

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS LAGOA DO SINO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA  
ENGENHARIA AMBIENTAL

MARCELO QUAIOTTI FILHO

**PROPOSTA DE MELHORIA NA GESTÃO DOS RESÍDUOS DE SACARIAS DE  
MATÉRIAS-PRIMAS DE UMA INDÚSTRIA DE PNEUS.**

BURI - SP  
2025

MARCELO QUAIOTTI FILHO

PROPOSTA DE MELHORIA NA GESTÃO DOS RESÍDUOS DE SACARIAS DE  
MATÉRIAS-PRIMAS DE UMA INDÚSTRIA DE PNEUS.

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como exigência parcial para  
a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Ambiental na Universidade  
Federal de São Carlos.

Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Marisse  
dos Santos Rotta

BURI - SP  
2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

Quaiotti, Marcelo Filho

Proposta de melhoria na gestão dos resíduos de sacarias de matérias-primas de uma indústria de pneus. / Marcelo Filho Quaiotti -- 2025.

43f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Cláudia Marisse dos Santos Rotta

Banca Examinadora: Cláudia Marisse dos Santos Rotta,

Anne Alessandra Cardoso Neves, Mélorly Maria

Fernandes de Araujo

Bibliografia

1. Gestão de resíduos sólidos. 2. Valorização de resíduos de sacarias de ingredientes. I. Quaiotti, Marcelo Filho. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)


DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL


**Folha de Aprovação**

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do(a) candidato(a) Marcelo Quaiotti Filho, realizada em 19/11/2025:

Documento assinado digitalmente  
 **CLAUDIA MARISSE DOS SANTOS ROTTA**  
Data: 19/11/2025 14:09:33-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>


---

Profa. Dra. Cláudia Marisse dos Santos Rotta – Orientador(a)  
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente  
 **ANNE ALESSANDRA CARDOSO NEVES**  
Data: 03/12/2025 11:38:00-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

Profa. Dra. Anne Alessandra Cardoso Neves  
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente  
 **MELORY MARIA FERNANDES DE ARAUJO**  
Data: 20/11/2025 12:01:56-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

Profa. Dra. Méloory Maria Fernandes de Araújo  
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Dedico este trabalho à minha família,  
por todo o amor, incentivo e apoio durante minha jornada acadêmica.  
Sem vocês, nada disso seria possível.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por me conceder força, sabedoria e serenidade em todos os momentos desta caminhada. Por iluminar meus passos e me sustentar nas dificuldades, permitindo que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos, e por sempre acreditarem no meu potencial. Sou imensamente grato por todo o apoio, incentivo e por me ensinarem o valor do esforço e da perseverança.

À minha namorada, por estar ao meu lado em cada etapa desta jornada, oferecendo amor, paciência e compreensão nos momentos mais desafiadores. Sua presença foi essencial para que eu mantivesse o equilíbrio e a motivação.

Aos meus amigos, pela amizade sincera, pelas conversas, risadas e apoio ao longo dessa trajetória. Cada um de vocês contribuiu de maneira especial para tornar essa fase mais leve e significativa.

## RESUMO

O aumento da produção industrial e do consumo de bens tem provocado impactos significativos no meio ambiente, refletindo na geração crescente de resíduos sólidos e na necessidade de aprimorar os processos de seu gerenciamento. No Brasil, a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece princípios e diretrizes para a destinação ambientalmente adequada dos resíduos, priorizando ações de redução, reutilização, reciclagem e tratamento, antes da disposição final. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) de uma indústria do setor automotivo, e identificar aspectos a serem melhorados. Foi identificado um desafio relacionado à gestão das sacarias de matérias-primas, e foram propostas ações de melhoria. O estudo compreendeu etapas de caracterização da indústria e do processo produtivo, identificação e classificação dos resíduos gerados, análise do sistema atual de gerenciamento e elaboração de uma proposta de otimização baseada em práticas de segregação na fonte e fortalecimento de parcerias voltadas à reciclagem e reaproveitamento de materiais. Os resultados obtidos demonstraram que o atual modelo de gestão, embora esteja em conformidade com a legislação vigente, pode ser aprimorado por meio da adoção de medidas que favoreçam a reciclagem convencional e reduzam a dependência de processos de coprocessamento. A proposta apresentada mostrou-se viável técnica e ambientalmente, contribuindo para a redução de custos operacionais, diminuição de impactos ambientais e reforço das práticas de sustentabilidade e economia circular dentro da organização. Concluiu-se que o aprimoramento do PGRS, com foco na valorização dos resíduos e na eficiência dos processos, representou uma estratégia eficaz para a sustentabilidade industrial, garantindo o cumprimento dos princípios da PNRS e o avanço em direção a uma gestão ambiental mais integrada e responsável.

**Palavras-chave:** Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS); sustentabilidade; reciclagem; gestão ambiental industrial.

## ABSTRACT

The increase in industrial production and goods consumption has caused significant environmental impacts, reflected in the growing generation of solid waste and the need to improve management processes. In Brazil, Law No. 12.305/2010, which established the National Solid Waste Policy (PNRS), defines principles and guidelines for the environmentally appropriate disposal of waste, prioritizing reduction, reuse, recycling, and treatment before final disposal. In this context, this study aimed to analyze the Solid Waste Management Plan (PGRS) of an automotive industry and identify aspects for improvement. A challenge related to the management of raw material packaging was identified, and improvement actions were proposed. The study involved steps of characterizing the industry and its production process, identifying and classifying the generated waste, analyzing the current management system, and developing an optimization proposal based on source segregation practices and partnerships focused on recycling and material recovery. The results showed that, although the current management model complies with existing legislation, it can be enhanced through measures that promote conventional recycling and reduce dependence on co-processing. The proposed actions proved to be technically and environmentally feasible, contributing to the reduction of operational costs, environmental impacts, and reinforcing sustainability and circular economy practices within the organization. It was concluded that improving the PGRS, with an emphasis on waste valorization and process efficiency, represents an effective strategy for industrial sustainability, ensuring compliance with PNRS principles and advancing toward a more integrated and responsible environmental management.

**Keywords:** Solid Waste Management Plan (PGRS); sustainability; recycling; industrial environmental management.

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CADRI – Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental  
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CDF – Certificado de Destinação Final  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CR – Certificado de Regularidade  
CTF/APP – Cadastro Técnico Federal / Atividades Potencialmente Poluidoras  
DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica  
DMR – Declaração de Movimentação de Resíduos  
EPI – Equipamento de Proteção Individual  
HSE – *Health, Safety and Environment*  
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
ISO – *International Organization for Standardization*  
KPIs – *Key Performance Indicators*  
LatAm – *Latin America*  
LI – Licença de Instalação  
LO – Licença de Operação  
LP – Licença Prévia  
MTR – Manifesto de Transporte de Resíduos  
NBR – Norma Brasileira  
NR – Norma Regulamentadora  
PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
SAP/EBP – *Systems, Applications and Products / Enterprise Buyer Professional*  
SGCR – Sistema Geral de Classificação de Resíduos  
SGI – Sistema de Gestão Integrado  
SIGOR – Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos  
SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos  
TCFA/TCRA – Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental / Taxa de Controle e Recuperação Ambiental

