



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ALÍCIA PEIXOTO DE PAIVA

**APLICAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA NO REAPROVEITAMENTO
DAS EMBALAGENS DE VIDRO: ESTUDO DE CASO EM UMA
INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

JOÃO PESSOA (PB), 2025

ALÍCIA PEIXOTO DE PAIVA

**APLICAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA NO REAPROVEITAMENTO
DAS EMBALAGENS DE VIDRO: ESTUDO DE CASO EM UMA
INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado à coordenação de Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Química.

Orientador(a): Prof^a Dr.^a Melânia Lopes Cornélio

JOÃO PESSOA (PB), 2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P149a Paiva, Alicia Peixoto.

Aplicação da logística reversa no reaproveitamento das embalagens de vidro: estudo de caso em uma indústria de bebidas / Alicia Peixoto Paiva. - João Pessoa, 2025.

61 f. : il.

Orientação: Melânia Lopes Cornélio.

TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Reciclagem de Vidro, Logística Reversa, Impacto Am. I. Cornélio, Melânia Lopes. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 66.01(043.2)

ALÍCIA PEIXOTO DE PAIVA

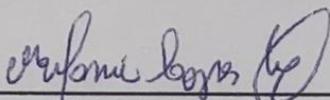
**APLICAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA NO REAPROVEITAMENTO DAS
EMBALAGENS DE VIDRO: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE
BEBIDAS**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado à
coordenação de Engenharia Química do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em
cumprimento aos requisitos para obtenção do grau
de Bacharela em Engenharia Química.

-

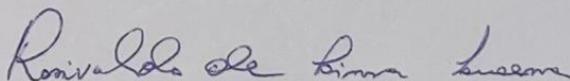
Aprovada em:15/09/2025

BANCA EXAMINADORA



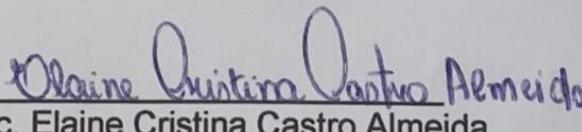
Dra. Melânia Lopes Gornelio

Orientadora- Departamento de Engenharia Química- UFPB



Prof. Dr. Rosivaldo de Lima Lucena

Examinador 1- Departamento de Administração- CCSA- UFPB



Msc. Elaine Cristina Castro Almeida

Examinadora 2-Mestre em Engenharia Química- UFPB

Dedico este trabalho ao meu anjo da guarda, pela proteção e pela força concedida em todos os momentos desta caminhada...

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais que me apoiaram nesse sonho desde o dia em que tomei a decisão de mudar de cidade e trilhar novos caminhos. Mãe, sem você não teria conseguido, você me apoiou em cada segundo, até mesmo quando descontava todo o cansaço do dia a dia na senhora, obrigada por sempre me acalmar e confiar nas minhas escolhas. Ao meu pai e meu irmão, agradeço por sempre acreditarem em mim, por me acolherem e sempre me olharem com olhos orgulhosos.

Um agradecimento especial a minha orientadora Melânia, por ter me apoiado desde o princípio da minha carreira acadêmica, me lembro perfeitamente em um dia após a sua aula em que me perguntou se eu estava só em João Pessoa e me disse que se precisasse poderia contar com sua ajuda, e desde esse momento ela sempre me apoiou. Obrigada por ser fonte de inspiração profissional e pessoal.

Agradeço em especial aos novos amigos, que me apoiaram como família quando precisei, afinal Petrolina se tornou minha segunda casa. A Julia Viana por ser minha grande companheira e me apresentar o que o Nordeste tem de melhor e por sempre preparar aquele almoço maravilhoso quando a saudade de casa apertava. A Marcela Lopes, por ser minha fiel escudeira e se tornado uma irmã, você me ensinou muito como ser uma pessoa melhor.

Aos meus colegas de trabalho, em especial a família Galindo, por me dar a oportunidade do meu primeiro estágio, obrigada por sempre ouvirem minhas ideias, por me ensinarem a ser uma pessoa mais confiante e empreendedora. Ao segundo estágio, agradeço a oportunidade de ter vivido grandes desafios, vocês me ensinaram a ser mais resiliente, a importância de se ter uma boa gestão e estratégias para executá-la. Aos especialistas de logística, agradeço por estarem sempre dispostos a me aconselhar e me capacitar, em especial a Sheila Diniz e Lucas Andrade, pela grande ajuda para conclusão e motivação desse trabalho.

Aos meus familiares, pelo apoio e incentivo a sempre buscar os estudos, em especial aos meus tios Sebastião e Margareth, vocês são grandes exemplos em

minha vida, obrigada por todo carinho e por me ajudarem a vencer essa trajetória. Aos meus avós Humberto, Mariinha e José Maria por todo amor.

As minhas amigas de Minas Gerais, por sempre me apoiarem mesmo a 2.212 km de distância, por se fazerem presentes nesses 6 anos e por acompanharem essa caminhada de pertinho, vocês me inspiram a ser uma pessoa melhor todos os dias.

Por fim, o agradecimento de todo esse trabalho e também minha vida a Deus, por sempre iluminar as minhas decisões e por colocar as pessoas certas em meu caminho, sem Ele esses momentos em João Pessoa não seriam possíveis, em especial ao EJC de Neves que me motivou cada dia mais a caminhar ao seu lado. Obrigada!

RESUMO

Este trabalho teve como tema a logística reversa do vidro no setor de bebidas, com foco em uma indústria de grande porte. O objetivo central consistiu em analisar o processo de retorno das embalagens de vidro, identificando as causas da não reutilização, mapeando o fluxo logístico, quantificando as perdas e avaliando os benefícios econômicos e ambientais decorrentes da prática. Para tanto, foram utilizados dados de produção referentes ao período de janeiro a junho de 2025, complementados por análise qualitativa e quantitativa de indicadores ambientais e financeiros. Os resultados obtidos evidenciaram que, no período estudado, foram reutilizadas aproximadamente 60,7 milhões de garrafas de vidro, correspondendo a 21.713 toneladas de material reaproveitado. Esse volume resultou em uma economia financeira estimada em R\$ 74 milhões, além da redução de 20,9 toneladas de CO₂ equivalente e da preservação de 231.857 MJ de energia. Esses indicadores revelam o papel fundamental da logística reversa para a mitigação de impactos ambientais, visto que a reutilização de cacos de vidro diminuiu significativamente o consumo energético dos fornos industriais, reduz a extração de matérias-primas naturais e evita a deposição inadequada de resíduos no meio ambiente. A investigação evidenciou que, além de atender às exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305/2010), a logística reversa do vidro constitui uma oportunidade estratégica para a indústria de bebidas, por aliar eficiência econômica a ganhos ambientais expressivos. Conclui-se, portanto, que a reutilização de garrafas de vidro retornáveis é um instrumento eficaz de promoção da economia circular, contribuindo para a redução da pegada de carbono, a preservação de recursos naturais e a construção de um modelo produtivo mais sustentável.

Palavras-chave: Reciclagem de Vidro, Logística Reversa, Impacto Ambiental, Sustentabilidade

ABSTRACT

This paper focused on reverse logistics for glass in the beverage sector, focusing on a large industry. The main objective was to analyze the glass packaging return process, identifying the causes of non-reuse, mapping the logistics flow, quantifying losses, and evaluating the economic and environmental benefits arising from this practice. Production data for the period from January to June 2025 were used, complemented by a qualitative analysis of environmental and financial indicators. The results showed that, during the period studied, approximately 60.7 million glass bottles were reused, corresponding to 21,713 tons of recycled material. This volume resulted in estimated financial savings of R\$74 million, in addition to a reduction of 20.9 tons of CO₂ equivalent and the preservation of 231,857 MJ of energy. These indicators reveal the fundamental role of reverse logistics in mitigating environmental impacts, as the reuse of glass cullet significantly reduces energy consumption in industrial furnaces, reduces the extraction of natural raw materials, and prevents the inappropriate disposal of waste in the environment. The research demonstrated that, in addition to meeting the requirements of the National Solid Waste Policy (Law No. 12,305/2010), reverse logistics for glass constitutes a strategic opportunity for the beverage industry, as it combines economic efficiency with significant environmental gains. Therefore, it is concluded that the reuse of returnable glass bottles is an effective tool for promoting the circular economy, contributing to reducing the carbon footprint, preserving natural resources, and building a more sustainable production model.

Keywords: Glass Recycling, Reverse Logistics, Environmental Impact, Sustainability

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Fluxograma da fabricação de vidro embalagem | 21 |
| Figura 2 – Esquema representativo das fases envolvidas no ciclo do vidro. | 22 |
| Figura 3 – Cadeia de reciclagem pós-consumo. | 26 |
| Figura 4 – Volume de produção RGB e OW | 29 |
| Figura 5 – Processo de metodologia de pesquisa..... | 33 |
| Figura 6 – Mapeamento de Processos de Retpack..... | 34 |
| Figura 7 – Exemplo de garrafas rejeitadas pela inspeção..... | 37 |
| Figura 8 – Exemplo de garrafa imprópria. | 40 |
| Figura 9 – Diagrama de Ishikawa..... | 43 |
| Figura 10 – Fatores da não-reutilização do vidro. | 52 |
| Figura 11 – Análise dos fatores externos e internos. | 54 |
| Figura 12 – Análise de riscos e oportunidades..... | 56 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Impactos ambientais por tonelada de vidro produzido | 24 |
| Tabela 2 – Comparação dos impactos ambientais por tonelada de vidro produzido..... | 24 |
| Tabela 3 – Volume de produção indústria..... | 27 |
| Tabela 4 – Tipos de GFA | 28 |
| Tabela 5 – Volume de produção por tipo de embalagem..... | 29 |
| Tabela 6 – Volume de Perdas por hL..... | 47 |
| Tabela 7 – Valorização das perdas de GFA..... | 48 |
| Tabela 8 – Resultados do reaproveitamento dos cacos de vidro das GFAs RGBs | 48 |
| Tabela 9 – Resultados do retorno de GFAs RGBs..... | 49 |
| Tabela 10 – Resultados do reaproveitamento das GFAs RGBs | 50 |
| Tabela 11 – Resultados das garrafas OW | 51 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OW – *One Way*

RGB - *Returnable Glass Bottle*

RET – Retornável

PET - Polímero Politereftalato de Etileno

ATG – Ativo de Giro

GFA – Garrafa

GFE – Garrafeira

ML – Milhões de litros

MJ – Mega Joule

hL – Hecto Litro

RET – Retornável

PDV – Ponto de Venda

CDD – Centro de Distribuição

BPM – *Business Process Management*

ACV – Análise de Ciclo de Vida

CO₂ eq. – Unidades de CO₂ Equivalentes

LCA – *Life Cycle Assessment*

GWP - *Global Warming Potential*

VOL – Volume

MAQ – Maquinário

PROP – Proposital

INVENT – Inventário

MOVIM – Movimentação

PROD – Produção

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 2. OBJETIVOS | 17 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 17 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 17 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 18 |
| 3.1 HISTÓRIA E PROPRIEDADES DO VIDRO | 18 |
| 3.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE GARRAFAS | 20 |
| 3.3 DESCARTE DE VIDRO NO BRASIL | 25 |
| 3.4 AS EMBALAGENS DE VIDRO NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS | 26 |
| 3.5 FERRAMENTAS DA QUALIDADE | 30 |
| 4. METODOLOGIA DA PESQUISA | 32 |
| 4.1 APLICAÇÃO DO BPM NO MAPEAMENTO DA LOGÍSTICA REVERSA | 33 |
| 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE PERDA | 35 |
| 4.2.1 Maquinário | 36 |
| 4.2.2 Proposital | 37 |
| 4.2.3 Inventário | 38 |
| 4.2.4 Movimentação | 38 |
| 4.2.5 <i>Blitz</i> | 39 |
| 4.3 CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS DE VIDRO | 40 |
| 4.4 DIAGNÓSTICO DAS CAUSAS DA NÃO-REUTILIZAÇÃO DO VIDRO | 42 |
| 4.5 ANÁLISE SWOT | 44 |
| 5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS | 46 |
| 5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS IDENTIFICADOS PELO BPM | 46 |
| 5.2 QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS DE RGB | 46 |
| 5.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL DA REUTILIZAÇÃO DE GARRAFAS | |

| | |
|---|-----------|
| 5.4 RESULTADOS DO DIAGRAMA ISHIKAWA | 51 |
| 5.5 RESULTADOS ANÁLISE SWOT | 53 |
| 6. CONCLUSÕES | 58 |
| REFERÊNCIAS | 59 |

1 INTRODUÇÃO

A indústria de bebidas ocupa um papel estratégico na economia brasileira, sendo responsável por uma expressiva geração de empregos, arrecadação de tributos e dinamização da cadeia agroindustrial. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (Abia), em 2022 o faturamento combinado da indústria de alimentos e bebidas atingiu R\$ 1,075 trilhão, dos quais R\$ 177 bilhões correspondem exclusivamente ao setor de bebidas — tanto alcoólicas quanto não alcoólicas —, representando 10,8% do PIB nacional (ABIA, 2022). Além disso, apresenta forte integração com outras indústrias, como a de embalagens, logística e insumos agrícolas, promovendo encadeamentos produtivos relevantes em diversas regiões.

A crescente preocupação com os impactos ambientais das atividades industriais tem levado a sociedade e o setor produtivo a repensarem seus modelos de consumo e descarte. Nesse cenário, a logística reversa surge como um dos pilares da economia circular, permitindo o reaproveitamento de materiais e a redução da exploração de recursos naturais (LEITE, 2009).

No setor de bebidas, o vidro continua sendo uma das principais embalagens utilizadas devido às suas propriedades físico-químicas que o tornam um material ideal para o acondicionamento de líquidos alimentícios. Quanto à reciclagem do vidro, é possível obter uma tonelada de matéria-prima ao reciclar uma tonelada de vidro (OLIVEIRA; ANACLETO, 2019), assim como menor consumo de energia e emissão de resíduos com menos particulados de CO₂ (ABIVIDRO, 2021).

