 5, p. 308–320, 2016.

BOESEN, S. *et al*. Environmental performance of packaging: life cycle assessment of glass and alternatives. **Journal of Environmental Management**, v. 241, p. 674–686, 2019.

BOESEN, S.; HOLM, J.; WENDELBOE, H. Life cycle assessment of glass packaging: a critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 1395-1406, 2019.

BRANDÃO, M.; AZEVEDO, D.; OLIVEIRA, L. **Sustentabilidade e inovação nas cadeias de suprimentos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2020.

BRASIL. Decreto n.º 11.300, de 21 de dezembro de 2022. Regulamenta a logística reversa de embalagens de vidro. **Gov.br**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/. Acesso em: 25 set. 2025.

BRASIL. Lei n.º 12. 305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). **Relatório de Sustentabilidade Industrial e Economia Circular**. Brasília: MDIC, 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). **Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES)**. Brasília: MMA, 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis (PPCS)**. Brasília: MMA, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC)**. Brasília: MMA, 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)**. Brasília: MMA, 2016.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. **Cradle to cradle**: remaking the way we make things. 2. ed. Nova Iorque: North Point Press, 2022.

BROWN, L. R. **Plan B 2. 0**: rescuing a planet under stress and a civilization in trouble. Nova Iorque: W. W. Norton, 2003.

CÂMARA DE COMÉRCIO EXTERIOR (CAMEX). **Panorama do Comércio Exterior Brasileiro 2023**. Brasília: CAMEX, 2023.

CAPRA, F. **O ponto de mutação**: a ciência, a sociedade e a cultura emergente. São Paulo: Cultrix, 1982.

CARSON, R. **Silent Spring**. Boston: Houghton Mifflin, 1962.

CASTRO, R.; GONÇALVES, M. Vidro reciclado como matéria-prima para impressão 3D: novos caminhos para a circularidade. **Revista Matéria**, v. 26, n. 3, p. 1-12, 2021.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Supply Chain Management**: Strategy, Planning, and Operation. 6. ed. Boston: Pearson, 2016.

CHRISTOPHER, M. **Logistics & Supply Chain Management**. 5. ed. Harlow: FT Publishing / Pearson, 2016.

CICLO DE RECICLAGEM no Brasil: indicadores 2022. **CEMPRE**. Compromisso Empresarial para Reciclagem. São Paulo: CEMPRE, 2022.

CIRCULA VIDRO – Entidade Gestora da Logística Reversa de Embalagens de Vidro. **Relatório de desempenho e metas 2024**. São Paulo: Circula Vidro, 2024. Disponível em: https://www. circulavidro. org. br/ Acesso em: 06 ago. 2025.

CIRCULA VIDRO – Entidade Gestora da Logística Reversa de Embalagens de Vidro. **Relatório técnico de reciclagem de embalagens de vidro 2023**. São Paulo: Circula Vidro, 2023.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Economia Circular**: nova percepção de valor para a indústria. Brasília: CNI, 2018.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Sondagem Especial**: Economia Circular – Barreiras, oportunidades e práticas na indústria. Brasília: CNI, 2025.

Compartilha COMAT: iniciativas de inovação e capacitação na construção civil. **CBIC**. 10 set. 2025. Disponível em: https://cbic.org.br/. Acesso em: 25 set. 2025.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 275, de 25 de abril de 2001. Dispõe sobre o código de cores para os diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 jul. 2001.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Economia Circular**: o novo modelo de produção e consumo sustentável. Brasília: CNI, 2018.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA – 4. REGIÃO (SP). **Indústria do vidro: produção mundial e perspectivas sustentáveis**. São Paulo, 2024.

DESCHAMPS, E.; LÓPEZ, R.; MAZZINI, F. Market barriers in glass recycling: an industrial perspective. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 445-453, 2019.

DINKEL, F. *et al*. Corporate sustainability and recycling: a comparative study of glass manufacturers. Resources, Conservation and Recycling, v. 170, p. 105–115, 2021.