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1. Objetivo Geral .....	12
2.2. Objetivos Específicos .....	12
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
3.1. Gestão Ambiental no contexto industrial .....	13
3.2. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais .....	14
3.3. Definição e classificação dos Resíduos Sólidos.....	15
3.4. Manuseio e armazenamento dos Resíduos Sólidos .....	17
3.5. Tratamento e disposição final dos resíduos .....	19
3.6. Legislação e normas técnicas aplicáveis no Gerenciamento de Resíduos Sólidos.....	20
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
<b>5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>25</b>
5.1. Descrição da indústria e do processo produtivo .....	25
5.2. Apresentação dos resíduos gerados pela indústria .....	26
5.3. Definição de um resíduo-alvo .....	31
5.4. Caracterização do Sistema atual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos..	33
5.5. Proposta de otimização no gerenciamento das sacarias .....	35
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>39</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>40</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da produtividade das indústrias trouxe, como consequência direta, a elevação dos volumes e da diversidade de resíduos sólidos gerados, o que impõe desafios técnicos, logísticos e econômicos às práticas de gerenciamento. Nesse contexto, a gestão de resíduos industriais deixa de ser apenas uma obrigação operacional e ganha caráter estratégico, capaz de orientar ações de controle, planejamento e melhoria contínua (Coelho, 2011).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabeleceu o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) como ferramenta normativa e operacional para orientar o tratamento adequado dos resíduos, a responsabilidade compartilhada entre os diferentes setores da cadeia produtiva e a priorização das ações pela hierarquia de gestão (não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição). Dessa forma, o PGRS deve oferecer um diagnóstico dos resíduos gerados, além de organizar responsabilidades, indicadores e procedimentos que assegurem a conformidade técnica e legal (Brasil, 2010).

Apesar dos avanços normativos, pesquisas e estudos de caso mostram que ainda existem barreiras que dificultam a efetividade dos PGRS no setor industrial. Entre os principais desafios estão a falta de segregação adequada dos resíduos na origem, a contaminação de materiais recicláveis, lacunas logísticas e econômicas para parcerias com recicladores/cooperativas e a dependência de soluções de maior custo, como a reciclagem energética (coprocessamento). Essas limitações comprometem tanto a viabilidade da reciclagem convencional quanto os resultados ambientais e financeiros esperados pela adoção de boas práticas de gestão (Jacobi; Besen, 2011).

No caso específico das embalagens industriais (sacarias de matérias-primas), estudos apontam que esse fluxo costuma apresentar elevada representatividade em termos de volume gerado e custos de gestão, além de apresentar potencial para reciclagem quando preservado limpo e segregado corretamente, condição que, na prática, é frequentemente inviabilizada por contaminação cruzada na operação. Por isso, a análise com focos nessas embalagens pode revelar ganhos consideráveis em termos de redução de custos, diminuição de emissões associadas ao transporte e ampliação do aproveitamento material na cadeia produtiva (Forlin; Faria, 2002).

Diante desse cenário, este trabalho propõe apresentar e caracterizar o PGRS de uma indústria pneumática, com ênfase nas sacarias de matérias-primas, e elaborar propostas de melhoria que incluam ações de segregação na fonte, valorização e alternativas logísticas e contratuais para viabilizar a reciclagem convencional. Espera-se, não apenas diagnosticar as lacunas operacionais e regulatórias, mas também apresentar recomendações técnicas e economicamente viáveis que contribuam para a otimização da gestão, para o alinhamento com a hierarquia da PNRS e para a promoção de práticas sustentáveis (Simião, 2011).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Este trabalho propõe-se a analisar o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) de uma indústria pneumática, identificar um resíduo-alvo, que envolva desafios à sua gestão, e propor melhorias voltadas ao seu gerenciamento, de modo a otimizar os processos de segregação, destinação e valorização dos resíduos, reduzindo impactos ambientais e custos operacionais, e assegurando conformidade com a legislação vigente.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Analisar o PGRS vigente, identificando diretrizes, fluxos de resíduos e práticas de gerenciamento adotadas;
- Caracterizar os resíduos de sacarias de matérias-primas, quanto à composição, volume, classificação e formas de destinação;
- Avaliar a efetividade das estratégias atuais de segregação, acondicionamento, transporte e destinação final;
- Identificar limitações e oportunidades de melhoria no gerenciamento das sacarias, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais;
- Propor alternativas de melhoria que priorizem a segregação na fonte, a valorização e a reciclagem convencional, alinhados com a hierarquia de gestão prevista na PNRS.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Gestão ambiental no contexto industrial**

A industrialização, historicamente responsável por impulsionar o crescimento econômico, também intensificou a pressão sobre os recursos naturais e os ecossistemas, gerando poluição, degradação ambiental e aumento da geração de resíduos. Nesse cenário, as organizações passaram a reconhecer que a incorporação de práticas de gestão ambiental não é apenas uma exigência legal, mas também uma estratégia de competitividade e sobrevivência em mercados cada vez mais orientados pela sustentabilidade (Seifert, 2011).

O conceito de gestão ambiental ganhou força nas últimas décadas, sobretudo após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), que impulsionou políticas e instrumentos voltados à prevenção da poluição e ao uso racional dos recursos naturais. No Brasil, a consolidação de um marco regulatório mais robusto ocorreu a partir da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e, posteriormente, da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que introduziram princípios como a responsabilidade compartilhada, a logística reversa e a destinação ambientalmente adequada dos resíduos. Essas legislações contribuíram para orientar as indústrias na formulação de planos e programas voltados ao controle de emissões, ao gerenciamento de resíduos e à eficiência no uso de insumos e energia (Silva; Corrêa, 2018).

A gestão ambiental industrial envolve um conjunto de ações, desde o planejamento estratégico até a operação no chão de fábrica, abrangendo etapas de controle de poluição, gestão de resíduos, monitoramento de efluentes e emissões, eficiência energética e conformidade legal (Jabbour, 2008). Nesse contexto, destaca-se o papel das normas ISO 14001, que estabelece requisitos para sistemas de gestão ambiental (SGA) e promovem a melhoria contínua do desempenho ambiental das organizações. Segundo Barbieri (2016), empresas certificadas por essas normas tendem a apresentar melhores resultados operacionais e reputacionais, com redução de custos e fortalecimento da imagem institucional.

A gestão ambiental, ao ser integrada à estratégia corporativa, permite às empresas antecipar riscos, atender à legislação de forma proativa e adotar práticas de inovação sustentável. A incorporação desses sistemas, além de reduzir impactos

ecológicos, contribui para a formação de uma cultura organizacional orientada à sustentabilidade, com envolvimento de diferentes níveis hierárquicos e incentivo à educação ambiental corporativa (Trierweiler, 2014).

Contudo, a implementação efetiva dessa gestão ainda enfrenta desafios. Muitas empresas, especialmente de médio e pequeno porte, encontram barreiras financeiras, tecnológicas e de capacitação profissional para consolidar práticas sustentáveis de maneira contínua. Em diversos casos, a gestão ambiental ainda se restringe ao cumprimento de exigências legais e à obtenção de licenças, sem efetiva integração com a gestão estratégica e operacional. Além disso, a ausência de indicadores padronizados de desempenho ambiental e a falta de mecanismos de avaliação de resultados dificultam a mensuração de ganhos ambientais e econômicos (Maciel; Veiga, 2022).

A aplicação de tecnologias emergentes, tem se mostrado uma aliada nesse tema. A integração de sistemas digitais, sensores, *big data* e Internet das Coisas (IoT) possibilita maior precisão no monitoramento de consumo de recursos, emissões e resíduos, além de permitir o controle em tempo real de processos produtivos. Essa convergência entre inovação tecnológica e sustentabilidade é um dos vetores da chamada Produção Mais Limpa (P+L), conceito que busca otimizar o uso de insumos, reduzir perdas e reaproveitar materiais, minimizando os impactos ambientais de forma preventiva e economicamente viável (Satyro, 2023).

### **3.2. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais**

O gerenciamento de resíduos sólidos industriais é uma das vertentes mais relevantes da gestão ambiental, dada a natureza e o volume dos resíduos gerados nas atividades produtivas. Esse gerenciamento compreende um conjunto de ações planejadas e integradas que envolvem as etapas de geração, segregação, armazenamento, transporte, tratamento e destinação final, visando reduzir os impactos ambientais e promover o uso racional de recursos. A abordagem atual é orientada pelos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que enfatiza a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e sociedade, além de definir a hierarquia das ações: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada (Brasil, 2010).