Apesar de sua reciclabilidade infinita, o descarte inadequado das embalagens de vidro ainda representa um desafio no Brasil. Estima-se que pouco menos da metade do vidro consumido no País seja efetivamente reciclado, resultando em grandes volumes destinados a aterros sanitários ou descartados de forma irregular no meio ambiente (ABIVIDRO, 2021). Esse cenário acarreta impactos significativos, como o aumento da sobrecarga dos sistemas de gestão de resíduos, riscos de acidentes em áreas de disposição final e desperdício de um material que poderia retornar ao ciclo produtivo com menor consumo energético. Além disso, o tempo de degradação natural do vidro no ambiente é extremamente longo, podendo ultrapassar

milhares de anos, o que intensifica os problemas ambientais associados ao descarte incorreto (OLIVEIRA; ANACLETO, 2019).

Do ponto de vista da Engenharia Química, a incorporação de cacos de vidro no processo de fabricação influencia diretamente variáveis operacionais críticas, como a temperatura de fusão, o tempo de residência no forno e a viscosidade da massa fundida. Estudos indicam que a adição de até 90% de caco reciclado pode reduzir em até 25% o consumo energético do processo (GONÇALVES, 2015). No entanto, para que o vidro reciclado possa ser reintroduzido com segurança e eficiência no processo produtivo, é necessário que passe por etapas rigorosas de triagem, limpeza e caracterização físico-química, evitando contaminações que comprometam a qualidade do produto final.

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso do processo de logística reversa do vidro em uma indústria de bebidas, com enfoque na análise técnica das etapas de coleta, transporte, beneficiamento e reinserção do material na produção. A pesquisa busca ainda identificar gargalos logísticos e operacionais, propor melhorias baseadas em princípios de Engenharia Química e avaliar o impacto ambiental e energético do reaproveitamento do vidro.

Ao abordar a integração entre sustentabilidade, eficiência energética e gestão de resíduos, este estudo contribui para a construção de modelos industriais mais responsáveis e alinhados às diretrizes da produção mais limpa (PNRS, 2010), reforçando o papel estratégico da Engenharia na transição para uma economia circular.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a aplicação da logística reversa no reaproveitamento de embalagens de vidro em uma indústria de bebidas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender o fluxo do processo de fabricação do vidro e analisar as vantagens da reutilização dos cacos de vidro, considerando aspectos energéticos e ambientais;
- Identificar as causas que impedem a reutilização das garrafas de vidro;
- Avaliar os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças do processo de logística reversa;
- Mapear o fluxo de retorno das embalagens, destacando as etapas e possíveis gargalos;
- Quantificar e caracterizar os tipos de perdas de garrafa no processo de envase de bebidas;
- Avaliar os benefícios ambientais e econômicos da reutilização das garrafas retornáveis em comparação com as de uso único;
- Propor estratégias de melhoria contínua para aumentar a eficiência da logística reversa e reduzir perdas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 HISTÓRIA E PROPRIEDADES DO VIDRO

A história do vidro está intimamente ligada ao desenvolvimento da civilização, desde a utilização de vidros naturais, como a obsidiana, por povos antigos, até a descoberta da produção sintética por volta de 2500 a.C. na Mesopotâmia. Essa técnica posteriormente se expandiu para o Egito, onde foi aperfeiçoada e utilizada em objetos artísticos e utilitários. Ao longo da Antiguidade, surgiram importantes avanços, como a técnica do sopro de vidro desenvolvida na Síria, que deu origem ao chamado 'vidro romano' e possibilitou a produção em larga escala, tornando o material mais acessível. Já na Idade Média, o vidro ganhou destaque nos vitrais coloridos e na excelência do vidro veneziano, produzido em Murano, que permitiu a criação das primeiras lentes corretivas. Além disso, desde os tempos antigos, o vidro também passou a ser utilizado para armazenar líquidos e outros produtos, inaugurando sua função como embalagem, inicialmente em frascos e recipientes ornamentais (SILVA; FILGUEIRAS, 2023).

Nos séculos seguintes, o vidro passou a ocupar papel cada vez mais central, não apenas na vida cotidiana, mas também no avanço científico e tecnológico. A criação da Manufatura Real de Vidros Saint-Gobain, no século XVII, viabilizou a produção de grandes painéis de vidro, essenciais para espelhos e janelas. No século XVIII, ele se consolidou como material indispensável nos laboratórios químicos, sendo utilizado na confecção de instrumentos padronizados. Com a Revolução Industrial, o vidro foi incorporado de forma massiva à produção de garrafas e copos, consolidando sua importância como embalagem para bebidas e alimentos. O desenvolvimento de novos tipos, como o vidro borossilicato e o vidro temperado, ampliou ainda mais suas aplicações em diferentes áreas. Dessa forma, a evolução histórica do vidro evidencia sua transformação de material raro e artesanal para elemento essencial na ciência, na tecnologia e na sociedade moderna (SILVA; FILGUEIRAS, 2023).

O vidro passou a ser um elemento amplamente utilizado na indústria de embalagens, especialmente do setor de bebidas. Por se tratar de um material cerâmico amorfo, sua composição básica inclui sílica (SiO_2), calcário (CaCO_3) e carbonato de sódio (Na_2CO_3), elementos abundantes na natureza. A estrutura amorfa

do vidro confere-lhe propriedades como alta transparência, resistência química e térmica, além de ser um material inerte, ou seja, não interage com o conteúdo armazenado, preservando suas características originais (CALLISTER; RETHWISCH, 2013).

Sob o aspecto mecânico, o vidro apresenta elevada resistência à compressão, mas possui baixa resistência à tração e ao impacto, o que o torna um material frágil. Essa fragilidade está relacionada à sua estrutura amorfa e à presença de microfissuras em sua superfície, que funcionam como pontos de concentração de tensões e favorecem a propagação de trincas. Como consequência, pequenas falhas ou choques localizados podem levar à ruptura súbita do material, sem sinais prévios de deformação plástica (CALLISTER; RETHWISCH, 2013). Essa característica explica a quebra repentina das embalagens de vidro quando submetidas a quedas ou impactos diretos. No entanto, nas embalagens retornáveis, sua robustez estrutural permite múltiplos ciclos de uso, desde que sejam respeitados os limites de manuseio e transporte. Após os processos industriais de lavagem e esterilização, essas garrafas mantêm sua integridade e continuam garantindo a segurança do produto acondicionado.

Uma das propriedades mais notáveis do vidro é a sua capacidade de ser reciclado infinitamente sem perda significativa de qualidade, característica que o diferencia de outros materiais de embalagem, como plásticos e papéis, que sofrem degradação progressiva a cada ciclo de reaproveitamento. O processo de reciclagem do vidro envolve etapas essenciais, como a coleta seletiva, a separação por cores para manter a pureza do material, a lavagem para remoção de impurezas e, por fim, a fusão dos cacos em fornos de alta temperatura, originando novos produtos sem comprometer suas propriedades físico-químicas. Essa cadeia de reaproveitamento consome significativamente menos energia do que a produção a partir de matérias-primas virgens, uma vez que o vidro reciclado funde a temperaturas mais baixas do que a mistura de sílica, calcário e barrilha utilizada na produção primária. Essa prática reduz a extração de recursos naturais, diminui as emissões de CO₂ e contribui para a economia circular, promovendo benefícios ambientais e a conservação de materiais.

Além disso, o grande atrativo na reciclagem dos vidros recai, essencialmente, na economia de energia, e de matéria-prima para o produtor ou fabricante, em cada quilo de vidro reciclado, na forma moída, substituísse cerca de 6,6 quilogramas de areia e, na etapa de fusão, aproximadamente 1 tonelada desse material consome em média 70% menos energia, do que a requerida para a fabricação inicial. Além do mais, estudos de ciclo de vida demonstram que a reciclagem do vidro para embalagens, por meio da fusão do caco, proporciona considerável economia energética e redução nas emissões de gases de efeito estufa, em comparação com a produção de vidro novo a partir de matérias-primas virgens (VOSSBERG; MASON-JONES; COHEN, 2014). No entanto, apesar dessa grande vantagem em relação ao vidro, em 2007, o índice de reciclagem no Brasil foi de apenas 47% (ABIVIDRO, 2021).

3.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE GARRAFAS

O vidro é produzido em diferentes formas e tamanhos, sendo utilizado principalmente em garrafas, frascos e outros tipos de recipientes. Embora existam diferentes tipos de vidro, o vidro virgem e o vidro reciclado são os mais comuns, sendo que a forma como são produzidos e os impactos ambientais variam significativamente entre esses dois processos.

Conforme ilustrado na Figura 1, a fabricação do vidro virgem inicia-se com a preparação das matérias-primas, que incluem sílica (areia), calcário, carbonato de sódio e óxidos metálicos, dependendo das propriedades desejadas para o produto. Essas matérias-primas são cuidadosamente pesadas e misturadas, formando uma 'carga' que será levada ao forno de fusão, conforme mostrado no fluxograma abaixo. No processo de fusão, a mistura é aquecida a temperaturas superiores a 1.500°C, momento em que a sílica se funde com os outros componentes para formar a massa vítrea (WIKIVIDROS,2017).

Figura 1 – Fluxograma da fabricação de vidro embalagem



Fonte: WIKIVIDROS (2017)

A fusão do vidro virgem é energeticamente intensiva, exigindo grandes quantidades de combustível, como gás natural, e gerando emissões significativas de CO_2 . A partir dessa carga fundida, o vidro é moldado por diversos métodos, como moldagem por sopro e moldagem por prensagem, dependendo do tipo de embalagem desejada. Após a formação, o vidro passa por um processo de recozimento, onde é resfriado de maneira controlada para aliviar tensões internas e garantir que o vidro tenha a resistência necessária. Após o recozimento, as embalagens de vidro são inspecionadas quanto à qualidade e acondicionadas para o transporte. (SILVA; FILGUEIRAS,2023).

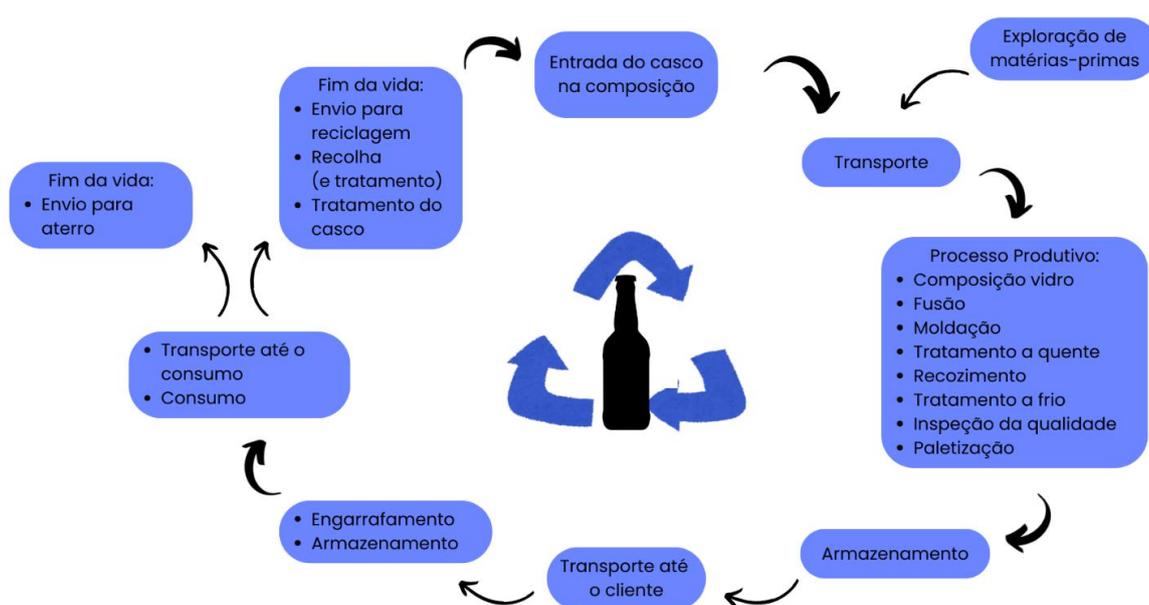
Embora a fabricação do vidro virgem seja eficaz e tenha se consolidado como um processo industrial amplamente utilizado, ela apresenta impactos ambientais elevados, devido ao alto consumo de energia na fusão e às emissões de gases de efeito estufa. A produção de vidro virgem contribui significativamente para o aquecimento global e a poluição do ar, principalmente pela utilização de fontes de energia não renováveis (COELHO,2017).

Já o vidro reciclado, oferece uma série de vantagens ambientais sobre o vidro virgem. Uma das maiores vantagens é o reduzido consumo de energia. A fusão de vidro reciclado requer uma temperatura significativamente mais baixa, o que resulta em uma redução de até 25% no consumo de energia quando comparado à fusão de vidro virgem (COLANGELO,2024). Além disso, o uso de vidro reciclado reduz a necessidade de matérias-primas virgens, como areia e carbonato de sódio, contribuindo para a conservação dos recursos naturais.

O impacto ambiental da produção de vidro reciclado é consideravelmente reduzido, especialmente devido à diminuição das emissões de CO₂. Ao optar pelo uso de vidro reciclado, a indústria contribui não só para a redução da pegada de carbono, mas também para a diminuição do volume de resíduos sólidos destinados a aterros sanitários, favorecendo a economia circular. Além disso, a produção de vidro reciclado se mostra mais eficiente em termos de custos operacionais, pois a fusão de caco de vidro exige menos energia quando comparado ao processo de fabricação do vidro virgem. O uso de caco de vidro na fabricação de embalagens também desempenha um papel importante na redução das emissões atmosféricas, que apontam uma redução de até 30% nas emissões de CO₂ ao substituir o vidro virgem pelo reciclado (ŽEGARDLO; DRUŽBA,2021).

As etapas do ciclo de vida do produto foram analisadas conforme a norma ISO 14040:2006, considerando os principais fluxos de entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*), organizados dentro do conceito de sistema de produto. De acordo com a Figura 2, é possível observar o sistema fechado do ciclo de vida do vidro e as fases consideradas pelo padrão internacional. Embora a norma permaneça vigente, ela recebeu uma atualização por meio de uma emenda ISO 14040:2006/Amd 1:2020 publicada em setembro de 2020.