EGITO É O 4º MAIOR fornecedor de vidro ao Brasil. **ANBA** – Agência de Notícias Brasil-Árabe. 26 mar. 2025. Disponível em: https://anba.com.br/. Acesso em: 25 set. 2025.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks**: the triple bottom line of 21st century business. Oxford: Capstone Publishing, 1997.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circular economy in action**. Cowes: EMF, 2016.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Completing the picture**: how the circular economy tackles climate change. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The circular economy**: an overview. Cowes: EMF, 2015.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**: economic and business rationale for an accelerated transition. Cowes: EMF, 2013.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy: economic and business rationale for an accelerated transition**. Cowes: EMF, 2015. Disponível em: https://ellenmacarthurfoundation.org/. Acesso em: 1 out. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the Circular Economy**: Economic and business rationale for an accelerated transition. Cowes: EMF, 2013.

EUROPEAN COMMISSION. **Closing the Loop**: An EU Action Plan for the Circular Economy. Bruxelas: European Commission, 2016.

EUROSTAT. **Recycling rates of glass packaging waste by country**, 2021. Luxemburgo: Eurostat, 2021. Disponível em: https://ec. europa. eu/eurostat/ Acesso em: 01 out. 2025.

FEDERICO, F.; CHIDIAC, R. Recycling of glass cullet: a critical review. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 5, p. 1292-1300, 2009.

FEVE – European Container Glass Federation. **Glass Packaging**: Sustainability Report 2020. Bruxelas: FEVE, 2020.

FISHER, M. L. What is the right supply chain for your product? **Harvard Business Review**, v. 75, n. 2, p. 105–116, 1997.

FOLKE, C. *et al*. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. **Ambio**, v. 45, p. 437–440, 2016.

FOLKE, C. Resilience (republished). **Ecology and Society**, v. 21, n. 4, p. 44–56, 2016.

FOLKE, C. Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 253-267, 2006.

FOLKE, C.; BIGGS, R.; NORSTRÖM, A. V.; REYERS, B.; ROCKSTRÖM, J. Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. **Ecology and Society**, v. 21, n. 3, p. 41-58, 2016.

FOLKE, C.; ROCKSTRÖM, J. Planetary boundaries and global sustainability: guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 1259855, 2016.

GAO, X. et al. Recycling of glass in photovoltaic modules: environmental benefits and challenges. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 197, p. 289–298, 2019.

GEISSDOERFER, M. *et al*. The circular economy – a new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757–768, 2017.

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.

GIOVANNI, L. **Storia del vetro e delle sue tecniche**. Roma: Laterza, 1992.

GIUGLIANO, M. *et al*. Material recovery from glass waste: separation and recycling technologies. **Waste Management**, v. 31, n. 9-10, p. 2224-2233, 2011.

GLASS ALLIANCE EUROPE. **Sustainable Glass Manufacturing**: Pathways to Decarbonisation. Bruxelas: Glass Alliance Europe, 2021. Disponível em: https://www. glassallianceeurope. eu/ Acesso em: 04 ago. 2025.

GOVERNMENT OF JAPAN. **Law for the Promotion of Effective Utilization of Resources**. Tóquio: Government of Japan, 2001.

GOVERNMENT OF THE NETHERLANDS. **A Circular Economy in the Netherlands by 2050**. Haia: Government of the Netherlands, 2016.

GROSSO, M.; TESTA, F.; LOPES, F. Glass recycling and circular economy: opportunities and challenges. **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, n. 6, p. 1893-1905, 2017.

GUATTARI, F. **As três ecologias**. 2. ed. Campinas: Papirus, 1990.

GUIDE JR., V. D. R.; VAN WASSENHOVE, L. N. The reverse supply chain. **Harvard Business Review**, v. 80, n. 2, p. 25–26, 2002.

HAUPT, M. *et al*. The importance of waste management systems for glass recycling. **Journal of Environmental Management**, v. 191, p. 133-143, 2017.