O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) é o principal instrumento de planejamento e controle, permitindo que as empresas conheçam seus fluxos de resíduos, definam estratégias de minimização e atendam às exigências legais. Segundo Guimarães (2018), o PGRS, quando bem elaborado, atua como ferramenta de gestão integrada, promovendo não apenas o cumprimento normativo, mas também a redução de custos operacionais e o fortalecimento da imagem institucional. A implementação desse plano requer diagnóstico detalhado, mapeamento das áreas geradoras, identificação das classes de resíduos e definição de procedimentos para armazenamento, transporte e destinação.

Para cada resíduo, deve-se considerar, suas propriedades físico-químicas, a periculosidade e os potenciais caminhos de exposição ao meio ambiente e à saúde humana. Resíduos classificados como perigosos, por exemplo, que contêm solventes orgânicos voláteis, metais pesados ou substâncias tóxicas, exigem procedimentos específicos de acondicionamento, transporte, armazenamento temporário e tratamento final, uma vez que o manejo inadequado pode conduzir à contaminação de solos e águas superficiais e subterrâneas, bioacumulação e riscos à saúde pública. Além disso, práticas preventivas como a segregação na fonte, separação dos fluxos orgânico, reciclável e perigoso no local de geração, são determinantes para viabilizar a recuperação de materiais, aumentar a qualidade dos resíduos destinados à reciclagem, reduzir custos logísticos e operacionais e minimizar passivos ambientais (Rosa, 2018).

Segundo Sanches e Souza (2017), é de grande importância incorporar conceitos como produção mais limpa e economia circular no gerenciamento dos resíduos industriais. Ao substituir a lógica linear de “extrair, produzir e descartar” por um modelo de reaproveitamento e regeneração, as indústrias conseguem reduzir significativamente os passivos ambientais. No entanto, a adoção dessas práticas ainda enfrenta desafios, especialmente nas pequenas e médias empresas, devido à ausência de infraestrutura e de incentivos econômicos.

### **3.3. Definição e classificação dos Resíduos Sólidos**

A definição e a classificação dos resíduos sólidos constituem a base técnica de todo o sistema de gerenciamento, pois determinam as responsabilidades dos geradores, os métodos de manuseio, armazenamento, transporte e os destinos finais

ambientalmente adequados. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), considera-se resíduo sólido “qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, em forma sólida ou semissólida, que se torne inútil, indesejado ou destinado à disposição final ou à recuperação, incluindo os rejeitos, materiais recicláveis, resíduos de serviços de saúde e de mineração, além de resíduos de transporte e de limpeza urbana” (BRASIL, 2010, art. 3º, inc. I).

Essa definição fornece o ponto de partida para a aplicação das normas técnicas brasileiras, como a ABNT NBR 10004:2024, recentemente atualizada. A norma estabelece critérios de classificação dos resíduos em Classe I (Perigosos) e Classe II (Não Perigosos), extinguindo a antiga subdivisão em II-A (inertes) e II-B (não inertes).

A Classe I compreende aqueles que apresentam uma ou mais características de periculosidade, como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, representando riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente. Por sua vez, a Classe II abrange os resíduos não perigosos, que não apresentam tais propriedades e, portanto, podem ser destinados a processos de reaproveitamento, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequada. A identificação e a classificação corretas desses resíduos são etapas necessárias do gerenciamento, pois orientam a seleção das tecnologias de tratamento e disposição mais adequadas, assegurando conformidade com a legislação ambiental e contribuindo para a redução dos impactos ambientais associados à geração de resíduos (ABNT, 2024).

Estudos recentes têm enfatizado a importância da caracterização físico-química e gravimétrica dos resíduos como instrumento de diagnóstico e planejamento (Menezes, 2020). Esse procedimento envolve análises laboratoriais que identificam propriedades como toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade e solubilidade. Com a atualização da ABNT NBR 10004:2024, que introduziu o Sistema Geral de Classificação de Resíduos (SGCR), houve um avanço na padronização e rastreabilidade dos processos de classificação, exigindo documentação técnica detalhada e maior rigor analítico.

Dessa forma, a correta caracterização e enquadramento dos resíduos se mostram como pilares no gerenciamento ambiental responsável, garantindo segurança operacional, conformidade legal e eficiência nos processos produtivos,

além de contribuir para o aprimoramento contínuo das práticas de sustentabilidade nas organizações.

### 3.4. Manuseio e armazenamento dos Resíduos Sólidos

O manuseio de resíduos sólidos compreende o conjunto de atividades envolvidas desde a geração até o armazenamento temporário, incluindo etapas como segregação, acondicionamento, transporte interno e destinação intermediária. De acordo com Menezes (2020), essa fase é essencial para garantir a eficiência do gerenciamento integrado de resíduos, minimizando riscos ambientais e ocupacionais.

A segregação na fonte representa o primeiro estágio do manuseio, devendo ser realizada no momento da geração para evitar contaminações cruzadas e maximizar o potencial de reaproveitamento e reciclagem. A classificação e separação conforme a periculosidade, origem e natureza físico-química dos resíduos constituem requisito técnico para a implementação de sistemas de gerenciamento ambiental eficazes. Essa prática possibilita o encaminhamento dos resíduos para tratamentos específicos e destinações adequadas, otimizando custos e reduzindo a necessidade de disposição final em aterros industriais (Oliveira, 2018).

O acondicionamento configura-se como etapa complementar, uma vez que visa assegurar a integridade física dos resíduos e prevenir vazamentos, reações indesejadas ou emissões difusas. A Resolução CONAMA nº 275/2001 estabelece o uso de cores padronizadas para coletores de resíduos, facilitando a segregação na fonte e a eficiência logística das etapas subsequentes de tratamento, transporte e destinação final. Essa padronização contribui para a eficiência do gerenciamento integrado e deve ser aplicada em todos os setores geradores (CONAMA, 2001).

As cores recomendadas pela resolução são apresentadas na Tabela 1 a seguir:

**Tabela 1:** Cores padronizadas para identificação de coletores de resíduos.

<b>Cor</b>	<b>Tipo de Resíduo</b>	<b>Exemplo de Aplicação</b>
<b>Azul</b>	Papel e papelão	Folhas, caixas, embalagens de papel
<b>Vermelho</b>	Plástico	Embalagens plásticas, sacos, frascos
<b>Verde</b>	Vidro	Garrafas, frascos e potes de vidro

<b>Amarelo</b>	Metal	Latas, tampas, pregos, embalagens metálicas
<b>Preto</b>	Madeira	Paletes, aparas e resíduos de madeira
<b>Laranja</b>	Resíduos perigosos	Solventes, óleos contaminados, produtos químicos
<b>Branco</b>	Resíduos de serviços de saúde	Materiais contaminados, seringas, curativos
<b>Roxo</b>	Resíduos radioativos	Radionuclídeos
<b>Marrom</b>	Resíduos orgânicos	Restos de alimentos, resíduos de poda e jardinagem
<b>Cinza</b>	Resíduos não recicláveis / rejeitos	Papel higiênico, guardanapos, resíduos sanitários

**Fonte:** Adaptado de CONAMA (2001).

O transporte interno dos resíduos, por sua vez, deve ser realizado em rotas previamente mapeadas, utilizando equipamentos e veículos compatíveis com o volume e o tipo de material, de forma a evitar riscos de derramamento, dispersão de partículas ou obstrução das áreas produtivas. De acordo com Oliveira (2018), a definição de rotas seguras e horários estratégicos contribui para a redução de interferências nas operações industriais e para o aumento da eficiência logística, garantindo o cumprimento das boas práticas de segurança operacional.