Figura 2 – Esquema representativo das fases envolvidas no ciclo de vida do vidro



Fonte: Adaptado Coelho (2017).

A Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) constitui uma metodologia estruturada para quantificar os impactos ambientais associados a produtos ou processos, considerando todas as etapas do ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até a disposição final, conforme estabelecido pelas normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. Entre as categorias de impacto avaliadas, destacam-se as emissões de gases de efeito estufa, normalmente expressas em dióxido de carbono equivalente, obtidas pela Equação 1:

$$CO_{2eq} = \sum_i (E_i \times GWP_i) \quad (1)$$

em que E_i representa a emissão do gás i e GWP_i corresponde ao seu Potencial de Aquecimento Global em horizonte de 100 anos. Outra categoria relevante é o esgotamento de recursos naturais, em particular os recursos energéticos fósseis, cujo cálculo segue a relação Equação 2

$$RD_{fossil} = \sum_i (Q_i \times CF_i) \quad (2)$$

sendo Q_i a quantidade consumida do recurso i e CF_i o seu fator de caracterização, expresso em unidades energéticas (MJ/kg ou MJ/m³). Dessa forma, a aplicação do LCA permite integrar diferentes categorias de impacto em uma análise comparativa robusta, subsidiando a tomada de decisão em termos de sustentabilidade (ISO, 2006).

A Tabela 1 mostra as comparações dos diferentes tipos de vidro em relação a impactos ambientais, como a mudança climática (GWP 100 - Global Warming Potential), o esgotamento de recursos e a toxicidade humana, os resultados foram obtidos através do software openLCA 1.10.3, com a metodologia da ISO 14040: 2006. Observa-se que o vidro reciclado (glassREC) apresenta valores significativamente menores para as emissões de CO₂ e a toxicidade humana quando comparado ao vidro virgem (glassNAT), o que destaca o benefício ambiental da reciclagem (ŽEGARDLO; DRUŽBA, 2021)

Tabela 1 – Impactos ambientais por tonelada de vidro produzido

| Valores | Unidade | GlassNAT | GlassREC |
|------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|
| Mudanças Climáticas (GWP100) | kg de CO ₂ eq. | 0,965 | 0,338 |
| Demanda Energética | MJ | 10,678 | 3,796 |
| Toxicidade Humana | kg 1,4-diclorobenzeno eq. | 0,194 | 0,065 |
| Recursos Naturais | UBP | 1,461 | 0,482 |
| Emissão de gases | UBP | 2171,675 | 718,709 |

Fonte: Adaptado ŽEGARDLO; DRUŽBA (2021).

Os valores encontrados na literatura para a demanda energética primária e o potencial de aquecimento global associados à produção de vidro na Tabela 1 foram comparados, com os resultados apresentados em uma publicação da Container Recycling Institute (2010), que apresenta valores de 16,6 MJ/kg para demanda energética primária e 1,25 kg CO₂/kg para o potencial de aquecimento global na América do Norte, conforme apresentado na Tabela 2. Essa análise comparativa permite verificar a consistência dos dados reportados, evidenciando pequenas variações regionais e metodológicas na avaliação do ciclo de vida do vidro.

Tabela 2 – Comparação dos impactos ambientais por tonelada de vidro produzido

| Medições da Pegada de Carbono | América do Norte |
|--|-------------------------|
| Demanda Energia Primária (MJ/ tonelada vidro) | 16,6 |
| Potencial de Aquecimento Global (kg de CO ₂ / tonelada vidro) | 1,25 |

Fonte: Adaptado CONTAINER RECYCLING INSTITUTE (2010)

Por conseguinte, a reciclagem de vidro também permite a flexibilidade na produção, já que o vidro reciclado pode ser reutilizado de várias formas sem perda de qualidade, o que aumenta sua eficiência e sustentabilidade no longo prazo. No entanto, vale ressaltar que, apesar das vantagens, a produção de vidro reciclado enfrenta desafios, como a qualidade do caco de vidro (*cullet*) e a presença de contaminantes, que podem impactar a pureza do produto, logo, é essencial que haja um processo rigoroso de separação e limpeza do vidro reciclado para garantir a qualidade da produção (COLANGELO,2024).

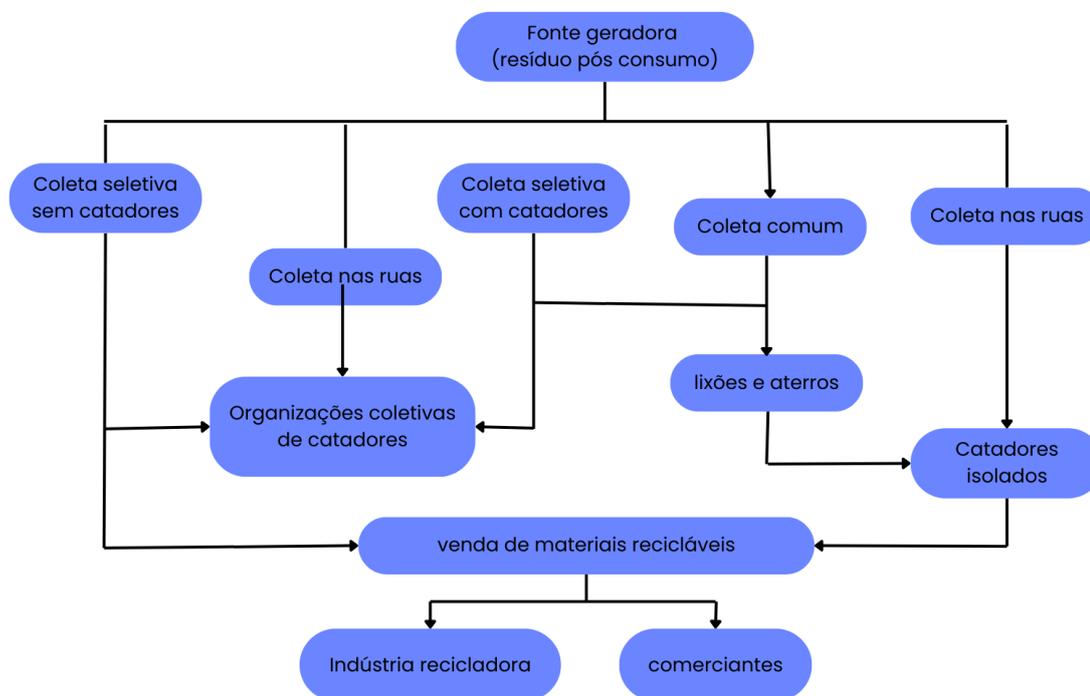
3.3 DESCARTE DE VIDRO NO BRASIL

O descarte do vidro no Brasil ainda enfrenta diversos entraves, especialmente no que diz respeito à coleta seletiva e ao encaminhamento adequado para a reciclagem. Embora seja um material totalmente reciclável e reutilizável sem perda de qualidade, grande parte das embalagens de vidro consumidas não retorna ao ciclo produtivo, sendo descartada em aterros sanitários ou de forma irregular no meio ambiente. Esse cenário revela a necessidade de maior integração entre políticas públicas, práticas empresariais e engajamento da sociedade para que a logística reversa do vidro seja efetiva (NEXO, 2024).

Um dos principais fatores que explicam a baixa taxa de reciclagem do vidro no País está relacionado a comportamentos culturais e hábitos de consumo. Muitos consumidores ainda não realizam a separação adequada dos resíduos, seja por falta de informação, seja por ausência de infraestrutura de coleta seletiva em seus municípios. Além disso, o peso e a fragilidade do vidro dificultam seu transporte pelos catadores, que muitas vezes priorizam materiais de maior valor agregado, como o alumínio (OLIVEIRA; ANACLETO, 2019).

No contexto da reciclagem de vidro no Brasil, a implementação efetiva do processo depende da realização prévia de etapas fundamentais, como a coleta seletiva, a triagem, a limpeza, o enfardamento e o transporte dos resíduos. Conforme destaca o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2010). A Figura 3 apresenta a cadeia completa da reciclagem, que se inicia na geração do resíduo pós-consumo, passa pelos diferentes métodos de coleta e culmina na comercialização dos materiais para comerciantes e indústrias recicladoras. Esse fluxo sequencial e integrado é essencial para garantir que o vidro retorne ao ciclo produtivo, reforçando não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também gerando oportunidades econômicas para os agentes envolvidos.

Figura 3 – Cadeia de reciclagem pós consumo



Fonte: IPEA (2010)

Os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado de vidro são expressivos, constituindo um desafio para a gestão sustentável de resíduos sólidos. Por ser um material não biodegradável, seu tempo de decomposição no ambiente pode ultrapassar milhares de anos. Quando destinado a aterros, contribui para a redução da vida útil desses espaços e aumenta o volume de resíduos acumulados. Além disso, fragmentos de vidro abandonados em áreas urbanas ou naturais representam riscos à fauna, à flora e à saúde humana, podendo causar ferimentos e contaminações em ecossistemas (LEITE, 2009). Nesse sentido, a promoção de programas de educação ambiental e a ampliação de iniciativas de logística reversa tornam-se essenciais para transformar o vidro de um passivo ambiental em um recurso produtivo, alinhado aos princípios da economia circular.

3.4 AS EMBALAGENS DE VIDRO NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS

No Brasil, o mercado de embalagens para bebidas é dominado principalmente pelo plástico PET (Polímero Politereftalato de Etileno), mas o vidro ainda ocupa posição estratégica, sobretudo nos segmentos de refrigerantes e cervejas. No caso

da cerveja, a predominância é das latas de alumínio, que representam cerca de 63% do mercado nacional, enquanto as garrafas de vidro correspondem a aproximadamente 37% da produção (ABRALATAS, 2023). Apesar da menor participação em comparação às latas, o vidro possui importância expressiva no consumo de cervejas *premium*, artesanais e em embalagens retornáveis, reforçando a sua relevância cultural e mercadológica.

De forma geral, os dados revelam que, embora o vidro não seja o material predominante em volume, ele desempenha papel essencial na indústria de bebidas brasileira. Sua utilização em segmentos específicos, como refrigerantes retornáveis e cervejas premium, associada à sua reciclabilidade infinita, reforça o valor estratégico desse material tanto do ponto de vista ambiental quanto mercadológico.

Além disso, o descarte adequado do vidro está diretamente ligado ao conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010). Nesse contexto, fabricantes, distribuidores, comerciantes, consumidores e o poder público possuem papéis complementares para garantir a reinserção do vidro no processo produtivo.

Na indústria em que o estudo de caso foi realizado, conforme a Tabela 3, o volume de produção apurado no ano de 2024 chega a 8.122 milhões de litros de bebidas, sendo elas alcoólicas e não-alcoólicas, já as embalagens de vidro correspondiam a 38% do volume total apontado e os meses de março a maio com uma porcentagem maior da utilização das garrafas de vidro.

Tabela 3 – Volume de produção indústria

| Meses | Volume Produção (ML) | Volume Produção GFA RGB (ML) | Volume | |
|-------|----------------------|------------------------------|----------------------|-----------------|
| | | | Produção GFA OW (ML) | Porcentagem (%) |
| Jan | 640 | 255 | 44 | 40% |
| Fev | 591 | 227 | 44 | 38% |
| Mar | 665 | 186 | 44 | 28% |
| Abr | 570 | 238 | 51 | 42% |
| Mai | 606 | 230 | 51 | 38% |
| Jun | 687 | 239 | 42 | 35% |

| | | | | |
|---------------|--------------|--------------|------------|------------|
| Jul | 719 | 258 | 55 | 36% |
| Ago | 716 | 268 | 64 | 37% |
| Set | 738 | 291 | 61 | 39% |
| Out | 751 | 296 | 53 | 39% |
| Nov | 708 | 301 | 70 | 43% |
| Dez | 731 | 279 | 42 | 38% |
| Total: | 8.122 | 3.068 | 621 | 38% |

Fonte: Dados da pesquisa, (2024)

As embalagens de vidro são classificadas em dois tipos principais: OW (*One Way*), garrafas de uso único, conhecidas comercialmente como garrafas *long neck* e RGB (*Returnable Glass Bottle*), conhecidas como garrafas retornáveis. As OW são destinadas ao consumo único e subsequente descarte ou reciclagem, sendo mais comuns em segmentos de bebidas premium, exportações e canais de venda que priorizam praticidade. Já as RGB apresentam-se em diferentes formatos e volumes, conforme a Tabela 4, se destacam as garrafas de litro (1 litro), litrinho (300 ml) e inteira (600 ml), amplamente utilizadas em bares, restaurantes e no consumo doméstico pela possibilidade de retorno e reutilização após o processo de lavagem e esterilização industrial, a média de preço foi disponibilizada pela média de preços dos fornecedores no ano de 2025 da empresa do presente estudo.