HSIEH, C.-T. *et al*. Closed and open loop recycling of glass: environmental implications. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 11, p. 45-53, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Industrial Anual**: indústria de transformação – vidro e produtos de vidro. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Sumário Mineral Brasileiro 2024**. Brasília: IBRAM, 2024.

ICMA – International Capital Market Association. **Green Bond Principles**: voluntary process guidelines for issuing green bonds. ICMA, 2021.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 59004:2024 – Circular Economy**: Framework and Principles for Implementation. Genebra: ISO, 2024.

ISO. ISO 59000:2020. **Circular economy** — Framework and principles for implementation. Geneva: International Organization for Standardization, 2020.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221–232, 2017.

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

KOVACIC, Z. et al. Circular economy narratives: powerful discourses or seductive logics? **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 221–229, 2020.

KRAL, U.; SCHALLY, W.; MAURER, M. Urban mining and circular economy: closing loops in municipal waste management. **Waste Management**, v. 118, p. 465–474, 2020.

LAMBERT, D. M. (ed.). **Supply Chain Management**: Processes, Partnerships, Performance. 4. ed. Ponte Vedra Beach (FL): Supply Chain Management Institute, 2014.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C. Issues in supply chain management. Industrial **Marketing Management**, v. 29, n. 1, p. 65–83, 2000.

LAMBERT, D. M.; GARCÍA-DASTUGUE, S. J.; CROXTON, K. L. The role of logistics managers in the cross-functional implementation of supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v. 29, n. 1, p. 113–132, 2008.

LANDI, D.; BECHINI, A.; BELLUCCI, F. Glass packaging circularity: a life cycle analysis. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 21, p. 845–857, 2019.

LEE, H. L.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. The bullwhip effect in supply chains. **Sloan Management Review**, v. 38, n. 3, p. 93–102, 1997.

LEFF, E. **Epistemologia ambiental**. São Paulo: Cortez, 2001.

LEITE, P. R. **Logística reversa**: meio ambiente e competitividade. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 36–51, 2016.

LIN, H. Glass recycling processes and energy savings: a comprehensive review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 133, p. 240-251, 2018.

LIU, J. (Jack); HULL, V.; BATISTELLA, M.; DEFRIES, R.; DIETZ, T. *et al*. Telecoupling: a new frontier for global sustainability. **Ecology and Society**, v. 18, n. 2, p. 26-41, 2018.

LIU, J. *et al*. Framing sustainability in a telecoupled world. **Ecology and Society**, v. 18, n. 2, 2013.

LIU, J. Metacoupling: integrating human and natural systems. **Ecology and Society**, v. 23, n. 3, p. 41–55, 2018.

LIU, J.; HULL, V.; BATISTELLA, M. *et al*. Telecoupling: a new frontier for global sustainability. **Ecology and Society**, v. 20, n. 3, p. 74–85, 2015.

LMA – Loan Market Association. **Sustainability-Linked Loan Principles** (SLLP). Londres: LMA, 2021.

LOGÍSTICA E VALOR são principais desafios para reciclagem de vidro decolar no Brasil. **Abividro**. 27 set. 2024.. Disponível em: https://abividro.org.br/. Acesso em: 25 set. 2025.

LOURENÇO, L. A. C. ; CHIARAMONTI, A. **Sustentabilidade e gestão de recursos naturais**. Lisboa: Lidel, 2007.

MACFARLANE, A. ; MARTIN, G. **Glass: a world history**. Chicago: University of Chicago Press, 2002.

MAIA, A. L. **Vidros**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 1994.

MARTINS, R.; OLIVEIRA, L. Circular business models in the glass sector. **Journal of Sustainable Industry Studies**, v. 5, n. 2, p. 89–101, 2023.

MASON, J.; CLARKE, R.; PETERSON, L. Advances in infrared sorting technology for glass recycling. **Journal of Waste Technology**, v. 12, n. 2, p. 85-96, 2021.

MCTI. Plano de trabalho para aprimorar dados do inventário nacional de GEE do setor vidreiro. **ABIVIDRO**. Brasília, 30 abr. 2025.