Adicionalmente, o treinamento contínuo dos colaboradores é de grande importância para a consolidação das práticas de manuseio seguro. A capacitação técnica deve abordar desde as técnicas de segregação e acondicionamento até o uso adequado dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e o conhecimento das normas ambientais aplicáveis. Segundo a CETESB (2022), o investimento em educação ambiental corporativa é uma das estratégias mais eficazes para manter a conformidade legal, reduzir a incidência de acidentes e fomentar uma cultura organizacional sustentável.

Em relação ao armazenamento, a infraestrutura física das áreas deve incluir pisos impermeáveis, sistemas de contenção e drenagem pluvial, de modo a evitar infiltrações e vazamentos vindos de eventuais derramamentos. Além disso, recomenda-se que os espaços sejam cobertos e adequadamente ventilados, garantindo proteção contra intempéries e reduzindo a geração de lixiviados (Menezes, 2020). Outro componente fundamental à gestão eficiente é a documentação e rastreabilidade. Cada resíduo armazenado deve possuir registros sistematizados, como fichas de identificação, manifestos de transporte, laudos de caracterização e

planilhas de controle. Essa rastreabilidade permite acompanhar o ciclo de vida dos resíduos desde sua geração até a destinação final, assegurando a conformidade com a PNRS e fornecendo subsídios para auditorias ambientais e relatórios de sustentabilidade corporativa (Souza et al., 2019).

### **3.5. Tratamento e disposição final dos resíduos**

O tratamento de resíduos sólidos é um dos processos do gerenciamento integrado de resíduos, uma vez que a classificação e o manejo prévios são determinantes para definir as estratégias de tratamento mais adequadas. De acordo com a ABNT NBR 10004:2024, a definição correta da natureza e periculosidade dos resíduos definiu critério para qualquer sistema de gestão ambiental eficaz, pois condiciona as metodologias de tratamento, o acondicionamento e a logística de transporte.

As técnicas de tratamento podem ser divididas conforme a origem e características dos resíduos. Para resíduos orgânicos, destacam-se métodos biológicos como compostagem, digestão anaeróbia e biometanização, que promovem a decomposição controlada de matéria orgânica, reduzindo carga poluidora e possibilitando a geração de biofertilizantes ou biogás (Walgenbach *et al.*, 2025). Os resíduos perigosos, por apresentarem características como inflamabilidade, corrosividade ou toxicidade, exigem tratamentos específicos que incluam neutralização química, estabilização, incineração controlada ou coprocessamento em fornos industriais. Já os resíduos recicláveis passam por processos de triagem, limpeza e acondicionamento, de modo a reinseri-los na cadeia produtiva, promovendo valorização de materiais, economia de recursos e redução de disposição em aterros (Moreira *et al.*, 2016).

A destinação final corresponde ao estágio subsequente, devendo ser realizada de forma ambientalmente correta e conforme a legislação. Para resíduos urbanos e industriais não perigosos, a disposição em aterros sanitários segue critérios de impermeabilização, drenagem e monitoramento de lixiviados e gases. Já para resíduos perigosos ou de serviços de saúde, normas como a Resolução CONAMA nº 358/2005 determinam prazos máximos de armazenamento e exigem métodos de tratamento e disposição específicos, incluindo incineração controlada ou coprocessamento em instalações autorizadas (CONAMA, 2005)

Apesar disso, a gestão de resíduos sólidos no Brasil ainda enfrenta desafios estruturais e operacionais significativos, relacionados à insuficiência de infraestrutura, à baixa adesão dos municípios à coleta seletiva e à escassez de tecnologias de tratamento avançadas. Segundo o *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil* (Abrelpe, 2024), cerca de 40% dos resíduos urbanos ainda são dispostos de forma inadequada, em lixões ou aterros controlados, o que compromete o cumprimento das metas estabelecidas pela PNRS. Além disso, a baixa valorização econômica dos materiais recicláveis, somada à falta de integração entre setor público e privado, limita a consolidação de sistemas eficientes de economia circular.

Entretanto, observa-se uma tendência crescente de inovação tecnológica e institucional voltada à valorização energética e ao reaproveitamento de resíduos industriais e urbanos, com destaque para o coprocessamento, biodigestão anaeróbia e gasificação de biomassa residual, que vêm sendo implementadas em diversas regiões. De acordo com Silva e Santos (2023), a incorporação de ferramentas de monitoramento digital e rastreabilidade, como plataformas de gestão integrada e sensores para controle de emissões, também representa um avanço importante no setor ambiental.

### **3.6. Legislação e normas técnicas aplicáveis no Gerenciamento de Resíduos Sólidos**

O gerenciamento de resíduos sólidos representa um dos eixos centrais da política ambiental contemporânea, sendo orientado por um robusto arcabouço jurídico e normativo que busca assegurar a destinação ambientalmente adequada dos resíduos, a proteção da saúde pública e a promoção da sustentabilidade. Nesse contexto, as normas técnicas complementam a legislação ao definir parâmetros operacionais e requisitos de segurança que conferem padronização e rastreabilidade às práticas de gestão de resíduos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, representa o principal marco legal que estrutura o gerenciamento de resíduos no Brasil. Ela estabelece princípios como a precaução, o poluidor-pagador, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a hierarquia das ações, priorizando não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, por último, a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL,

2010). O Decreto nº 10.936/2022, que regulamenta a PNRS, atualizou as diretrizes para a elaboração de Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) e reforçou a obrigatoriedade da rastreabilidade e do monitoramento eletrônico dos resíduos gerados.

Outros dispositivos legais complementam a PNRS, como a Lei nº 6.938/1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), estabelecendo instrumentos de controle e licenciamento ambiental; a Lei nº 9.605/1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente; e a Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020, que trata do saneamento básico e integra o manejo de resíduos sólidos urbanos às políticas de saneamento (Brasil, 2020).

No âmbito infralegal, as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) têm papel na regulamentação técnica de setores específicos. A Resolução CONAMA nº 307/2002 estabelece diretrizes para a gestão dos resíduos da construção civil; a nº 358/2005 dispõe sobre o tratamento e a disposição de resíduos de serviços de saúde; e a nº 316/2002 regula o tratamento térmico de resíduos industriais perigosos. Segundo Costa e Barbosa (2019), essas resoluções ampliaram a capacidade normativa do Estado e promoveram a padronização técnica entre as esferas federativas, ainda que persistam desafios de fiscalização e integração entre órgãos ambientais.

As Normas Brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) complementam o arcabouço jurídico ao definir critérios técnicos e parâmetros operacionais para o manejo, acondicionamento, transporte e destinação dos resíduos sólidos. A ABNT NBR 10004-2:2004 é a norma de referência para a classificação dos resíduos, categorizando-os em Classe I (perigosos), Classe II (não perigosos), conforme suas propriedades físico-químicas e potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde. Em complemento, às normas NBR 10005, NBR 10006 e NBR 10007 definem, respectivamente, os procedimentos de lixiviação, solubilização e amostragem de resíduos sólidos, assegurando a precisão das análises laboratoriais e a rastreabilidade dos resultados.

No que se refere ao armazenamento e transporte, a ABNT NBR 11174:1990 estabelece critérios para o armazenamento temporário de resíduos perigosos, prevendo áreas impermeabilizadas, drenagem e sinalização adequada, enquanto a ABNT NBR 13221:2020 regula o transporte terrestre de resíduos, determinando

exigências de identificação, compatibilidade química e controle de riscos. Já a ABNT NBR 7500:2020 trata da simbologia de risco e identificação de produtos perigosos, sendo essencial para o manuseio seguro e prevenção de acidentes industriais. Quanto à disposição final, destacam-se a ABNT NBR 13896:1997, que define critérios para aterros de resíduos não perigosos, e a NBR 8419:1992, voltada à apresentação de projetos de aterros industriais (ABNT, 2020).