Tabela 4 – Tipos de GFA

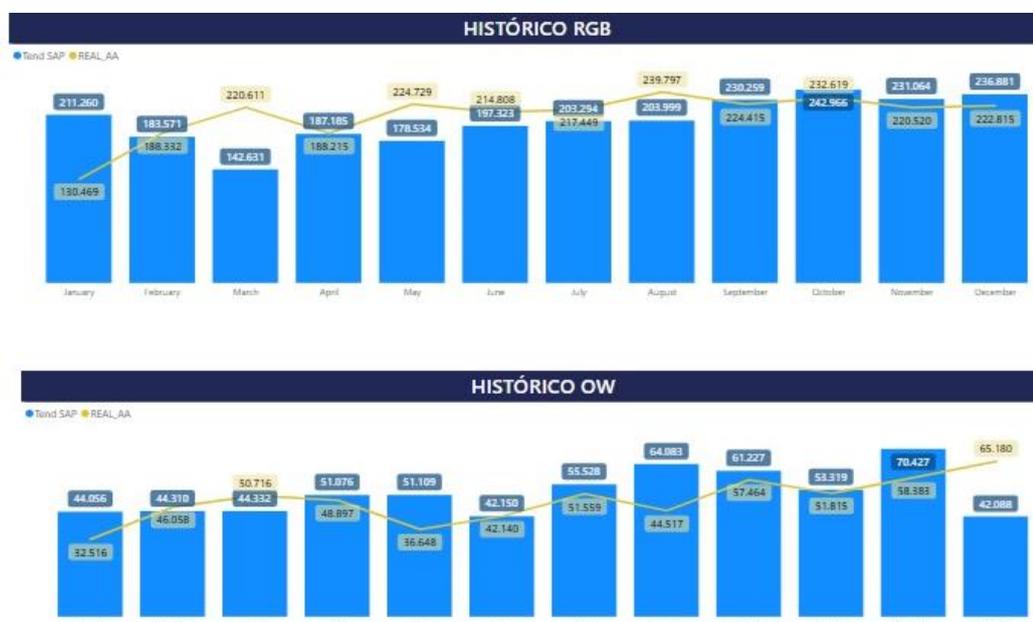
| Tipo GFA | Vol (mL) | Peso (g) | Preço (R\$) |
|-----------|----------|----------|-------------|
| Litrinho | 300 | 185 | 0,70 |
| Inteira | 600 | 450 | 1,38 |
| Litro | 1000 | 575 | 2,02 |
| Long neck | 330 | 200 | 0,60 |

Fonte: Dados da pesquisa, (2024).

Entre as embalagens de vidro utilizadas pela indústria analisada, conforme a Figura 4, destaca-se a predominância das retornáveis. Aproximadamente 79% do total corresponde às garrafas do tipo RGB, enquanto apenas 21% são classificadas como OW. Esse percentual expressivo evidencia a relevância do sistema retornável na estratégia produtiva e logística da empresa, uma vez que possibilita a reutilização

sucessiva das garrafas, reduzindo custos com aquisição de novas embalagens, além de reforçar o compromisso da indústria com a sustentabilidade e a economia circular.

Figura 4 – Volume de produção RGB e OW (hL)



Fonte: Dados da pesquisa, (2024)

Com relação ao tipo de embalagem, a análise da produção mensal de garrafas da indústria de bebidas em 2024 revela variações significativas nos volumes de envase ao longo do ano, conforme demonstrado na Tabela 5. Observa-se que, do total de 2.447 milhões de litros produzidos ao longo do período, as garrafas tipo Litrinho representam 30% do volume, as garrafas Inteira correspondem a 34% e as garrafas tipo Litro atingem 36%. Apesar de as garrafas tipo litro apresentarem maior volume individual, o número de unidades consumidas é menor em comparação às garrafas de menor capacidade, como a garrafa inteira, indicando que a distribuição do volume não reflete diretamente a quantidade de embalagens produzidas

Tabela 5 – Volume de produção por tipo de embalagem

| Meses | Volume Produção RGB (ML) | Volume Produção Litrinho (ML) | Volume Produção Inteira (ML) | Volume Produção Litro (ML) |
|-------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Jan | 211 | 44 | 102 | 65 |
| Fev | 183 | 56 | 54 | 73 |

| | | | | |
|---------------|--------------|------------|------------|------------|
| Mar | 142 | 57 | 35 | 50 |
| Abr | 187 | 51 | 62 | 74 |
| Mai | 179 | 44 | 58 | 77 |
| Jun | 197 | 66 | 60 | 71 |
| Jul | 203 | 67 | 58 | 78 |
| Ago | 204 | 62 | 70 | 72 |
| Set | 230 | 67 | 88 | 75 |
| Out | 243 | 72 | 93 | 78 |
| Nov | 231 | 66 | 81 | 84 |
| Dez | 237 | 72 | 77 | 88 |
| Total: | 2.447 | 30% | 34% | 36% |

Fonte: Dados da pesquisa, (2024)

3.5 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

A gestão eficiente dos processos e a redução de desperdícios, especialmente em sistemas de logística reversa, são desafios constantes no setor de embalagens. No caso específico das garrafas de vidro, a análise das razões para a não reutilização e as oportunidades de melhoria nos processos é essencial para otimizar a sustentabilidade e a economia de recursos. Três ferramentas e metodologias amplamente utilizadas para esse fim são: o Diagrama de Ishikawa, a Análise SWOT e o *Business Process Management* (BPM), as quais permitem um diagnóstico profundo das causas do problema e a identificação de estratégias eficazes.

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como 'espinha de peixe', foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa na década de 1960 e é uma ferramenta de qualidade amplamente utilizada para identificar as possíveis causas de um problema específico (ISHIKAWA, 1985). Este diagrama auxilia na visualização clara das causas potenciais, divididas em categorias como pessoas, processos, equipamentos, materiais e ambiente. A aplicação do Diagrama de Ishikawa permite que equipes de trabalho compreendam de forma visual e detalhada os fatores que contribuem para a ocorrência de problemas, facilitando sua resolução.

A investigação das causas-raiz, segmentadas nas categorias do diagrama, é fundamental para a erradicação de falhas recorrentes, além de oferecer uma abordagem estratégica para o controle e prevenção de problemas semelhantes no futuro. Apresenta-se como uma ferramenta eficaz no diagnóstico de processos

industriais, sendo amplamente utilizado para identificar falhas operacionais em diversos setores, como manufatura, serviços e saúde (LIMA, 2020).

A Análise SWOT é uma técnica estratégica que permite avaliar os pontos fortes (*Strengths*) e fracos (*Weaknesses*) internos de uma organização, bem como as oportunidades (*Opportunities*) e ameaças (*Threats*) externas (MOURA; SOUZA; 2019). Sua aplicação é fundamental no planejamento estratégico, pois possibilita uma análise abrangente dos fatores que influenciam o desempenho de uma organização.

Essa ferramenta da qualidade ajuda os gestores a identificarem os recursos e capacidades internas da organização que podem ser explorados para alcançar uma vantagem competitiva, ao mesmo tempo em que identifica áreas de melhoria. A compreensão das forças e fraquezas organizacionais, em conjunto com as oportunidades e ameaças do mercado, permite uma melhor adaptação da empresa às mudanças no ambiente externo, levando-a a posicionar-se estrategicamente de maneira mais assertiva (MOURA; SOUZA; 2019).

O *Business Process Management* (BPM), ou Gestão por Processos de Negócio, é uma abordagem metodológica que visa mapear, analisar, modelar, monitorar e melhorar continuamente os processos organizacionais (FERREIRA; PEREIRA, 2025). A aplicação do BPM em sistemas de logística reversa possibilita uma visão integrada das etapas envolvidas, desde a coleta até o reaproveitamento ou descarte das embalagens. Além disso, permite alinhar os processos às estratégias de sustentabilidade, identificando gargalos, eliminando desperdícios e promovendo maior eficiência operacional. Dessa forma, o BPM contribui não apenas para a melhoria contínua, mas também para a criação de valor na cadeia de suprimentos, reforçando práticas de economia circular.

Por conseguinte, a integração entre o Diagrama de Ishikawa, a Análise SWOT e o BPM configura-se como uma estratégia robusta para a gestão de processos, especialmente em sistemas de logística reversa. Enquanto o Diagrama de Ishikawa contribui para a identificação das causas-raiz dos problemas, a SWOT fornece suporte para decisões estratégicas e o BPM garante uma visão sistêmica e de melhoria contínua. Juntas, essas metodologias fortalecem a sustentabilidade, aumentam a eficiência operacional e promovem maior competitividade para as organizações.

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa realizada foi um estudo de caso de logística reversa numa indústria de bebida da região da grande Recife-PE, no período de janeiro a junho de 2025. De acordo com Herrera *et. al.*, 2016 “o estudo de caso é uma técnica de aprendizagem no qual o aluno se depara com um problema específico, o caso.

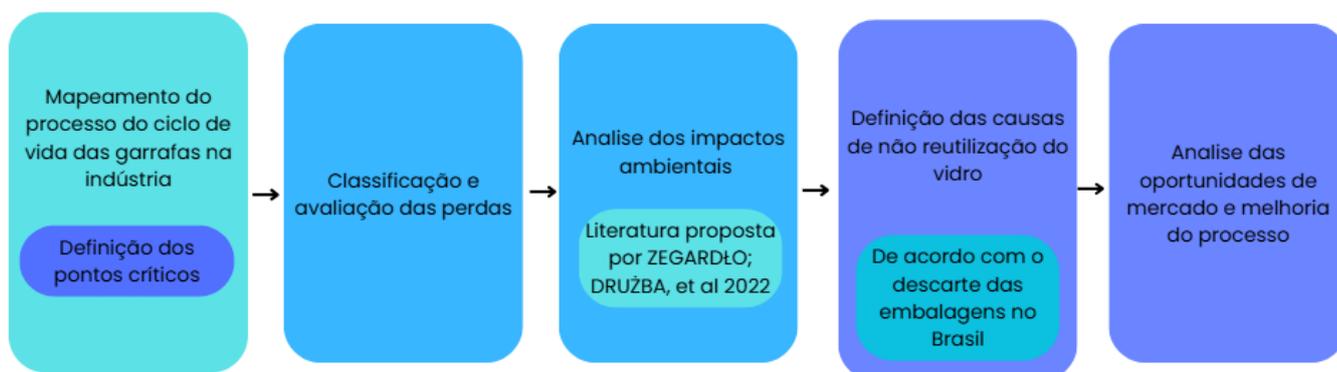
O procedimento metodológico escolhido nesse trabalho foi desenvolvido Segundo Maria Cecília de Souza (2012), entendemos metodologia o caminho do pensamento e a prática exercida na abordagem da realidade.

Conforme essa autora, “A metodologia contempla a descrição da fase de exploração de campo (escolha do espaço da pesquisa, escolha do grupo de pesquisa, critérios e estratégias para escolha do grupo/sujeitos da pesquisa, a definição de métodos, técnicas e instrumentos para construção de dados e os mecanismos para entrada em campo), as etapas do trabalho de campo e os procedimentos para análise (MINAYO, 2012, p.47).

Assim, neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos, objetivando-se mostrar o caminho percorrido para a realização do estudo de caso.

A metodologia de pesquisa foi estruturada em cinco fases principais: (1) Desenvolvimento do fluxograma da logística reversa na empresa analisada; (2) Quantificar as principais fontes de perdas; (3) Análise dos resultados de acordo com embasamento teórico escolhido; (4) Definições das causas de não-reutilização do vidro; (5) Diagnóstico de melhorias e oportunidades para empresa. Uma esquematização do processo da metodologia de pesquisa também é apresentada na Figura 5, enquanto cada fase da metodologia é detalhada nas subseções abaixo.

Figura 5 – Processo de metodologia de pesquisa



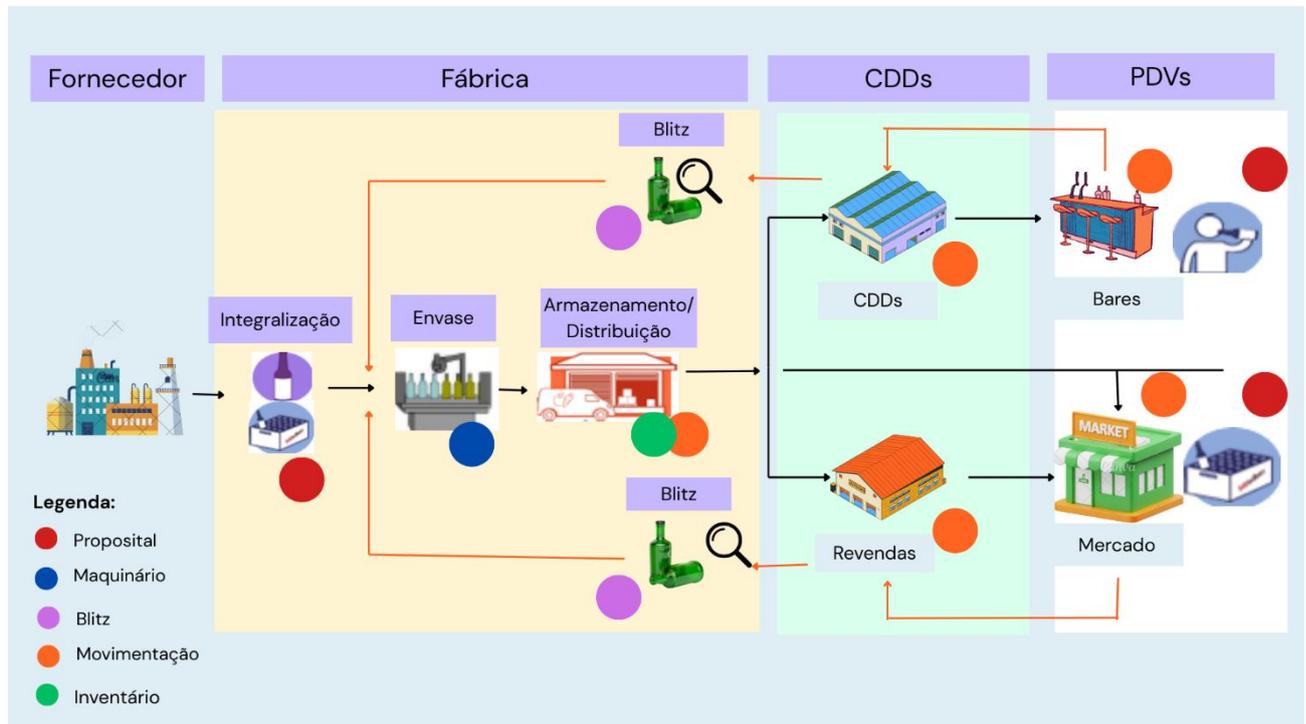
Fonte: Proposta da Autora, (2025).

4.1 APLICAÇÃO DO BPM NO MAPEAMENTO DA LOGÍSTICA REVERSA

Para realização do mapeamento de processos foi utilizada a metodologia de *Business Process Management (BPM)*, a qual se fundamenta em um ciclo estruturado que envolve a identificação, modelagem, análise, implementação e monitoramento dos processos organizacionais. Essa abordagem tem como objetivo alinhar as atividades operacionais aos objetivos estratégicos da organização, promovendo maior eficiência e integração entre os diferentes elos da cadeia (TEIXEIRA; FERREIRA; RAMOS, 2024).