MEADOWS, D. H. *et al.* **The limits to growth**. Nova Iorque: Universe Books, 1972.

META DE RECICLAGEM de vidro em 2024 é alcançada no Brasil. **Abravidro** - Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. 25-02-2025. Disponível em: https://abravidro.org.br/punoticias/meta-de-reciclagem-de-vidro-em-2024-e-alcancada-no-brasil/. Acesso em: 1 out. 2025.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis (PPCS)**. Brasília: MMA, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano Nacional de Economia Circular (PLANEC)**. Brasília: MMA, 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)**. Brasília: MMA, 2016.

MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. São Paulo: Cortez, 2000.

MORSELETTO, P. Targets for a circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 153, p. 104553, 2020.

NELLES, M.; GRABNER, A.; MÜLLER, D. Waste management in Europe: implications for glass recycling. **Waste Management**, v. 56, p. 236-246, 2016.

O CICLO INFINITO DO VIDRO. **ABIVIDRO**. Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. São Paulo, 2022. Disponível em: https://abividro.org.br/. Acesso em: 24 set. 2025.

OSÓRIO, E. **História e arte do vidro**. Lisboa: Estampa, 2009.

PANORAMA ABRAVIDRO aponta 2024 como ano de contradições. **Abravidro**. 27 maio 2025. Disponível em: https://abravidro.org.br/. Acesso em: 25 set. 2025.

PANORAMA DOS RESÍDUOS sólidos no Brasil 2022. **ABRELPE**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo: ABRELPE, 2022.

PARK, J.; CHERTOW, M. Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing industrial solid waste. **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 1, p. 42–49, 2014.

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei n.º 12. 305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

POR QUE O VIDRO É O MATERIAL menos reciclado no Brasil? **Nexo Jornal**. 30 jun. 2024. Disponível em: https://www.nexojornal.com.br/. Acesso em: 25 set. 2025.

POR QUE O VIDRO É UM DOS ITENS menos reciclados no Brasil? **O Eco**. 2024. Disponível em: https://oeco.org.br/. Acesso em: 25 set. 2025.

PRIETO-SANDOVAL, V.; JACA, C.; ORMAZABAL, M. Towards a consensus on the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 605–615, 2018.

PROJETOS DE LOGÍSTICA reversa do setor de vidro. **ABIVIDRO**. Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. São Paulo, 2021. Disponível em: https://abividro.org.br/. Acesso em: 24 set. 2025.

RIBEIRO, J. **Gestão de resíduos sólidos e economia circular**. São Paulo: Atlas, 2020.

RIBEIRO, J.; KRUGLIANSKA, E. Gestão sustentável dos recursos e economia circular. **Revista de Administração e Sustentabilidade**, v. 3, n. 2, p. 45–59, 2014.

RIBEIRO, M. C. **Economia circular**: fundamentos, oportunidades e desafios para o Brasil. São Paulo: Atlas, 2020.

RIBEIRO, M. C.; KRUGLIANSKA, I. **Gestão sustentável de resíduos**: desafios e oportunidades para a economia circular. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ROCKSTRÖM, J. *et al*. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 472–475, 2009.

ROCKSTRÖM, J. *et al*. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 472–475, 2009.

ROCKSTRÖM, J. *et al*. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, 1259855, 2015.

ROCKSTRÖM, J.; GUPTA, J.; MOORE, F.; OBURA, D.; KINGSFORD, R. *et al*. Safe and just Earth system boundaries. **Nature**, v. 619, p. 551-562, 2023.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K. *et al*. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 472-475, 2009.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going backwards: reverse logistics trends and practices**. Reno: Reverse Logistics Executive Council, 1999.

SAAVEDRA, Y. M. B. *et al*. The circular economy: a theoretical review and framework for future research. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 701–715, 2018.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI**: desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo: Studio Nobel, 1993.

SANTOS, M. **Por uma outra globalização**: do pensamento único à consciência universal. Rio de Janeiro: Record, 2004.

SANTOS, R. S.; PEREIRA, A. P. Integração de políticas públicas para a economia circular no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 2, p. 223–240, 2021.