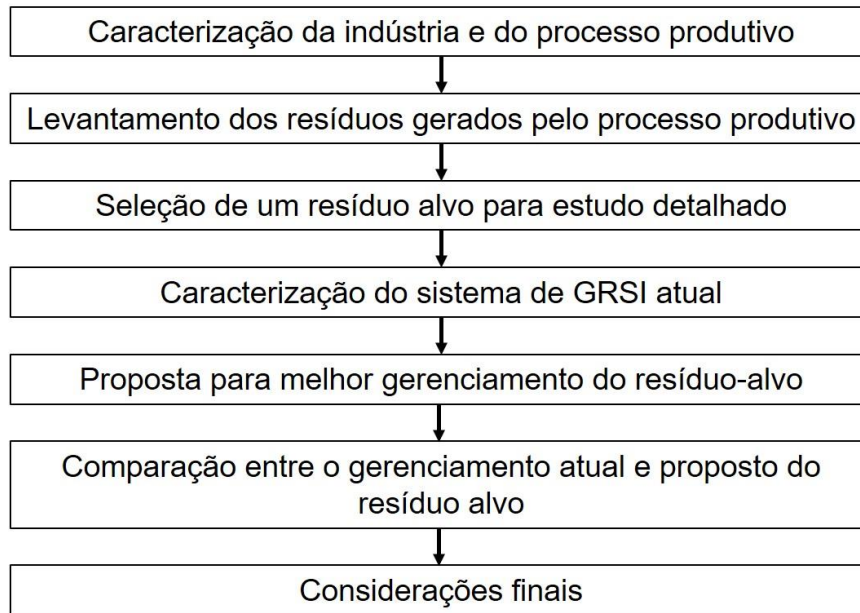
Apesar dos avanços normativos, o país ainda enfrenta desafios estruturais e institucionais na aplicação efetiva da legislação e das normas técnicas. De acordo com Lima (2023), grande parte dos municípios brasileiros carece de infraestrutura adequada, recursos financeiros e capacitação técnica para a implementação plena da PNRS. Além disso, a defasagem de algumas NBRs frente às tecnologias emergentes de tratamento e recuperação de materiais limita a inovação no setor.

As tendências futuras apontam para a revisão das normas técnicas, de modo a alinhar-se aos princípios da economia circular e às diretrizes internacionais de sustentabilidade, como a ISO 14001:2015 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030. Em especial a ODS 11, que visa tornar as cidades e os assentamentos humanos mais inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis por meio da adequada gestão de recursos e da redução de impactos ambientais, e a ODS 12, voltada à promoção de padrões sustentáveis de consumo e produção, com ênfase no uso eficiente dos recursos naturais e na redução, reutilização e reciclagem de resíduos. A integração de sistemas digitais de rastreabilidade, como o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR) e o Sistema Estadual SIGOR, tem se mostrado uma ferramenta promissora para aprimorar o controle e a transparência dos fluxos de resíduos (Martins; Araújo, 2022).

#### **4. METODOLOGIA**

Este trabalho foi elaborado a partir da identificação de um desafio relacionado à gestão de resíduos sólidos em uma unidade industrial, a qual orientou a definição do tema e o delineamento do objeto de pesquisa. As etapas apresentadas pelo fluxograma da Figura 1 resumizam o processo.

**Figura 1:** Fluxograma da metodologia de desenvolvimento deste trabalho.



**Fonte:** Autoria própria, 2025.

Uma vez que este trabalho abordou a Gestão de Resíduos Sólidos Industriais de uma unidade fabril, a primeira etapa metodológica compreendeu a caracterização da indústria e de seu processo produtivo. Em sequência, foram identificados todos os resíduos sólidos gerados pelo processo produtivo, assim como outros associados à manutenção da unidade fabril.

A elaboração dessas etapas adotou uma abordagem qualiquantitativa, de caráter descritivo e exploratório, que possibilitou a compreensão detalhada dos aspectos operacionais, além da avaliação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) da unidade fabril (Borges, 2021). Essas etapas foram conduzidas com base na legislação vigente, especialmente na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), e nas normas técnicas aplicáveis, como a ABNT NBR 10.004:2004, que trata da classificação dos resíduos sólidos.

Após a compreensão dos aspectos operacionais da indústria, seguiu-se a identificação de um resíduo-alvo que se enquadrasse como um desafio à gestão empresarial. Para isso, foi realizada uma avaliação preliminar dos diferentes fluxos de resíduos gerados na indústria, priorizando aquele com maior volume de geração, maior potencial de impacto ambiental e oportunidades de melhoria no processo de gerenciamento. O resíduo definido para o estudo corresponde às sacarias de ingredientes de matérias-primas (Coelho, 2011).

Identificado o resíduo-alvo, seguiu-se a caracterização do sistema produtivo e das práticas de gestão de resíduos. Para isso foram utilizados documentos internos disponibilizados pelo setor de Meio Ambiente (*Health, Safety and Environment – HSE*), incluindo relatórios de controle ambiental, planilhas de inventário de resíduos, registros de coleta e dados operacionais de produção. O PGRS institucional foi empregado como fonte de informação principal, contendo dados sobre fluxos de resíduos, responsabilidades, práticas de segregação, acondicionamento, transporte e destinação final. Além da análise documental, foram realizadas visitas técnicas *in loco* ao pátio de resíduos, com o objetivo de observar o manejo das sacarias, identificar possíveis não conformidades e verificar oportunidades de melhoria nos processos de segregação e destinação (Feliciano; Galatto, 2012).

No que diz respeito às sacarias de matérias-primas, as informações foram complementadas com dados obtidos junto aos setores de produção e logística, abrangendo relatórios internos, registros de consumo e devolução, e informações sobre fornecedores e contratos. Também foi conduzida uma análise crítica dos aspectos operacionais, incluindo composição e estrutura das embalagens, frequência de utilização, custos associados e formas de destinação final atualmente praticadas, visando compreender o ciclo de vida dessas embalagens no processo produtivo (Castro, 2006).

A caracterização e classificação dos resíduos gerais seguiram as diretrizes da ABNT NBR 10.004:2004, com base nos relatórios corporativos de gestão de resíduos. Foram identificados elementos como código de classificação, periculosidade, origem no processo produtivo, forma de acondicionamento, quantidade média mensal gerada e modalidade de destinação final. Esses dados subsidiaram as análises quantitativas e qualitativas subsequentes (Borges, 2021).

A partir das informações e dos resultados obtidos nas etapas descritas, foi possível elaborar uma proposta para o melhor gerenciamento do resíduo-alvo. A proposição baseou-se na análise das práticas atualmente adotadas pela empresa, considerando a grande geração mensal dos sacos de ingredientes e seu papel como o maior custo operacional do pátio de resíduos com transporte e reciclagem energética. As vantagens da proposta em relação à gestão vigente foram avaliadas, sobretudo quanto a ganhos financeiros e ambientais, permitindo a elaboração de análises finais relacionadas ao objetivo deste estudo.