Esse mapeamento, representado graficamente através da notação BPM, na Figura 6, permite identificar e compreender o caráter cíclico e sustentável do *Retpack*, evidenciando como a logística reversa contribui diretamente para o prolongamento do ciclo de vida das embalagens de vidro. Além do impacto ambiental positivo, ao reduzir a geração de resíduos e a demanda por matéria-prima virgem, o processo também gera ganhos econômicos para a indústria, uma vez que diminui os custos associados à fabricação de novas garrafas.

Figura 6 – Mapeamento de Processos de Retpack



Fonte: Dados da pesquisa, (2025).

Neste estudo, o processo de logística reversa é voltado ao reaproveitamento das embalagens de vidro, e o fluxo do retorno das garrafas é denominado *Retpack*. O processo inicia-se nas unidades fornecedoras, responsáveis pela produção das embalagens de vidro, que são fabricadas de acordo com os padrões de resistência, formato e capacidade estabelecidos pela indústria de bebidas. Após a produção, as garrafas são encaminhadas para a cervejaria, onde são organizadas em garrafeiras. Essa etapa de integralização tem como finalidade otimizar o transporte e o manuseio, garantindo maior eficiência logística e menor risco de avarias no deslocamento até a linha de envase.

Na cervejaria, as embalagens seguem para o processo de envase do produto, no qual a bebida é acondicionada nas garrafas, obedecendo a rigorosos controles de qualidade e higiene. Concluído o envase, as garrafas passam para a etapa de expedição, onde são preparadas para distribuição. A partir desse ponto, as embalagens envasadas entram no fluxo de saída da indústria, sendo encaminhadas para a rede de distribuição, que se encarrega do transporte até os pontos de venda (PDVs), como supermercados, bares e restaurantes.

Nos pontos de venda, ocorre a comercialização e consumo do produto, etapa em que se inicia o ciclo reverso das embalagens. Uma vez consumida a bebida, as garrafas passam pelo processo de separação realizado nos próprios PDVs, no qual se distinguem as embalagens retornáveis das não-retornáveis. Esse é um ponto crítico do sistema, pois depende tanto da conscientização dos consumidores quanto da capacitação dos estabelecimentos para garantir o retorno adequado das embalagens. Em seguida, as garrafas retornáveis são direcionadas para a devolução do vasilhame, sendo recolhidas e transportadas até o centro de distribuição.

No centro de distribuição, as embalagens passam pelas etapas de recebimento e expedição das garrafas vazias, etapa que funciona como elo intermediário entre os pontos de venda e a cervejaria. Esse fluxo garante a consolidação das devoluções em lotes maiores, otimizando o transporte e reduzindo custos operacionais. Após essa consolidação, as garrafas são devolvidas à cervejaria, reiniciando o ciclo produtivo. De volta à indústria, ocorre o processo de resseleção das garrafas, no qual as embalagens são inspecionadas quanto à sua integridade física, resistência e condições sanitárias para que sejam encaminhadas ao processo de envase.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE PERDA

A quantificação das perdas é um aspecto fundamental para a gestão eficiente em sistemas de logística. O monitoramento dos volumes perdidos possibilita mensurar com precisão os impactos econômicos, ambientais e operacionais decorrentes dessas falhas, permitindo à organização identificar pontos críticos e estabelecer ações corretivas. Além de reduzir custos associados à reposição de vasilhames, a análise quantitativa das perdas contribui para minimizar desperdícios de recursos naturais e de energia, reforçando práticas de sustentabilidade. Dessa forma, medir e acompanhar sistematicamente os índices de perdas não apenas apoia a tomada de decisão estratégica, mas também fortalece a competitividade e a responsabilidade socioambiental das empresas do setor.

A perda de ativos de giro na logística reversa pode ser classificada em diferentes categorias, conforme o tipo de ocorrência e a etapa da cadeia em que se manifesta. A identificação e a análise dessas perdas são fundamentais para reduzir custos, aumentar a eficiência operacional e garantir a viabilidade do reaproveitamento dos vasilhames (RODRIGUES *et al.*, 2020). Possibilitando mensurar de forma objetiva o impacto desse tipo de perda no processo e seu reflexo na eficiência da cadeia de suprimentos, a quebra foi calculada pela razão entre o volume total quebrado e o volume total produzido, como apresentado na equação abaixo (3):

$$\%Quebra\ Total = \frac{Volume\ Total\ Quebrado\ (hL)}{Volume\ Total\ Produzido\ (hL)} \quad (3)$$

No presente estudo, foram analisados e quantificados os quatro tipos principais de perda de embalagens de vidro no contexto da logística reversa: perda por maquinário, perda proposital, perda por inventário e perda por movimentação. Cada categoria foi investigada quanto às suas causas, impactos operacionais e financeiros, bem como às práticas de controle e mitigação existentes, com o objetivo de compreender de forma detalhada os fatores que contribuem para a redução da eficiência no retorno dos vasilhames e propor estratégias de melhoria contínua no processo.

4.2.1 Maquinário

A perda por maquinário ocorre durante o processo de produção, especialmente nas linhas de envase, e é causada por falhas ou anomalias nos equipamentos. No presente estudo ela foi apurada através da equação (4):

$$\%Quebra\ Maquinário = \frac{Volume\ Quebrado\ por\ Maquinário\ (hL)}{Volume\ Total\ Produzido\ (hL)} \quad (4)$$

A quantidade de garrafas quebradas pode ser apurada por trecho de linha, permitindo identificar equipamentos específicos que contribuem para o aumento das quebras. Essa análise facilita a investigação da causa raiz e a implementação de medidas corretivas, reduzindo perdas futuras.

4.2.2 Proposital

A perda proposital envolve garrafas que não estão aptas para o envase e são segregadas para destruição ou reprocessamento. Entre os casos incluem-se garrafas bicadas, sujas, fora do padrão de cor ou dimensões, garrafas com tampa e garrafas de concorrentes. Elas são identificadas por um inspetor eletrônico, como ilustrado na Figura 7, localizado antes da enchedora, em que ele realiza a triagem dessas unidades, prevenindo impactos no fluxo produtivo e na indisponibilidade logística.

Essas falhas são identificadas posteriormente durante a etapa de resseleção das garrafas, na qual a inspeção de qualidade realiza a triagem dos vasilhames manualmente. O processo visa verificar se os índices de rejeição das garrafas estão corretos, assegurando que apenas embalagens que atendam aos padrões de qualidade sejam encaminhadas para reutilização e envase.

Figura 7 – Exemplo de perda garrafas rejeitas pela inspeção



Fonte: Autor (2025).

Portanto, como mostra a equação abaixo, o índice de quebra proposital é dado pela razão do volume de refugo das linhas sobre o volume produzido, o refugo representa todo o volume rejeitado pelo inspetor nas linhas de produção descrito na equação (5):

$$\%Quebra\ Proposital = \frac{Volume\ de\ Refugo\ (hL)}{Volume\ Total\ Produzido\ (hL)} \quad (5)$$

4.2.3 Inventário

A perda por inventário refere-se às diferenças entre os registros de estoque e a quantidade física de vasilhames na unidade. Essas divergências podem ocorrer devido a erros de lançamento, extravios ou falhas no controle diário/mensal. A conciliação periódica é essencial para identificar essas perdas e manter a acurácia dos registros, sendo um fator determinante na eficiência da logística reversa descrito na equação (6):

$$\%Quebra\ Inventário = \frac{(Estoque\ Físico - Estoque\ Contábil)\ (hL)}{Volume\ Total\ Produzido\ (hL)} \quad (6)$$

4.2.4 Movimentação

A perda por movimentação acontece durante o transporte interno de garrafas, geralmente ocasionada pelo manuseio inadequado com empilhadeiras ou pelo empilhamento incorreto de vasilhames antigos descrito na equação (7):

$$\%Quebra\ Movimetação = \frac{Quebra\ por\ movimentação\ (hL)}{Volume\ Total\ Produzido\ (hL)} \quad (7)$$

A análise das causas, utilizando ferramentas como os “5 por quês”, auxilia na identificação de falhas estruturais ou de treinamento, permitindo ações corretivas que minimizam as quebras e aumentam a segurança operacional

4.2.5 *Blitz*

Outro motivo de quebra identificado no processo está relacionado às chamadas *Blitz* que consistem em inspeções realizadas nas unidades industriais para avaliar a qualidade dos vasilhames devolvidos pelos clientes. Durante essas verificações, diversas garrafas são segregadas por não atenderem às condições adequadas de reaproveitamento, apresentando-se quebradas, bicadas, sujas ou fora do padrão exigido para o envase.

O processo de *Blitz* é realizado manualmente por operadores, por meio de amostragem, em que uma parte representativa das garrafas retornadas é cuidadosamente analisada. As garrafas aprovadas seguem para a lavagem e posterior envase, enquanto as inaptas são enviadas à reciclagem. Ressalta-se que o custo das garrafas inaptas é repassado aos responsáveis pelo retorno inadequado, reforçando a necessidade de correta manipulação e armazenamento nos pontos de venda. A eficiência das *Blitz* pode ser mensurada por meio da seguinte equação (8):

$$\%Eficiencia da Blitz = \frac{Qtd\ de\ GFA\ não\ recuperada}{Qtd\ total\ de\ GFA\ retornadas} \quad (8)$$

Esse tipo de perda é relevante porque ocorre fora do ambiente produtivo, no ponto de consolidação do retorno, impactando diretamente a disponibilidade de ativos para reuso. Além disso, evidencia a importância de um controle rigoroso de qualidade desde a coleta nos pontos de venda, a fim de reduzir o volume de garrafas inaptas que chegam às unidades industriais, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Exemplo de garrafa imprópria



Fonte: Autor (2025).

4.3 CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS DE VIDRO

O presente estudo adotou como abordagem a análise quantitativa dos custos e dos impactos ambientais decorrentes do ciclo de vida de garrafas de vidro retornáveis (RGB) e não-retornáveis (OW). O período de referência compreendeu os meses de janeiro a junho de 2025, com dados fornecidos pela empresa estudada referentes ao volume de produção e quantidade de carros de garrafas retornáveis recebidos mensalmente. Para análise da quantidade de RGB recebido, conforme a equação (9), foi considerado que cada carro retornado teria o volume de 20160 garrafas, que representam 20 paletes com 42 garrafeiras que contém 24 garrafas:

$$Qtd\ RGB\ Recebidos = Qtd\ Carros * 20160\ garrafas \quad (9)$$

A avaliação econômica foi realizada por meio da estimativa da economia financeira associada à redução da necessidade de compra de novas embalagens. Foi considerado o percentual produzido de cada garrafa vigente no mês multiplicado pela quantidade de garrafas recebidas e subtraindo a quantidade de perdas, em

seguida multiplicado pelo valor unitário do tipo de garrafa correspondente. Assim, o custo evitado foi obtido pela multiplicação da quantidade real de garrafas reaproveitadas pelo preço informado pela indústria, permitindo quantificar o impacto direto da prática de reutilização sobre os gastos operacionais.

Com relação aos fatores ambientais, os impactos foram mensurados em termos de emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.) e consumo energético (MJ), indicadores amplamente utilizados na literatura para avaliação da sustentabilidade de processos produtivos. Para tal, foram aplicados fatores de conversão estabelecidos em estudos científicos, os quais permitem correlacionar a produção de vidro virgem à emissão de gases de efeito estufa e ao gasto energético associado, considerando todas as etapas do ciclo de vida do material, desde a extração das matérias-primas até a fabricação do produto. A escolha desses indicadores foi fundamentada no estudo de Zegardło e Druźba (2021), que evidencia a aplicabilidade da Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) para sistemas de reciclagem de vidro.

O LCA é uma metodologia sistemática e reconhecida internacionalmente, utilizada para quantificar os impactos ambientais de produtos, processos ou serviços ao longo de todo o seu ciclo de vida, incluindo etapas como extração de recursos, produção, transporte, uso, reutilização e disposição final. Essa abordagem permitiu mensurar os benefícios da utilização de vidro reciclado em substituição ao vidro virgem, demonstrando de forma objetiva como práticas de logística reversa e reutilização de embalagens contribuem para a sustentabilidade, a eficiência energética e a redução da pegada de carbono (COELHO,2017).

As equações (10) e (11) foram utilizadas para quantificar a redução das emissões de kg CO₂ eq. e a redução energética pela quantidade de garrafas reutilizadas, foram calculados pelo produto do peso em toneladas das garrafas reutilizadas pelo índice fornecido pela literatura. O resultado observado decorre da eliminação da necessidade de produção de novas garrafas de vidro virgem:

$$\text{Redução de CO}_2 \text{ eq.} = \text{Peso(t)} * 0,96528 \quad (10)$$

$$\text{Redução de Energia (MJ)} = \text{Peso(t)} * 10,67842 \quad (11)$$

Para avaliar os benefícios ambientais da utilização dos cacos de vidros reciclados, calculou-se o volume de quebra de GFA em toneladas e por meio da diferença entre os valores dos dois cenários. Conforme a equação abaixo (12), no caso das reduções das emissões de kg CO₂ eq por tonelada de vidro, o valor da literatura para o glassNAT é 0,96528 kg CO₂ eq., enquanto glassREC é 0,33799 kg CO₂ eq. A redução absoluta obtida pode ser calculada como:

$$\text{Redução de CO}_2 \text{ eq.} = \text{Peso(t)} * 0,96528 - \text{Peso(t)} * 0,33799 \quad (12)$$

O mesmo procedimento foi realizado para o cálculo do Depletion of resources por tonelada de vidro, o valor foi fundamentado no estudo de Zegardło e Družba (2021) de glassNAT é 10,67842 MJ e glassREC é de 3,79642 MJ, a redução absoluta obtida pode ser calculada como (13):

$$\text{Redução de Energia (MJ)} = \text{Peso(t)} * 10,67842 - \text{Peso(t)} * 3,79642 \quad (13)$$

A integração dos dados primários obtidos junto à empresa com os parâmetros ambientais disponíveis na literatura permitiu a elaboração de tabelas e indicadores detalhados, capazes de evidenciar não apenas a economia de custos, mas também a redução de emissões de gases de efeito estufa e do consumo energético evitado. A utilização do LCA oferece subsídios para tomadas de decisão estratégicas, incentivando a implementação de políticas corporativas voltadas à economia circular e à redução da pegada ambiental das indústrias.