SARKIS, J.; ZHU, Q.; LAI, K. H. An organizational theoretic review of green supply chain management literature. **International Journal of Production Economics**, v. 130, p. 1–15, 2011.

SCALET, B. M. *et al*. **Best available techniques (BAT) reference document for the manufacture of glass**. European Commission – Joint Research Centre, 2013.

SCALET, B. M. *et al*. Energy consumption in glass production: an environmental analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 59, p. 41-49, 2013.

SCHAUBROECK, T. Circular economy and its relation to sustainability: ethical and conceptual considerations. **Journal of Industrial Ecology**, v. 22, p. 585–597, 2018.

SELVE, J. Glass as an inert material: health and environmental aspects. **Journal of Environmental Science**, v. 32, n. 2, p. 111-118, 2019.

SHELBY, J. E. **Introduction to glass science and technology**. 2. ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2005.

SILVA, A. C.; OLIVEIRA, P. R.; SOUZA, J. A. Utilização de pó de vidro reciclado em concretos e pavimentação: revisão crítica. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 13, n. 5, p. 1-17, 2020.

SILVA, A.; MARTINS, P.; OLIVEIRA, L. Circular economy practices in the Brazilian glass industry. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 75–93, 2020.

SILVA, W. T.; FILGUEIRAS, C. A. L. O vidro e sua importância na vida e na química. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 456–465, 2008.

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos. **Relatório anual de resíduos sólidos urbanos 2023**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2024. Disponível em: https://sinir. gov. br/ Acesso em: 04 out. 2025.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos 2023**. Brasília: Ministério das Cidades, 2024.

SRIVASTAVA, S. K. Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. **International Journal of Management Reviews**, v. 9, n. 1, p. 53–80, 2007.

STAHEL, W. R. **The circular economy**: a user's guide. Londres: Routledge, 2016.

STATISTICAL OFFICE OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Glass packaging recycling rates in the European Union. **EUROSTAT**. Brussels, 2021.

STOCK, J. R. **Development and implementation of reverse logistics programs**. Oak Brook: Council of Logistics Management, 1998.

TCFD – Task Force on Climate-related Financial Disclosures. **Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures**. Basel: Financial Stability Board, 2017.

TESTA, F.; IORIO, M.; IOVINO, P.; IRALDO, F. Glass recycling and material circularity in the EU: evidences and policy challenges. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 125, p. 83-92, 2017.

TESTA, F.; TIOZZO, A.; FAVARO, F. Recycling of permanent materials: the case of glass. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 12, p. 1-9, 2017.

THE SCOTTISH GOVERNMENT. **Making Things Last**: A Circular Economy Strategy for Scotland. Edimburgo: The Scottish Government, 2016.

TIOZZO, A.; FAVARO, F. Recycling glass for sustainability: opportunities and limits. **Waste Management & Research**, v. 34, n. 4, p. 367-375, 2016.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. **Extended Producer Responsibility and Circularity in the Glass Packaging Sector**. Nairobi: UNEP, 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Global Environment Outlook 6**: Healthy Planet, Healthy People. Nairobi: UNEP, 2019.

UNITED NATIONS. **Transforming our World**: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Nova Iorque: United Nations, 2015.

VAN DAM, Y.; VAN TRIJP, H. Cognitive and affective reactions of consumers to sustainability in packaging. **Journal of Consumer Research**, v. 21, n. 3, p. 497–510, 1994.

VEIGA, J. E. da. **Desenvolvimento sustentável**: o desafio do século XXI. Rio de Janeiro: Garamond, 2010.

VIEIRA, A. R. M.; FERREIRA, C. L. **Indicadores de sustentabilidade industrial no Brasil**. Brasília: IPEA, 2022.

WCED – WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

YUAN, Z.; BI, J.; MORIGUCHI, Y. The circular economy: a new development strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1–2, p. 4–8, 2006.

Anexo 1 – Perguntas Direcionadas às Empresas – Baseadas no PLANEC 2025.