## 5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1. Descrição da indústria e do processo produtivo

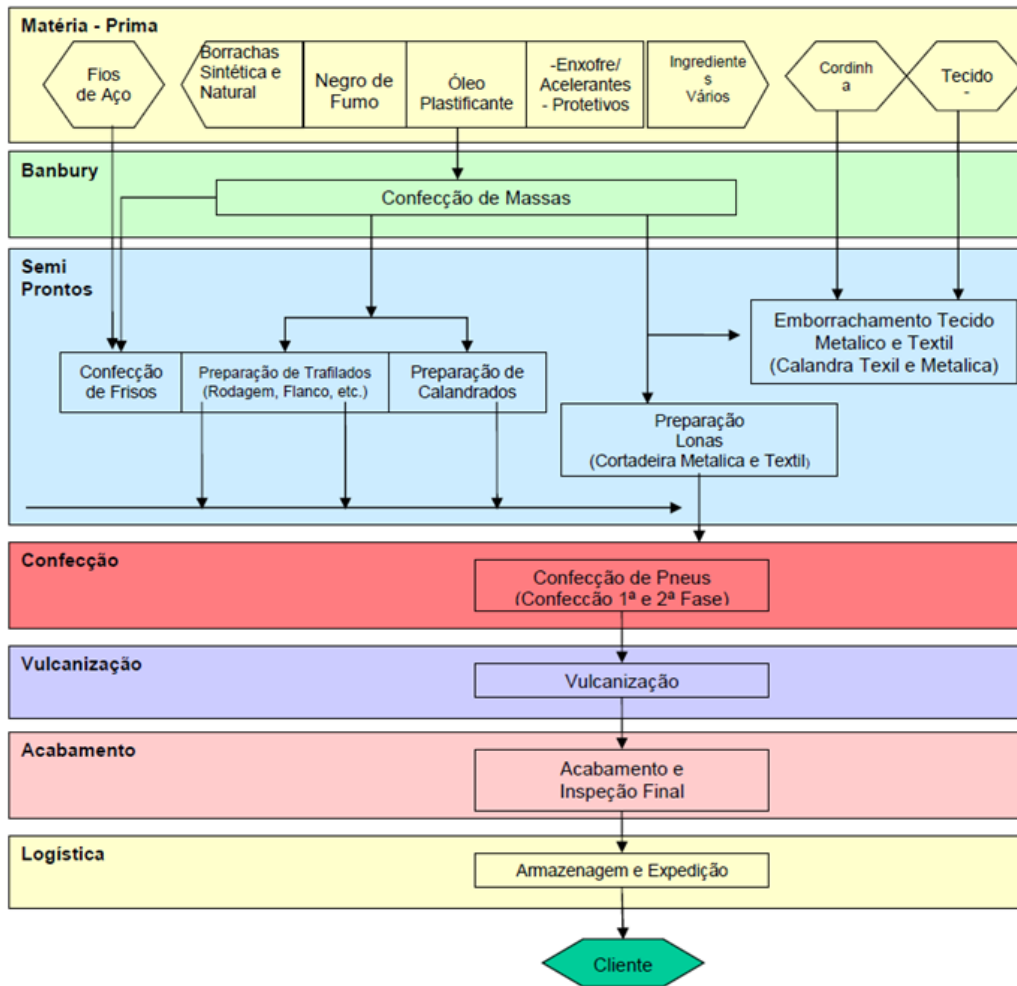
A unidade industrial localizada no município de Campinas (SP) configura-se como uma instalação fabril de grande porte voltada à produção de pneus para automóveis e motocicletas. Situada em um terreno de aproximadamente 457 mil metros quadrados, dos quais, cerca de 166 mil metros quadrados correspondem à área construída. A fábrica opera de forma contínua, em três turnos, empregando aproximadamente 2300 colaboradores diretos e cerca de 1000 trabalhadores terceirizados. O processo produtivo é estruturado de maneira integrada e contempla desde o recebimento e armazenamento de matérias-primas, passando pela formulação e preparação de compostos de borracha, até a confecção, vulcanização, acabamento e expedição do produto final.

Inicialmente, as matérias-primas, como borrachas naturais e sintéticas, negro de fumo, sílica, óleos de processo, aditivos e cargas minerais, são recebidas no armazém específico, onde passam por controle de qualidade e são armazenadas conforme matrizes de incompatibilidade e normas de segurança. A etapa seguinte consiste na dosagem e mistura, realizada em misturadores industriais conhecidos como *Banburys*, nos quais os componentes são pesados de acordo com a formulação específica e homogeneizados sob temperatura e pressão controladas, resultando em massas de borracha que serão moldadas nas etapas seguintes.

A preparação dos semi-prontos envolve processos como extrusão, calandragem e montagem de componentes (banda de rodagem, paredes laterais, revestimentos internos, lonas têxteis e metálicas), os quais, posteriormente, são integrados na etapa de confecção, formando a carcaça do pneu por meio de equipamentos automatizados. Na vulcanização, a carcaça é transformada em produto final através da aplicação de calor e pressão em moldes específicos, utilizando vapor proveniente de caldeiras alimentadas a biomassa e gás natural. Após a vulcanização, o pneu passa pelo acabamento, que inclui inspeção visual e funcional, remoção de rebarbas, aplicação de marcações e eventuais reparos em produtos que apresentem defeitos corrigíveis.

A Figura 2 apresenta o fluxograma do processo produtivo, destacando as matérias-primas, as diferentes etapas industriais até o envio para os clientes.

**Figura 2:** Fluxograma do processo produtivo.



Fonte: Adaptado de documento interno da empresa (2025).

## 5.2. Apresentação dos resíduos gerados pela indústria

Durante o processo produtivo, são gerados diferentes tipos de resíduos, que são identificados, segregados e gerenciados conforme a ABNT NBR 10.004:2004 e as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Na Tabela 2 está apresentada a relação dos resíduos gerados pela indústria em questão, com a respectiva classificação, estado físico, forma de acondicionamento e destinação final adotada pela unidade.

Observa-se que os resíduos listados são gerenciados de forma a garantir sua destinação ambientalmente adequada, priorizando práticas de reutilização, reciclagem e coprocessamento, conforme sua classificação. Além disso, todos os resíduos são recuperados, ou seja, reciclados, reutilizados, coprocessados ou

enviados à compostagem; exceto os provenientes de serviços de saúde, que exigem destinação específica em aterro. Vale ressaltar, que desde 2022, a unidade opera com um índice de reciclagem de 99%, evidenciando o compromisso contínuo com a sustentabilidade.

**Tabela 2:** Resíduos gerados na unidade.

<b>Cód. IBAMA</b>	<b>Resíduo</b>	<b>Estado Físico</b>	<b>Classe</b>	<b>Acondicionamento</b>	<b>Destinação</b>	<b>Nº ONU</b>	<b>Classe de Risco</b>
170605	Amianto (Telhas / Isolantes)	Sólido	I	Fardo	Aterro Resíduos Classe I	2590	9
160601	Bateria Chumbo Ácido	Sólido	I	Caixa	Reciclagem	2794	8
150102	Big Bag Rasgado	Sólido	II	Fardo	Reciclagem	-	-
191212	Borra de Óleo	Líquido	I	Container	Reciclagem	3077	9
191211	Câmara de Vulcanização	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
191211	Carcaça de Pneu	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
200199	Coleta Seletiva	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
150110	Container IBC 1000 L	Sólido	I	Granel	Reciclagem	3077	9
170405	Corda Metálica	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
130899	Diversos Contaminados	Sólido	I	Tambor	Coprocessamento	3077	9
170107	Entulho Construção Civil	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
150202	EPI Contaminado	Sólido	I	Caixa	Coprocessamento	3077	9
191211	Frisos / Fios de Aço	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
191211	Frisos com Borracha	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
200121	Lâmpadas Fluorescentes	Sólido	I	Granel	Descontaminação	3077	9