4.4 DIAGNÓSTICO DAS CAUSAS DA NÃO-REUTILIZAÇÃO DO VIDRO

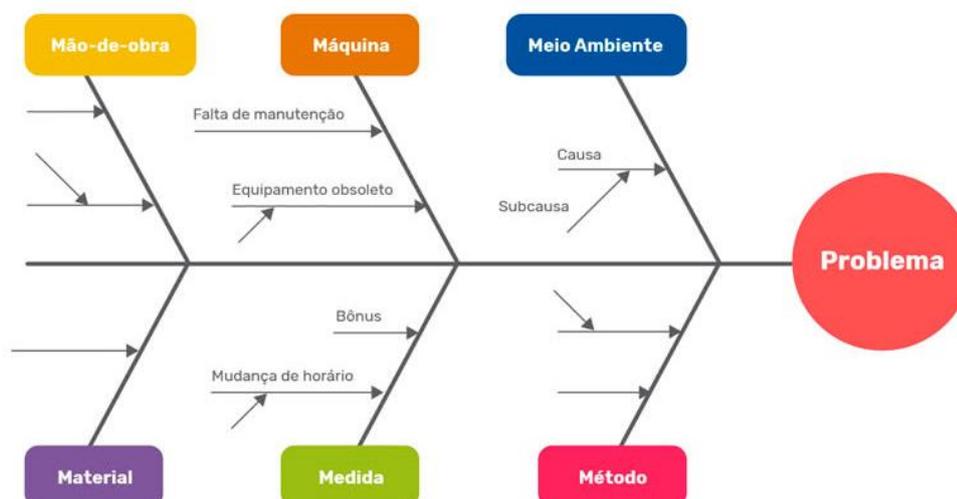
O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe, é uma ferramenta da qualidade criada pelo professor japonês Kaoru Ishikawa na década de 1960. Sua principal finalidade é identificar, organizar e representar graficamente as possíveis causas de um problema ou efeito

específico, permitindo uma visão ampla e estruturada das origens que influenciam determinado resultado indesejado (CAMPOS, 2014).

A lógica desse diagrama baseia-se na análise de que todo efeito tem múltiplas causas potenciais, que podem estar relacionadas a diferentes áreas ou fatores. Para organizar essa análise, Ishikawa propôs a divisão das causas em seis categorias principais, conhecidas como os 6M's: Métodos, Mão de Obra, Máquinas, Materiais, Meio Ambiente e Medidas. Essa classificação auxilia na sistematização da investigação, garantindo que aspectos técnicos, humanos e organizacionais sejam considerados na busca de soluções (PALADINI, 2012).

No presente estudo, foi desenvolvido um Diagrama de Ishikawa como mostra a Figura 9, com o propósito de identificar e analisar as causas que comprometem a reutilização das garrafas de vidro no processo de logística reversa. Essa ferramenta proporciona uma visualização estruturada e sistemática das origens do problema, permitindo sua classificação em categorias que englobam fatores técnicos, humanos e ambientais. Dessa forma, torna-se possível evidenciar os pontos críticos que demandam ações corretivas e estratégicas, contribuindo para a melhoria contínua do processo.

Figura 9 – Análise dos fatores externos e internos



Fonte: CAMPOS, (2014).

4.5 ANÁLISE SWOT

Na investigação, realizou-se uma análise SWOT do processo de retorno de ativo de giro, com foco no reaproveitamento das garrafas de vidro. Essa análise é conhecida internacionalmente como ferramenta de planejamento estratégico, ela é amplamente utilizada para identificar e sistematizar fatores internos e externos que influenciam o desempenho de uma organização. A sigla SWOT corresponde a *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças), sendo uma metodologia que permite visualizar de forma estruturada os elementos que podem favorecer ou comprometer a implementação de determinadas estratégias (SOUZA *et al.*, 2014). Sua principal função é fornecer uma base analítica para decisões gerenciais, permitindo que pontos fortes sejam potencializados, vulnerabilidades minimizadas, oportunidades exploradas e ameaças mitigadas (RAUPP *et al.*, 2018).

A lógica da análise baseia-se na identificação criteriosa de fatores internos, que incluem recursos, competências e capacidades organizacionais, e de fatores externos, que envolvem tendências de mercado, regulamentações e condições socioambientais. Ao classificar essas informações na matriz SWOT, torna-se possível estabelecer relações estratégicas entre os elementos identificados, oferecendo uma visão sistêmica das condições que impactam a gestão da logística reversa e do reaproveitamento de embalagens de vidro (GONÇALVES, 2006).

No presente estudo, a Análise SWOT foi empregada com o objetivo de compreender as forças e fraquezas internas da indústria de bebidas estudada, bem como as oportunidades e ameaças presentes no contexto externo, em relação à implementação da logística reversa. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com gestores e operadores, além de observações diretas nos processos produtivos e logísticos da empresa. Essa abordagem permitiu coletar informações detalhadas sobre a infraestrutura, os processos de coleta e reutilização de embalagens de vidro e as práticas organizacionais relacionadas à sustentabilidade.

A partir dos dados obtidos, elaborou-se a matriz SWOT, que estruturou de forma clara os fatores críticos para a eficiência do reaproveitamento das embalagens de vidro, evidenciando os pontos que demandam atenção estratégica e possibilitando a proposição de melhorias contínuas e novas oportunidades. A aplicação desta

ferramenta no estudo de caso oferece uma visão abrangente das condições internas e externas da organização, contribuindo para o planejamento de ações que fortalecem a logística reversa e promovem a sustentabilidade no setor industrial (SOUZA et al., 2014).

5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS IDENTIFICADOS PELO BPM

Um aspecto relevante identificado refere-se à necessidade de integração entre todos os elos da cadeia logística — fornecedores, indústria, centros de distribuição, pontos de venda e consumidores. Verificou-se que a eficiência do sistema Retpack está diretamente associada à colaboração entre essas partes, seja na produção de embalagens mais resistentes, no adequado manuseio logístico, na devolução das garrafas pelos consumidores ou no processo de triagem realizado nos pontos de venda. Essa articulação mostrou-se essencial para consolidar um modelo alinhado aos princípios da economia circular, no qual os resíduos deixam de ser considerados rejeitos e passam a ser incorporados como recursos reutilizáveis em novos ciclos produtivos.

Além disso, a aplicação do BPM possibilitou a identificação de pontos críticos do processo, como falhas no fluxo de devolução das embalagens, principais pontos de quebra das garrafas, a baixa adesão de consumidores à prática de retorno e dificuldades operacionais em etapas de coleta e triagem. A detecção desses gargalos representa um resultado significativo, uma vez que permite a proposição de ações corretivas direcionadas e a otimização do desempenho.

Esse modelo evidencia como a aplicação da logística reversa pode se transformar em um diferencial competitivo para a indústria, ao mesmo tempo em que contribui para a preservação ambiental e para o atendimento das exigências legais e regulatórias voltadas ao gerenciamento adequado de resíduos sólidos.

5.2 QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS DE RGB

A análise dos dados obtidos no período de janeiro a junho de 2025 revelou um percentual de 5,34% de quebra total de RGB na indústria em que ocorreu o estudo de caso. De acordo com a Tabela 6, as maiores perdas de garrafas retornáveis foram as perdas por Blitz, com um total de 31.814 hL, representando cerca de 54% das perdas com um resultado de 6,02% de eficiência. Por conseguinte, evidencia não apenas falhas no processo de triagem dos centros de distribuição, mas também a influência

cultural do comportamento dos consumidores e pontos de venda, que muitas vezes devolvem vasilhames em más condições de uso. Esse hábito, associado à falta de conscientização sobre a importância da devolução de embalagens em bom estado, aumenta significativamente a quantidade de garrafas inaptas para reuso.

Tabela 6 – Volume de Perdas por hL

| Meses | Vol Blitz (hL) | Vol Maq. (hL) | Vol Prop. (hL) | Vol Movim. (hL) | Vol Invent. (hL) | Vol Total (hL) | Vol Produzido RGB (hL) |
|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|------------------------|
| Jan | 6.216 | 2.599 | 2.865 | 11 | 0 | 11.691 | 211.260 |
| Fev | 5.154 | 2.251 | 2.248 | 10 | 102 | 9.765 | 183.571 |
| Mar | 5.963 | 2.332 | 1.962 | 3 | 155 | 10.415 | 142.631 |
| Abr | 4.478 | 1.513 | 1.645 | 6 | 0 | 7.642 | 187.185 |
| Mai | 5.089 | 2.561 | 1.917 | 17 | 61 | 9.645 | 178.534 |
| Jun | 4.913 | 2.723 | 1.956 | 8 | 0 | 9.600 | 197.323 |
| Total: | 31.814 | 13.979 | 12.593 | 55 | 318 | 58.759 | 1.100.504 |

Fonte: Dados da pesquisa (2025)

As perdas relacionadas a falhas de maquinário somaram 13.979 hL, 24% comparada a perda total e 1,27% comparado ao volume produzido, mostrando consistência ao longo dos meses e destacando um bom funcionamento das máquinas. Já as perdas propositadamente segregadas, ligadas a garrafas que não atendem ao padrão de envase, atingiram 12.593 hL, 21% considerando as perdas totais e 1,14% do volume produzido, ressaltando um bom percentual, confirmando a importância de um processo estável de Blitz.

Do ponto de vista financeiro, de acordo com a Tabela 7, ao valorizar o volume de garrafas perdidas por motivos de responsabilidade direta da indústria, como falhas de maquinário, quebra propositada e perdas operacionais com movimentação e inventário, temos um montante aproximado de R\$ 6 milhões de perdas desse material. É importante destacar que este valor não inclui as perdas por Blitz, uma vez que esses custos, relacionados à devolução de vasilhames em más condições por parte dos consumidores e pontos de venda, são repassados aos agentes responsáveis pela devolução inadequada, não onerando diretamente a fábrica nesta etapa do processo.

Tabela 7 – Valorização das perdas de GFA

| Meses | Maquinário (R\$) | Quebra Proposital (R\$) | Quebra Movimentação (R\$) | Quebra Inventario (R\$) | Quebra Total (R\$) |
|---------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| jan | R\$ 584.775 | R\$ 644.625 | R\$ 2.475 | R\$ 0 | R\$ 1.231.875 |
| fev | R\$ 506.475 | R\$ 505.800 | R\$ 2.250 | R\$ 22.950 | R\$ 1.014.525 |
| mar | R\$ 524.700 | R\$ 441.450 | R\$ 675 | R\$ 34.875 | R\$ 966.825 |
| abr | R\$ 340.425 | R\$ 370.125 | R\$ 1.350 | R\$ 0 | R\$ 711.900 |
| mai | R\$ 576.225 | R\$ 431.325 | R\$ 3.825 | R\$ 13.725 | R\$ 1.011.375 |
| jun | R\$ 612.675 | R\$ 440.100 | R\$ 1.800 | R\$ 0 | R\$ 1.054.575 |
| Total: | R\$ 3.145.275 | R\$ 2.833.425 | R\$ 12.375 | R\$ 71.550 | R\$ 5.991.075 |

Fonte: Dados da pesquisa, (2025).

A respeito da análise do reaproveitamento de cacos de vidro, de acordo com a Tabela 8, os resultados com relação aos impactos ambientais mostram que durante o primeiro semestre, foram processados 58.759 hL de cacos de vidro, desconsiderando os cacos das garrafas OW, eles corresponderam a um peso estimado de 4.082 toneladas, resultando em uma redução total de 2,560,6 kg de CO₂ equivalente e na economia de 42.207,7 MJ de energia. Reforçando a importância da reinserção do vidro reciclado no ciclo produtivo. Assim, a prática de reutilização de cacos de vidro não apenas otimiza a gestão de resíduos, mas também contribui para a sustentabilidade da indústria de bebidas, promovendo economia circular e fortalecendo a responsabilidade socioambiental das operações industriais.

Tabela 8 – Resultados do reaproveitamento dos cacos de vidro das GFAs RGBsf

| Meses | Vol Cacos de Vidro (hL) | Peso Estimado (t) | Redução CO2 eq. (Kg) | Redução de Energia (MJ) |
|---------------|-------------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|
| jan | 11.691 | 812,2 | 509,5 | 8.398,2 |
| fev | 9.765 | 678,4 | 425,5 | 7.014,5 |
| mar | 10.415 | 723,5 | 453,8 | 7.481,2 |
| abr | 7.642 | 530,9 | 333,0 | 5.489,4 |
| mai | 9.645 | 670,0 | 420,3 | 6.928,3 |
| jun | 9.600 | 666,9 | 418,3 | 6.896,1 |
| Total: | 58.759 | 4.081,8 | 2.560,5 | 42.207,6 |

Fonte: Dados da pesquisa

5.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL DA REUTILIZAÇÃO DE GARRAFAS

Conforme os resultados obtidos na Tabela 9, no primeiro semestre de 2025, retornaram em média 3.498 carros contendo em média de 70,5 milhões de unidades de garrafas retornáveis, das quais 4,2 milhões não apresentaram boas condições de uso durante a etapa de blitz, resultando em média de 66 milhões de unidades efetivamente aproveitadas representando 36% do volume de produção do 1º semestre.