Eixo 1 – Estabelecer metas, padrões e indicadores.

1.1. A sua empresa possui metas, padrões e indicadores quantificáveis para monitorar a circularidade?

1.1.1. A sua empresa desenvolve um Diagnóstico Nacional Setorial que inclua indicadores de performance de circularidade para mapear fluxos de materiais, modelos de negócios circulares, curvas de maturidade e gargalos?

1.1.2. A sua empresa apoia o desenvolvimento e a disseminação de boas práticas de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) de Economia Circular em articulação com o Programa Selo Verde Brasil e iniciativas correlatas?

1.1.3. A sua empresa possui critérios para selecionar setores prioritários da Estratégia Nacional de Economia Circular e elaborar planos setoriais com participação das partes interessadas?

1.1.4. A sua empresa incentiva a criação de normas específicas para o desenho circular de produtos, harmonizando conceitos e indicadores com normas como a série ABNT NBR ISO 59000?

1.2. A sua empresa possui medidas a serem tomadas para desenvolver mercados para produtos reutilizáveis, recondicionados e reciclados?

1.2.1. A sua empresa incentiva o uso de materiais secundários, subprodutos e coprodutos no processo produtivo industrial, estabelecendo percentuais mínimos e incentivos fiscais?

1.2.2. A sua empresa apoia o desenvolvimento ou atualização de regulamentos e normas técnicas setoriais para fabricação e uso de produtos circulares?

1.2.3. A sua empresa incentiva grandes varejistas e plataformas de comércio eletrônico a adotarem estratégias de valorização de produtos e modelos de negócio circulares?

1.2.4. A sua empresa possui campanhas de comunicação para estimular o mercado de produtos e modelos circulares entre compradores corporativos, governamentais e o público?

1.2.5. A sua empresa simplifica as regras para circulação, transporte e comercialização de peças e materiais secundários reincorporados à produção?

1.3. A sua empresa promove a articulação entre a Estratégia Nacional de Economia Circular e outras políticas públicas e compromissos internacionais?

1.3.1. A sua empresa harmoniza a estratégia com políticas públicas e instrumentos normativos vigentes?

1.3.2. A sua empresa incorpora ao plano ações que contribuam para compromissos internacionais assumidos pelo Brasil em temas como clima, biodiversidade e resíduos perigosos?

1.3.3. A sua empresa entende que boas práticas internacionais podem servir de referência para implementar as ações previstas no plano?

1.3.4. A sua empresa incentiva a criação de códigos CNAE específicos para cadeias produtivas alinhadas à economia circular?

1.3.5. A sua empresa possui critérios de desenho circular de produtos e insumos alimentícios que devem ser estabelecidos para o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE)?

1.3.6. A sua empresa desenvolve critérios de circularidade no programa Selo Verde Brasil baseados em sustentabilidade, qualidade e durabilidade?

Eixo 2 – Capacitação, Pesquisa e Inovação.

2.1. A sua empresa cria programas de capacitação para empresas adotarem práticas circulares de produção e incentivarem a atualização de competências dos trabalhadores?

2.1.1. A sua empresa amplia a formação de técnicos capacitados em Economia Circular utilizando plataformas online e incluindo práticas circulares no currículo do jovem aprendiz?

2.1.2. A sua empresa desenvolve capacitações em Economia Circular para gestores e servidores públicos de todas as esferas?

2.1.3. A sua empresa promove educação corporativa voltada a estratégias de Economia Circular, como modelos de negócios circulares e sistemas regenerativos?

2.2. A sua empresa incentiva a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação para a promoção da circularidade?

2.2.1. A sua empresa lança Chamadas Públicas para fomento de PD&I em temáticas de Economia Circular envolvendo ICTs, empresas e cooperativas?

2.2.2. A sua empresa cria programa nacional de simbiose industrial, regional ou urbana, facilitando a troca de recursos entre empresas e setores?

2.2.3. A sua empresa fortalece centros de Economia Circular para incentivar pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias e materiais?