<b>Cód. IBAMA</b>	<b>Resíduo</b>	<b>Estado Físico</b>	<b>Classe</b>	<b>Acondicionamento</b>	<b>Destinação</b>	<b>Nº ONU</b>	<b>Classe de Risco</b>
200121	Lâmpadas Fluorescentes Quebradas	Sólido	I	Granel	Descontaminação	3077	9
200301	Lixo Gerado Fora de Processo	Sólido	II	Caçamba Fechada	Coprocessamento	-	-
190814	Lodo ETE	Líquido	II	Caçamba Fechada	Reciclagem	-	-
200138	Madeira	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
191211	Massa Borracha	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
191202	Metal Ferroso	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
191203	Metal Não Ferroso	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
61303	Negro de Fumo	Sólido	II	Caixa	Reciclagem	-	-
130299	Óleo Lubrificante	Líquido	I	Tambor	Rerrefino	3082	9
150102	Pallet Plástico	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
200101	Papel / Papelão	Sólido	II	Caçamba Fechada	Reciclagem	-	-
160603	Pilhas com Metais Pesados	Sólido	I	Caixa	Reciclagem	3077	9
150102	Plástico Não Selecionado	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
200139	Plástico Selecionado	Sólido	II	Caçamba Fechada	Reciclagem	-	-
160199	Pneu Metálico Eliminado	Sólido	II	Caçamba Fechada	Coprocessamento	-	-
191211	Pó de Borracha	Sólido	II	Caixa	Reciclagem	-	-

<b>Cód. IBAMA</b>	<b>Resíduo</b>	<b>Estado Físico</b>	<b>Classe</b>	<b>Acondicionamento</b>	<b>Destinação</b>	<b>Nº ONU</b>	<b>Classe de Risco</b>
20103	Poda de Árvores	Sólido	II	Granel	Compostagem	-	-
70213	Polietileno	Sólido	II	Fardo	Reciclagem	-	-
191211	Rebarba Borracha	Sólido	II	Caixa	Reciclagem	-	-
020203	Resíduos Restaurantes	Sólido	II	Caçamba Fechada	Compostagem	-	-
180111	Resíduos Serviço Saúde	Sólido	I	Saco Plástico	Autoclave	3248	6.1
<b>150106</b>	<b>Sacos Ingredientes</b>	<b>Sólido</b>	<b>II</b>	<b>Caçamba Aberta</b>	<b>Coprocessamento</b>	-	-
200135	Sucata Eletrônica	Sólido	I	Caixa	Reciclagem	3077	9
150110	Tambor Metálico 200 L	Sólido	I	Granel	Reciclagem	3077	9
191199	Tecido Metálico Emborrachado	Sólido	II	Caçamba Aberta	Coprocessamento	-	-
00209	Tecido Têxtil Bobina	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
191211	Tecido Têxtil Emborrachado	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
040209	Tecido Têxtil Retalho	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-
191211	Tela Filtro	Sólido	II	Caixa	Reciclagem	-	-
130899	Varrição Ingredientes	Sólido	I	Caixa	Coprocessamento	3179	4.1
170202	Vidro	Sólido	II	Caçamba Aberta	Reciclagem	-	-

**Fonte:** Adaptado de documento interno (2025).

### 5.3. Definição de um resíduo-alvo

Dentre os resíduos gerados pela indústria, os sacos de ingredientes (sacarias) se destacam devido a representatividade que este resíduo possui dentro do fluxo de geração da fábrica, tanto em termos quantitativos, quanto em impactos ambientais associados. Durante a etapa de produção, diversos ingredientes utilizados na formulação dos compostos são recebidos em embalagens do tipo sacos industriais, geralmente confeccionados em polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP) ou em estruturas mistas que combinam plástico e papel kraft, conferindo resistência mecânica e proteção contra umidade (Silva, T., 2018).

Do ponto de vista da classificação, segundo a legislação vigente, tais resíduos enquadram-se como Classe II – não perigosos, uma vez que apresentam potencial de reciclagem, embora possam conter traços de pó residual dos insumos acondicionados. Entretanto, destaca-se que parte das sacarias são contaminadas por resíduos de ingredientes perigosos utilizados no processo produtivo, tais como acelerantes, retardantes, antioxidantes, resinas fenólicas, enxofre, entre outros aditivos químicos essenciais à formulação (Menezes, 2020).

Nesses casos, a destinação adequada é obrigatoriamente a reciclagem energética (coprocessamento), devido às propriedades tóxicas e ao risco associado, assegurando a destruição térmica controlada desses resíduos e evitando impactos ambientais e à saúde. Em termos de quantitativo, a unidade estudada gera aproximadamente 126 ton/ano de sacarias provenientes do consumo dos ingredientes no processo produtivo, esse volume é significativo quando comparado a outros resíduos sólidos da planta.

No cenário atual, o destino principal adotado para todas as sacarias é o coprocessamento, realizado no município de Arujá, interior de São Paulo, a uma distância média de 130 km da planta de Campinas. Esse modelo, embora seja ambientalmente adequado e indispensável para as embalagens de ingredientes perigosos, implica em custos elevados, tanto com o transporte quanto com a destinação, em função do elevado volume de resíduos. Além disso, gera emissões indiretas de gases de efeito estufa associadas ao transporte rodoviário, as quais se enquadram no Escopo 3 do *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol), que abrange emissões indiretas da cadeia de valor.

Do ponto de vista técnico, estima-se que aproximadamente 42% das sacarias geradas poderiam ser encaminhadas para reciclagem convencional, por serem embalagens de ingredientes não perigosos, compostas por plásticos, papel ou estruturas mistas. Esse material apresenta viabilidade de reciclagem mecânica, podendo ser reinserido em novas cadeias produtivas e agregando valor econômico. Contudo, atualmente, devido à ausência de segregação no momento da dosagem dos ingredientes no equipamento *Banbury*, todas as embalagens, independentemente da periculosidade de seu conteúdo residual, acabam sendo misturadas, resultando na contaminação de todas as sacarias. Como consequência, ocorre o envio integral dos sacos para o coprocessamento, o que acarreta perda significativa do potencial de reciclagem e limita a valorização desse fluxo de resíduos.

Nesse contexto, ressalta-se a importância da hierarquia de gestão de resíduos estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual estabelece uma sequência de prioridades para a destinação ambientalmente correta. Inicialmente, deve-se priorizar a reciclagem convencional, seguida por outros tipos de reciclagem, como compostagem, rerrefino e tratamentos específicos. Em seguida, a reciclagem energética, incluindo valorização e coprocessamento, deve ser considerada, seguida por métodos de tratamento ou desinfecção, como autoclavagem e micro-ondas. Como etapas posteriores, aparecem a incineração e, como última alternativa a ser adotada, o aterro sanitário. Dessa forma, embora o envio de todo o volume de sacarias para coprocessamento esteja em conformidade com a legislação vigente, o atual modelo não aproveita integralmente o potencial de reciclagem convencional das embalagens, contrariando parcialmente a hierarquia estabelecida pela PNRS.

Além disso, a dependência exclusiva do coprocessamento amplia os custos totais relacionados à gestão dos sacos de ingredientes, uma vez que inclui tanto a taxa de destinação final quanto o frete até o município de Arujá (SP). Esses custos, somados às emissões atmosféricas associadas ao transporte de resíduos em longas distâncias, reforçam a necessidade de avaliação crítica do atual modelo de gestão. Do ponto de vista do PGRS, o tratamento dado às sacarias se mostra eficaz no cumprimento das obrigações legais, mas pouco alinhado com os princípios da hierarquia da gestão de resíduos, que prioriza a não geração, a reutilização e a reciclagem em detrimento da recuperação energética ou disposição final.

Dessa forma, o resíduo das sacarias configura-se como um ponto crítico no Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Indústria, justificando sua escolha como resíduo-alvo para proposição de melhorias. O elevado volume gerado, a obrigatoriedade do coprocessamento para parte das embalagens contaminadas por substâncias perigosas, a viabilidade de reciclagem para aproximadamente 42% das sacarias, além dos custos e impactos indiretos associados ao transporte e às emissões de Escopo 3, tornam este fluxo um campo de oportunidade para a adoção de práticas mais sustentáveis e alinhadas à economia circular.