Tabela 9 – Resultados do retorno de GFAs RGBs

| Meses | Qtd Carros Recebidos de GFA RET | Qtd de GFA RET Recebidas | Qtd Quebra de GFA Blitz | Qtd de GFA RET Reaproveitadas | Qtd de GFA Utilizadas |
|---------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Jan | 674 | 13.587.840 | 815.270 | 12.772.570 | 35.210.000 |
| Fev | 612 | 12.337.920 | 740.275 | 11.597.645 | 30.595.167 |
| mar | 624 | 12.579.840 | 754.790 | 11.825.050 | 23.771.833 |
| abr | 508 | 10.241.280 | 614.477 | 9.626.803 | 31.197.500 |
| mai | 542 | 10.926.720 | 655.603 | 10.271.117 | 29.755.667 |
| Jun | 538 | 10.846.080 | 650.765 | 10.195.315 | 32.887.167 |
| Total: | 3.498 | 70.519.680 | 4.231.181 | 66.288.499 | 183.417.333 |

Fonte: Dados da pesquisa, (2025).

Os resultados obtidos evidenciam uma economia financeira expressiva de aproximadamente R\$ 74 milhões para a indústria de bebidas, como apresentado na Tabela 10, esse valor representa exclusivamente a redução na necessidade de aquisição de novas garrafas. Ressalta-se, entretanto, que tal estimativa não contempla outros aspectos econômicos relevantes, como a diminuição dos custos relacionados à produção de novas embalagens e a redução das despesas com transporte e logística. Nesse sentido, o impacto financeiro efetivo da reutilização das garrafas tende a ser ainda mais significativo, uma vez que abrange não apenas a economia direta, mas também os ganhos indiretos associados à otimização do processo produtivo, à menor dependência de recursos naturais e à adoção de práticas mais sustentáveis no ciclo de vida das embalagens.

Tabela 10 – Resultados do reaproveitamento das GFAs RGBs

| Meses | Qtd de GFA RET Recebidas | Qtd Quebra Total de GFA | Qtd GFA Reaproveitadas | Peso Estimado (t) | Valor Estimado Economizado (R\$) | Redução CO ₂ eq. (Kg) | Redução Energética (MJ) |
|---------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| jan | 13.587.840 | 1.948.573 | 11.639.267 | 4.851 | R\$ 16.294.974 | 4.682,7 | 51.803,9 |
| fev | 12.337.920 | 1.627.528 | 10.710.392 | 5.762 | R\$ 19.511.822 | 5.562,1 | 61.532,9 |
| mar | 12.579.840 | 1.735.807 | 10.844.033 | 4.843 | R\$ 16.631.564 | 4.674,4 | 51.712,4 |
| abr | 10.241.280 | 1.273.667 | 8.967.613 | 2.396 | R\$ 8.143.414 | 2.312,3 | 25.580,7 |
| mai | 10.926.720 | 1.607.520 | 9.319.200 | 1.938 | R\$ 6.808.310 | 1.870,7 | 20.694,9 |
| jun | 10.846.080 | 1.600.046 | 9.246.034 | 1.923 | R\$ 6.754.857 | 1.856,0 | 20.532,4 |
| Total: | 70.519.680 | 9.793.140 | 60.726.540 | 21.713 | R\$ 74.144.941 | 20.958,2 | 231.857,2 |

Fonte: Dados da pesquisa, (2025).

Paralelamente, a análise do ciclo de vida do vidro demonstrou um benefício ambiental expressivo, com a redução de 20.958 kg de CO₂ equivalente no período de janeiro a junho, evidenciando que a reutilização das embalagens contribui significativamente para a mitigação dos impactos ambientais. Além disso, a utilização contínua de garrafas retornáveis reduz a geração de resíduos sólidos e a demanda por matérias-primas virgens, promovendo uma economia circular mais eficiente.

A reutilização de garrafas também evidenciou ganhos expressivos na redução do consumo de energia, resultando na recuperação 231.857 megajoules de esgotamento dos recursos. Essa redução energética não apenas diminui os custos operacionais da indústria, mas também contribui diretamente para a mitigação dos impactos ambientais associados à produção de vidro novo, como a emissão de gases de efeito estufa. Assim, o reaproveitamento das embalagens se mostra uma estratégia eficiente para aumentar a sustentabilidade industrial, promovendo economia de energia e eficiência operacional.

Com relação às garrafas não-retornáveis, a análise dos resultados apresentados na Tabela 11 evidencia uma grande oportunidade de ganhos ambientais e econômicos. No total, foram produzidos 281.452 hL de bebida, correspondendo à utilização de aproximadamente 85,3 milhões de garrafas. Esse volume gerou um peso estimado de 17.057,7 toneladas de vidro, com um custo total de cerca de R\$ 51,17 milhões.

Tabela 11 – Resultados das garrafas OW

| Meses | Vol Total OW Produzido (hL) | Qtd de GFA Utilizadas | Peso Estimado (t) | Custo TT (R\$) | Emissão CO2 eq. (Kg) | Depletion of resources (MJ) |
|---------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|
| Jan | 44.056 | 13.350.303,0 | 2.670,1 | R\$ 8.010.182 | 2.577,3 | 28.512,0 |
| Fev | 44.310 | 13.427.272,7 | 2.685,5 | R\$ 8.056.364 | 2.592,1 | 28.676,4 |
| Mar | 44.332 | 13.433.939,4 | 2.686,8 | R\$ 8.060.364 | 2.593,4 | 28.690,6 |
| Abr | 51.076 | 15.477.575,8 | 3.095,5 | R\$ 9.286.545 | 2.987,9 | 33.055,2 |
| Mai | 42.150 | 12.772.727,3 | 2.554,5 | R\$ 7.663.636 | 2.465,8 | 27.278,5 |
| Jun | 55.528 | 16.826.666,7 | 3.365,3 | R\$ 10.096.000 | 3.248,4 | 35.936,4 |
| Total: | 281.452 | 85.288.484,8 | 17.057,7 | R\$ 51.173.091 | 16.464,9 | 182.149,3 |

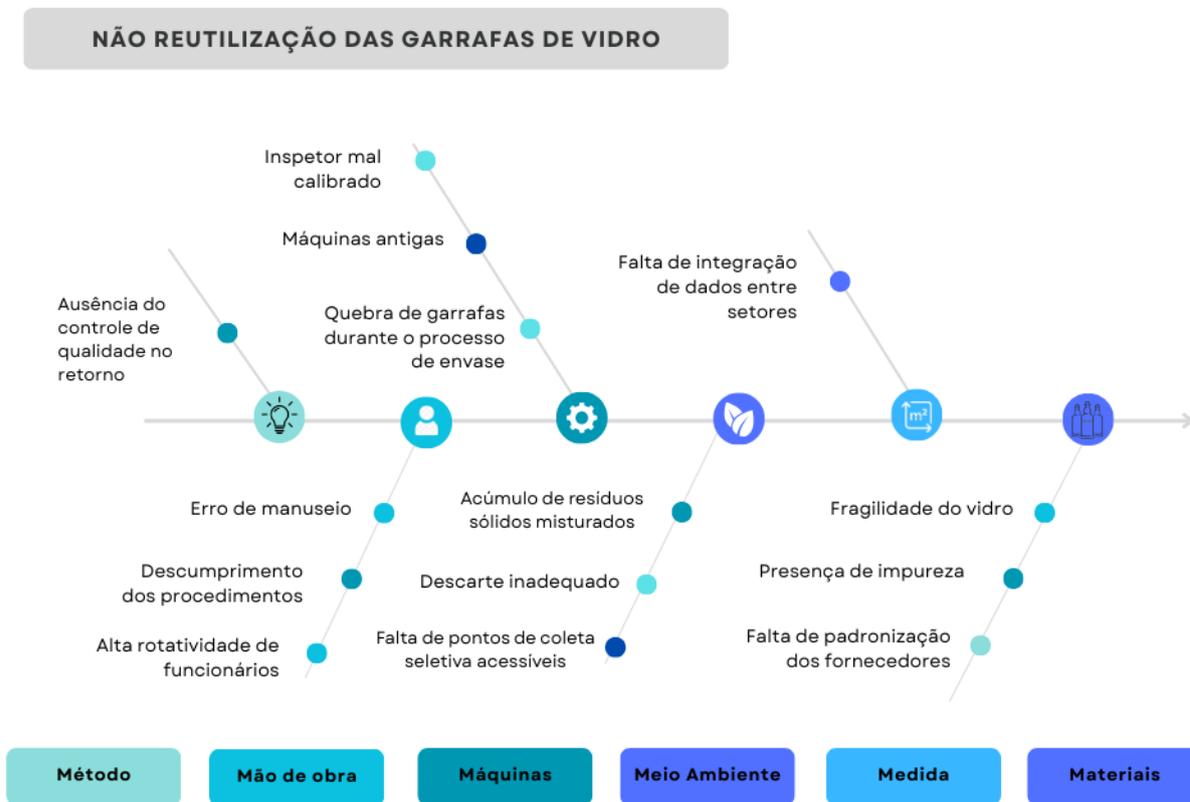
Fonte: Dados da pesquisa, (2025).

Do ponto de vista ambiental, observa-se uma emissão estimada de 16.465 kg de CO₂ eq. e um consumo de aproximadamente 182.149,3 MJ de energia para a produção dessas garrafas a partir de vidro virgem. Tais números evidenciam o elevado impacto ambiental associado à extração de matérias-primas e ao processo produtivo, destacando a urgência de alternativas mais sustentáveis. Nesse contexto, a reutilização e a gestão eficiente das embalagens tornam-se estratégias fundamentais para reduzir emissões e economizar energia, além de contribuir para a preservação de recursos naturais. A inclusão das garrafas *one way* na cadeia de logística reversa representa, portanto, não apenas uma oportunidade ambientalmente estratégica, mas também um diferencial competitivo para as empresas.

5.4 RESULTADOS DO DIAGRAMA ISHIKAWA

A análise realizada por meio do Diagrama de Ishikawa, segundo a Figura 10, permitiu identificar os principais fatores que influenciam a eficiência da logística reversa e da reutilização de garrafas.

Figura 10 – Fatores da não reutilização do vidro



Fonte: Proposta da Autora, (2025).

Na categoria Método, foi destacada a ausência de controle de qualidade no retorno, uma vez que não há garantias de que clientes como bares, supermercados e revendedores devolvam os vasilhames em condições adequadas para reutilização. Em muitos casos, os recipientes chegam danificados, sujos ou contaminados, inviabilizando sua entrada imediata na linha de produção e acarretando custos adicionais com retrabalho e descarte.

Em relação à Mão de obra, os fatores levantados incluem o erro de manuseio, o descumprimento de procedimentos estabelecidos e a alta rotatividade de funcionários. Esses elementos evidenciam a necessidade de treinamento contínuo e conscientização dos colaboradores, visto que a falta de capacitação e de comprometimento pode gerar quebras, contaminações e perdas ao longo do processo de retorno.

Na categoria Máquinas, foram listadas causas como máquinas antigas, inspeção mal calibrada e quebra de garrafas durante o processo de envase. Esses aspectos refletem a influência da infraestrutura tecnológica e da manutenção dos

equipamentos na eficiência da reutilização. A obsolescência ou falha técnica compromete a integridade das embalagens e aumenta o índice de refugo e quebra, que também podem comprometer a segurança do ambiente.

Já no âmbito do Meio ambiente, foram evidenciados fatores externos, como o acúmulo de resíduos sólidos misturados, o descarte inadequado do vidro e a falta de pontos de coleta seletiva acessíveis. Esses elementos estão diretamente ligados à ausência de conscientização social e de infraestrutura urbana voltada para a logística reversa, tornando o processo de retorno mais difícil e oneroso.

Na categoria Medidas, destacou-se a dificuldade de visualização do estoque de vasilhames vazios, uma vez que os centros de distribuição, revendas e fábricas utilizam sistemas distintos de gestão. Essa falta de integração entre plataformas impede o acompanhamento eficiente da disponibilidade de embalagens, dificultando a organização do fluxo de retorno e prejudicando o planejamento das etapas subsequentes no processo de reaproveitamento, além de comprometer a tomada de decisões estratégicas relacionadas à logística reversa e à otimização dos recursos disponíveis em toda a cadeia.

Por fim, no segmento dos Materiais, foram apontadas a fragilidade do vidro, a presença de impurezas e a falta de padronização dos fornecedores. Tais fatores revelam que as características intrínsecas do material e a diversidade de padrões produtivos interferem diretamente na durabilidade e na reutilização das embalagens, reduzindo sua eficiência dentro da cadeia logística.

5.5 RESULTADOS DA ANÁLISE SWOT

Foram identificados os fatores internos e externos que influenciam a eficiência, sustentabilidade e viabilidade econômica do processo de logística reversa das garrafas retornáveis da empresa, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Análise dos fatores externos e internos



Fonte: Proposta da Autora, (2025).

Entre os fatores internos positivos, destacam-se os pontos fortes da empresa. Por possuir uma estrutura consolidada de coleta, que se apoia em parcerias com revendas e bares, garantindo um fluxo eficiente de retorno das embalagens. A economia de recursos é outro aspecto relevante, uma vez que o reaproveitamento das garrafas reduz o consumo de matérias-primas e energia, contribuindo para a sustentabilidade do processo e para a redução de custos operacionais. Além disso, a empresa mantém parcerias estratégicas com fornecedores, o que fortalece a gestão da cadeia logística, e possui influência de mercado que favorece a adesão de parceiros ao programa de logística reversa. Por fim, as plataformas de treinamento disponíveis para colaboradores garantem maior capacitação e eficiência operacional.