2.2.4. A sua empresa promove pesquisa e inovação em tecnologias de reciclagem de materiais complexos e desenho de produtos regenerativos na bioeconomia?

2.3. A sua empresa promove a cultura, a educação ambiental e o pensamento crítico e inovador para a circularidade?

2.3.1. A sua empresa promove a conscientização para Economia Circular junto à sociedade, destacando seus benefícios ambientais e econômicos?

2.3.2. A sua empresa cria programas de incentivo à Economia Circular em todos os níveis de ensino, incluindo pós-graduação?

2.4. A sua empresa promove produções industriais, minerais, artesanais, agropecuárias e agroflorestais sustentáveis, incluindo distribuição e comércio?

2.4.1. A sua empresa aprimora a rastreabilidade de materiais e componentes, definindo padrões de eliminação de substâncias tóxicas e reciclabilidade?

2.4.2. A sua empresa incentiva empresas a aumentarem qualidade, durabilidade e reparabilidade, combatendo a obsolescência programada?

2.4.3. A sua empresa incentiva a produção regenerativa por meio de desenho de produtos, práticas de aprovisionamento e políticas agrícolas?

2.5. A sua empresa incentiva a reutilização e o aumento da vida útil de produtos?

2.5.1. A sua empresa fomenta a ampliação da garantia do fabricante e a rastreabilidade dos materiais reaproveitados?

2.5.2. A sua empresa colabora com o Inmetro para criar padrões e mecanismos de fiscalização sobre reparo, desmontagem e descarte de produtos?

2.5.3. A sua empresa promove iniciativas de desenho circular para incentivar o recondicionamento, a remanufatura e o reaproveitamento de subprodutos?

Eixo 3 – Minimização de Resíduos e Logística Reversa.

3.1. A sua empresa minimiza resíduos desde a concepção do produto?

3.1.1. A sua empresa estimula a implementação de soluções de desenho circular pelo setor produtivo?

3.1.2. A sua empresa cria programas de incentivo para reduzir a geração de resíduos e promover o reaproveitamento de componentes e produtos em diversos setores?

3.1.3. A sua empresa promove ações de prevenção ao desperdício, mantendo os materiais em seu mais alto valor e combatendo a obsolescência programada?

3.1.4. A sua empresa cria um banco de dados de boas práticas sobre soluções reutilizáveis e retornáveis, acessível a empresas, governos e empreendedores?

3.2. A sua empresa incentiva a instalação de recicladoras em todo o País?

3.2.1. A sua empresa desenvolve sistemas de gestão de resíduos integrando coleta seletiva, triagem, reciclagem e compostagem de RSU com inclusão social?

3.2.2. A sua empresa expande a logística reversa e regulamentar setores não cobertos, incluindo metas e inclusão socioeconômica de catadores?

3.2.3. A sua empresa promove programas de treinamento e gestão para organizações de catadores, formalizando sua atuação nos negócios circulares?

3.3. A sua empresa fomenta investimentos em infraestrutura e tecnologias para a Economia Circular?

3.3.1. A sua empresa expande a infraestrutura de logística reversa com suporte municipal e inclusão produtiva de catadores?

3.3.2. A sua empresa fomenta redes de assistência técnica e pequenos negócios para reuso, remanufatura e reparo?

3.3.3. A sua empresa cria fomento à indústria de recondicionados, remanufaturados e reutilizáveis?

3.3.4. A sua empresa fomenta o desenho de produtos que permitam reparo pelo próprio consumidor?

3.3.5. A sua empresa promove estudos para garantir a integridade dos certificados previstos no Decreto nº 11.413/2023?

3.3.6. A sua empresa fortalece a fiscalização para práticas circulares e comercialização de produtos circulares?

3.4. A sua empresa promove a articulação entre políticas de gestão de resíduos e Economia Circular?

3.4.1. A sua empresa previne o desperdício de alimentos e valoriza resíduos orgânicos por meio do Planaro?

3.4.2. A sua empresa integra princípios da Economia Circular às políticas comerciais e reduzi importação de resíduos não conformes?

3.4.3. A sua empresa incentiva a adesão à logística reversa durante o licenciamento de importação?

3.4.4. A sua empresa fomenta embalagens retornáveis respeitando a hierarquia da Lei nº 12.305/2010?

3.4.5. A sua empresa promove a economia circular no uso de recursos hídricos, incentivando o reuso de água em processos industriais?

Eixo 4 – Mecanismos Financeiros e Incentivos.

4.1. A sua empresa propõe mecanismos financeiros para apoiar práticas de Economia Circular?

4.1.1. A sua empresa possui critérios a serem usados para financiamento de projetos de circularidade e análise de riscos lineares?

4.1.2. A sua empresa mapeia boas práticas internacionais de financiamento público e modelos de garantia para circularidade?

4.1.3. A sua empresa elabora modelos de incentivos financeiros para coleta e processamento de resíduos, fortalecendo cadeias reversas?

4.1.4. A sua empresa propõe linhas de crédito específicas para setores circulares, reciclagem, compostagem e biodigestão?

4.1.5. A sua empresa alinha a Taxonomia Sustentável Brasileira à Estratégia Nacional de Economia Circular?

4.1.6. A sua empresa articula iniciativas privadas de economia circular ao Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE)?

4.2. A sua empresa estimula compras públicas de bens e serviços circulares?

4.2.1. A sua empresa possui diretrizes e critérios de circularidade a serem aplicados em compras e contratos públicos?

4.2.2. A sua empresa capacita funcionários públicos para integrar critérios de circularidade nas compras governamentais?

4.3. A sua empresa propõe tratamento tributário para reduzir poluição e resíduos?

4.3.1. A sua empresa estabelece ajustes tarifários para criar mercados de produtos e serviços circulares?

4.3.2. A sua empresa implementa incentivos fiscais para atrair investimentos em plantas de remanufatura e recondicionamento?

4.3.3. A sua empresa mapeia e harmoniza proposições legislativas que apoiem a transição à Economia Circular?

Eixo 5 – Inclusão Social e Desenvolvimento Regional.

5.1. A sua empresa propõe ações de incorporação de trabalhadores informais às cadeias de valor circulares?

5.1.1. A sua empresa incentiva a contratação de organizações de trabalhadores informais, assegurando condições adequadas e pagamento por serviços ambientais?

5.1.2. A sua empresa promove capacitação profissional e educação continuada para trabalhadores formais e informais da economia circular?

5.1.3. A sua empresa incentiva a inclusão de catadores em cooperativas e formalização de MEIs e empresas de reciclagem?

5.1.4. A sua empresa mensura a geração de empregos circulares considerando aspectos de gênero, raça e fatores socioeconômicos?

5.2. A sua empresa fomenta políticas públicas de coleta e triagem, incentivos a cadeias de reciclagem e valorização de catadores?

5.2.1. A sua empresa incentiva a contratação de catadores e comunidades ligadas a manejos regenerativos para programas ambientais?

5.2.2. A sua empresa promove o fechamento humanizado de lixões, garantindo inclusão socioprodutiva das famílias afetadas?

5.2.3. A sua empresa apoia e promove programas de coleta seletiva nos municípios?

5.2.4. A sua empresa harmoniza ações das políticas públicas federal, estadual e municipal voltadas aos trabalhadores da economia circular?

5.3. A sua empresa propõe ações de desenvolvimento econômico regional por meio de cadeias de reciclagem e negócios circulares?

5.3.1. A sua empresa desenvolve estudos de viabilidade regional incluindo análises de fluxos de materiais e impactos socioeconômicos?

5.3.2. A sua empresa fomenta redes de cooperativas e organizações sociais voltadas à economia circular, ampliando escala e comercialização?

5.3.3. A sua empresa promove políticas públicas de Economia Circular em estados e municípios de forma harmônica e sistêmica?

5.3.4. A sua empresa incentiva parcerias público-privadas (PPPs) para criar infraestrutura necessária à adoção de práticas circulares?