Quanto aos fatores internos negativos, ou pontos fracos, observa-se que a logística reversa enfrenta limitações de sistema, uma vez que centros de distribuição, revendas e fábricas utilizam plataformas diferentes, dificultando o controle do estoque de vasilhames vazios. A fragilidade das embalagens aumenta o risco de quebras durante transporte e armazenagem, e a dependência de parceiros externos pode

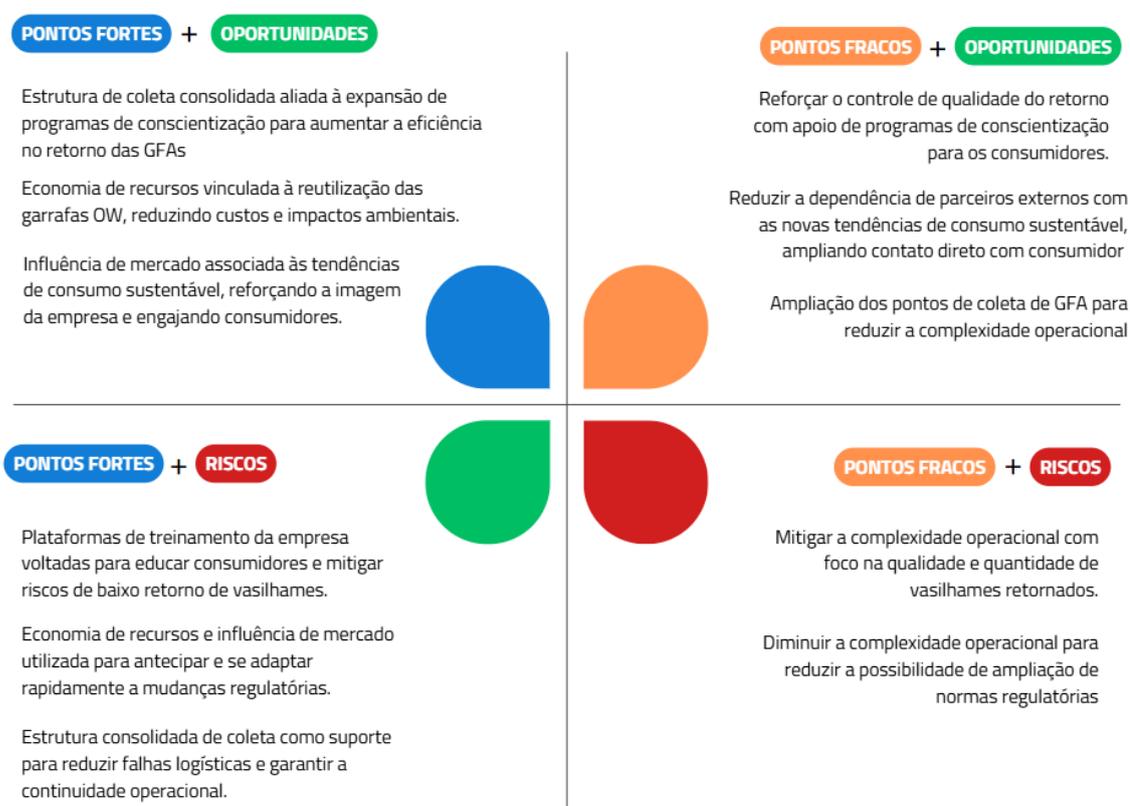
gerar falhas no retorno das garrafas. Além disso, há desafios relacionados ao controle de qualidade do retorno, que nem sempre garante a reutilização segura de todas as embalagens, e a complexidade operacional do processo exige planejamento e monitoramento contínuos.

Entre os fatores externos, foram identificadas diversas oportunidades que podem ser exploradas para aprimorar a logística reversa. A expansão de programas de conscientização voltados a clientes e parceiros tem potencial para aumentar a taxa de retorno das embalagens. A reutilização das garrafas OW e a criação de novas parcerias governamentais e com cooperativas de reciclagem fortalecem o processo e ampliam a eficiência do sistema. Tendências de mercado, como o crescimento do consumo sustentável e a ampliação de pontos de coleta oferecem oportunidades para consolidar práticas de economia circular e engajar consumidores conscientes.

Por fim, os fatores externos negativos, ou riscos, incluem o comportamento do consumidor, que pode não aderir ao retorno das garrafas, e problemas logísticos, que impactam o fluxo eficiente de embalagens. Mudanças nas regulamentações ambientais podem gerar custos adicionais, e a falta de retorno ou qualidade do vasilhame compromete a reutilização. Além disso, preferências dos consumidores por embalagens não-retornáveis representam uma ameaça ao sucesso do programa de logística reversa.

Ao realizar o cruzamento dos quadrantes da análise SWOT, conforme a Figura 12, é possível identificar estratégias que potencializam forças e oportunidades, ao mesmo tempo em que propõem medidas para minimizar fraquezas e riscos.

Figura 12 – Análise de riscos e oportunidades



Fonte: Proposta da Autora, (2025).

Na combinação entre pontos fortes e oportunidades, destaca-se a estrutura de coleta consolidada da empresa, que, aliada à expansão de programas de conscientização, pode aumentar a eficiência no retorno das garrafas de vidro. A economia de recursos, vinculada à reutilização das embalagens, contribui não apenas para a redução de custos, mas também para a diminuição dos impactos ambientais. Além disso, a influência de mercado da empresa, somada às tendências de consumo sustentável, reforça a imagem da companhia e promove maior engajamento dos consumidores.

Quando se relacionam pontos fracos e oportunidades, percebe-se que a empresa pode reforçar o controle de qualidade do retorno com o apoio de programas de conscientização, garantindo maior confiabilidade no processo de reutilização. Outro aspecto importante é a possibilidade de reduzir a dependência de parceiros externos a partir das novas tendências de consumo sustentável, ampliando o contato direto com os consumidores finais. A ampliação dos pontos de coleta também surge

como alternativa para minimizar a complexidade operacional e melhorar a eficiência logística.

No cruzamento entre pontos fortes e riscos, observa-se que as plataformas de treinamento da empresa podem ser utilizadas para educar consumidores e mitigar riscos de baixo retorno de vasilhames. Da mesma forma, a economia de recursos e a influência de mercado se configuram como mecanismos para antecipar e se adaptar a eventuais mudanças regulatórias. Além disso, a estrutura consolidada de coleta funciona como suporte para reduzir falhas logísticas, garantindo a continuidade operacional mesmo diante de cenários adversos.

No último quadrante, ao combinar pontos fracos e riscos, identificam-se estratégias que buscam mitigar a complexidade operacional, com foco na qualidade e quantidade de vasilhames retornados. Reduzir essa complexidade operacional também contribui, para minimizar a possibilidade de maior rigor em normas regulatórias, assegurando que a empresa mantenha sua eficiência e sustentabilidade no processo de logística reversa.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo analisou a aplicação da logística reversa no reaproveitamento de embalagens de vidro em uma indústria de bebidas, com ênfase na identificação de perdas, na avaliação dos impactos econômicos e ambientais e na proposição de estratégias de melhoria. Os resultados evidenciaram que, embora o sistema de garrafas retornáveis apresente desafios operacionais, sua contribuição para a redução de custos e mitigação de impactos ambientais é expressiva. Entre janeiro e junho de 2025, o reaproveitamento de cacos de vidro resultou em uma redução de 2.560,5 kg de CO₂ equivalente e na economia de 42.207,6 MJ de energia, além de uma economia financeira estimada em R\$ 74 milhões com a reutilização de garrafas retornáveis.

A investigação permitiu compreender que os principais gargalos estão relacionados às perdas por *Blitz* e ao comportamento do consumidor, que muitas vezes devolve vasilhames em condições inadequadas para reuso. Ainda assim, observou-se que a eficiência da logística reversa é potencializada quando há integração entre indústria, pontos de venda e consumidores, reforçando a importância de programas de conscientização e de maior controle de qualidade no retorno das embalagens. Além dos ganhos ambientais e econômicos, verificou-se que a logística reversa do vidro fortalece a imagem institucional da empresa e contribui para o cumprimento das diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305/2010).

Conclui-se, portanto, que a reutilização de embalagens de vidro retornáveis constitui uma estratégia sustentável e economicamente viável, promovendo avanços em direção à economia circular no setor de bebidas. Entretanto, recomenda-se ampliar estudos sobre a viabilidade de incorporação das garrafas de uso único (*one way*) ao sistema de logística reversa, bem como avaliar a aplicação de tecnologias digitais para monitoramento do fluxo de retorno. Dessa forma, a pesquisa abre espaço para futuras investigações voltadas à inovação logística, à automação de processos e à intensificação da participação do consumidor na cadeia reversa, garantindo maior eficiência e sustentabilidade ao setor.

REFERÊNCIAS

ABIA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. Faturamento da indústria de alimentos e bebidas cresceu 16,6% em 2022. Estadão Conteúdo, 09 fev. 2023. Disponível em: <https://istoe.com.br/faturamento-da-industria-de-alimentos-e-bebidas-cresceu-166-em-2022>. Acesso em: 8 jun. 2025.

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. *Relatório de Sustentabilidade da Indústria do Vidro*. São Paulo, 2021.

ABIVIDRO. Vantagens e desafios da reciclagem do vidro. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.abividro.org.br/noticias/vantagens-e-desafios-da-reciclagem-do-vidro?fbclid=IwAR0j0xCsUxQ1mhaPp5cG0ONgNUytjUW2bbbdRSfU315HDEeoODuQUja5584>>. Acesso em: 08 jun. 2025.

ABRALATAS. Ciclo de vida de embalagens para bebidas no Brasil. Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio, 2009. Disponível em: <https://www.abralatas.org.br/ciclo-de-vida-de-embalagens-para-bebidas-no-brasil/>>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 8 ago. 2025.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

COELHO, Samuel Vasconcelos Rodrigues Torres. **Avaliação do ciclo de vida de uma garrafa de vidro e sua integração no processo de tomada de decisão**. 2017. 123 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2017.

COLANGELO, Scott. Reducing the environmental footprint of glass manufacturing. **International Journal of Applied Glass Science**, v. 15, n. 4, p. 350–366, 09 jun. 2024. DOI: 10.1111/ijag.16674.

CONTAINER RECYCLING INSTITUTE. Life Cycle Assessment of Glass Packaging: Global Production Impact. 2010. Disponível em: https://www.container-recycling.org/assets/pdfs/glass/LCA-GPI2010.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 09 ago. 2025.

FERREIRA, C. A.; PEREIRA, T. S. BPM e inovação digital: como processos bem gerenciados impulsionam a transformação digital. **Revista de Inovação e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 78–92, 2024. DOI: 10.9101/rit.2024.01201.

GONÇALVES, R. P. Eficiência energética na produção de vidro com uso de caco reciclado. **Revista Brasileira de Engenharia Química**, v. 32, n. 4, p. 45–53, 2015.
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Suíça, 2006

HERRERA, Sebastián *et al*, Conceptual process design for Boric Acid: A case study for engineering education, Computer-aided chemical engineering/Computer aided chemical engineering, p. 1437–1442, 2016 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/case-study-method>. Acesso em: 06 ago. 2025

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos. Brasília, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/entities/publication/005846e2-fde5-4d9d-a5c3-2f3de4afe1d0>>. Acesso em: 15 jul. 2025.

ISHIKAWA, K. Controle de qualidade. **Guia para Controle de Qualidade**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985. v. 1, cap. 3, p. 45–78.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. 1°. Ed. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

LIMA, M. A.; PEREIRA, D. S.; SILVA, C. R. Aplicação do Diagrama de Ishikawa na resolução de problemas em processos industriais. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 34, n. 2, p. 45-56, 2020.

MINAYO, M. C. de S. Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade. **Revista Ciência & Economia**, v. 17, n. 3, p. 621-626, 2012. DOI: 10.1590/S1413-81232012000300007.

MOURA, A. L.; SOUZA, J. F. Análise SWOT aplicada ao setor de bens de consumo: estratégias para o aumento da competitividade. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 23, n. 3, p. 225-240, 2019. DOI: 10.1234/rac.2019.003

NEXO. Por que o vidro é o material menos reciclado no Brasil? 30 jun. 2024. Disponível em: <https://www.nexojornal.com.br/externo/2024/06/30/por-que-o-vidro-e-o-material-menos-reciclado-no-brasil>. Acesso em: 9 ago. 2025.

OLIVEIRA, A.; ANACLETO, C. Reciclagem e logística reversa de vidro no Brasil: desafios e perspectivas. **Revista Gestão & Sustentabilidade**, v. 10, p. 45–62, 2019. DOI: 10.1234/rgs.2019.0010

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da Qualidade: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012

RAUPP, E. B.; CARVALHO, C. M.; ARAÚJO, R. K.; ROCHA, N. S. Gestão de resíduos e a análise SWOT: estudo de caso em uma organização de maquinaria agrícola. **Revista Scientia cum Industria**, v. 6, n. 3, p. 17-26, 2018. DOI: 10.18226/23185279.v6iss3p17

RODRIGUES, A. C.; SILVA, J. P.; MOURA, L. F. Gestão da logística reversa de embalagens de vidro retornáveis: desafios e perspectivas. **Revista Gestão Industrial**, v. 16, n. 2, p. 45-60, 2020.

SILVA, W. T.; FILGUEIRAS, C. A. L. O vidro e sua importância na vida e na química. **Química Nova**, v. 46, n. 5, p. 491-501, 2023. DOI: 10.21577/0100-4042.20230033.

SOUZA, M. A. P.; SOUZA, S. J. O.; CASTRO, M. N.; CASTRO, R. M.; MESQUITA, G. M.; SOUZA, P. C. Destinação final de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos e uso da análise SWOT na logística reversa – um estudo teórico. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, v. 5, p. 130-149, 2014. Disponível em: <https://sipe.uniaraguaia.edu.br/index.php/REVISTAUNIARAGUAIA/article/download/196/179>. Acesso em: 9 ago. 2025.

TEIXEIRA, M. J.; FERREIRA, L.; RAMOS, J. Data-Driven Business Process Management: A Case Study on Performance Optimization. **Information**, v. 15, n. 11, p. 724, 2024. DOI: 10.3390/info15110724.

VOSSBERG, Cherilyn; MASON-JONES, Kyle; COHEN, Brett. An energetic life cycle assessment of C&D waste and container glass recycling in Cape Town, South Africa. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 88, p. 39–49, 2014. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.04.009.

WIKIVIDROS. Processo produtivo industrial. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Disponível em: https://wikividros.eesc.usp.br/introducao_ao_vidro_e_sua_producao/processo-produtivo-industrial. Acesso em: 28 jun. 2025.

ZEGARDŁO, Bartosz; DRUŻBA, Katarzyna. Evaluation of traditional container glass recycling systems against selected environmental impact criteria using the LCA method. **Journal of Ecological Engineering**, v. 22, n. 6, p. 20–25, 6 jun. 2021. DOI: 10.12911/22998993/137673.