#### **5.4. Caracterização do sistema atual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos**

O sistema de gerenciamento de resíduos sólidos da indústria em questão, apresenta-se como um modelo estruturado, desenvolvido em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010, e com as normas da ABNT além das diretrizes de órgãos ambientais estaduais e federais. O plano contempla todas as etapas do ciclo de gerenciamento, compreendendo desde a geração até a destinação final ambientalmente adequada, sempre observando a ordem de prioridade legalmente estabelecida: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final de rejeitos (Brasil, 2010).

A gestão tem início nos processos produtivos, os quais envolvem diferentes etapas industriais responsáveis pela fabricação de pneus automotivos e motocicletas, resultando em uma ampla variedade de resíduos. Entre os resíduos perigosos encontram-se óleos lubrificantes usados, borras oleosas, equipamentos de proteção individuais (EPIs) contaminados, lâmpadas fluorescentes, resíduos de serviços de saúde e embalagens com produtos químicos. Já os resíduos não perigosos englobam borrachas, metais ferrosos e não ferrosos, plásticos, papel, lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) e entulho de construção civil.

A segregação é realizada diretamente no ponto de geração, obedecendo a um sistema padronizado de cores que facilita a identificação, armazenamento e encaminhamento de cada tipo de resíduo. Coletores e recipientes são disponibilizados de forma estratégica nas áreas administrativa e produtiva, devidamente identificados com simbologia adequada. Os resíduos perigosos são

acondicionados em tambores metálicos e bombonas homologadas, em conformidade com a NBR 12.235/1992, que trata do armazenamento de resíduos perigosos (ABNT, 1992). Resíduos recicláveis secos, como papel, plásticos, vidros e metais, são acondicionados em coletores específicos, enquanto os resíduos não recicláveis, como restos alimentares, são direcionados a recipientes apropriados para compostagem.

A coleta interna é realizada por equipes treinadas, com uso obrigatório de EPI, em conformidade com a Norma Regulamentadora NR-06. O transporte até o local de armazenamento temporário é feito por empilhadeiras ou veículos coletores estanques, no caso de resíduos líquidos e semissólidos, prevenindo derramamentos e contaminações. O armazenamento temporário é centralizado em um Pátio de Resíduos, projetado conforme as normas da CETESB e em atendimento às NBR 11.174/1990 e NBR 12.235/1992. Esse espaço possui piso impermeabilizado, sistema de drenagem e contenção, baias segregadas por tipologia de resíduo, kit de emergência contra vazamentos e infraestrutura de segurança contra incêndios, garantindo organização, controle e integridade dos materiais até sua destinação final.

O transporte externo é realizado por empresas licenciadas pelos órgãos ambientais e homologadas pelo setor de Saúde, Segurança e Meio Ambiente da indústria. Cada operação é acompanhada da emissão do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), obrigatório em território nacional conforme a Portaria MMA nº 280/2020, além da manutenção dos Certificados de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental (CADRI), documento emitido pelos órgãos ambientais estaduais que autorizam a destinação final de resíduos de interesse ambiental.

No que se refere ao tratamento e destinação final, a indústria adota uma hierarquia que privilegia o reaproveitamento interno e a reciclagem convencional, passando por outras formas de valorização, como compostagem, rerrefino, beneficiamento e pirólise. Em seguida, são utilizados processos de reciclagem energética, por meio de coprocessamento em fornos de cimenteiras, incineração controlada e, apenas em último caso, disposição em aterro sanitário licenciado. Esse sistema de gestão é pautado nos princípios dos 5R's: repensar, reduzir, recusar, reutilizar e reciclar, e busca, além da destinação correta, a redução da geração de resíduos por meio de inovações tecnológicas, substituição de matérias-primas e eficiência energética (Silva, M., 2018).

O monitoramento do plano se dá por meio de indicadores quantitativos e qualitativos. Entre os indicadores avaliados mensalmente destacam-se os volumes de resíduos perigosos e não perigosos gerados, a taxa de reciclagem, o percentual de resíduos coprocessados e o volume disposto em aterros. A meta estabelecida é alcançar índices superiores a 98% de reciclagem e coprocessamento, reduzindo a destinação a aterros a menos de 1%. Paralelamente, são realizadas auditorias, inspeções periódicas e vistorias técnicas para garantir o cumprimento das normas, além de promover melhorias contínuas no processo.

O sistema contempla ainda ações de capacitação e conscientização de colaboradores em todos os níveis hierárquicos. São ministrados treinamentos regulares e campanhas voltadas à coleta seletiva, gestão de riscos ambientais e emergências, além de semanas temáticas e diálogos de segurança. Essas práticas fortalecem a integração da política de sustentabilidade da empresa e consolidam a cultura de responsabilidade socioambiental.

Outro eixo importante é a logística reversa, especialmente voltada aos pneus inservíveis, que são coletados em pontos credenciados e destinados a entidades de reciclagem. Os pneus recolhidos têm como destinação ambientalmente correta o coprocessamento em cimenteiras, a produção de artefatos de borracha, processos de laminação e uso em siderurgia. Esse processo integra-se aos acordos setoriais de responsabilidade compartilhada, previstos na PNRS, reforçando o conceito de economia circular e garantindo a reinserção dos resíduos na cadeia produtiva (Jacobi; Besen, 2011).

## **5.5. Proposta de otimização no gerenciamento das sacarias**

A proposta de melhoria apresentada neste trabalho tem como foco a otimização da gestão das sacarias de matérias-primas utilizadas no processo produtivo de uma indústria do setor automotivo. Atualmente, esse resíduo possui elevada representatividade no fluxo de resíduos industriais não perigosos, com uma geração média de 126 toneladas por ano, sendo destinado integralmente à reciclagem energética. Esse cenário resulta em custos financeiros estimados em R\$ 296.760,00 ao ano e implica em impactos ambientais relevantes, como o aproveitamento insuficiente de materiais com potencial de reciclagem convencional e

as emissões indiretas de gases de efeito estufa associadas à fabricação de novas embalagens.

A melhoria proposta é baseada nos princípios da redução na fonte e valorização dos resíduos, em conformidade com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que prioriza a não geração, a reutilização, a reciclagem e a logística reversa. Nesse contexto, o projeto foi estruturado em três eixos principais: (i) caracterização detalhada das sacarias geradas, (ii) segregação adequada e implementação de fluxo logístico interno específico, e (iii) desenvolvimento de parceria com viabilidade técnica, econômica e sustentável para reciclagem convencional.

No primeiro eixo, o diagnóstico realizado permitiu quantificar a geração mensal de sacarias, totalizando 10,5 ton/mês. Foi constatado que o material predominante é composto por 64% de papel kraft, 26,5% de plástico e 9,5% de materiais mistos, sendo que aproximadamente 42% das embalagens encontram-se em condições adequadas para reciclagem, enquanto os 58% restantes apresentam contaminação por ingredientes perigosos à saúde e ao meio ambiente, o que inviabiliza sua valorização.

O segundo eixo trata-se da implantação de um sistema de segregação na fonte, com a criação de três pontos de coleta: um destinado a materiais perigosos e dois voltados a materiais não perigosos, subdivididos em plástico e papel, distribuídos nas áreas de geração das sacarias. Esses pontos devem ser identificados e equipados com recipientes exclusivos, de modo a evitar contaminações cruzadas e facilitar a triagem. Para garantir a eficácia do sistema, deve ser realizado o treinamento e capacitação dos colaboradores envolvidos nas etapas de manuseio, armazenamento e transporte das sacarias, garantindo que os resíduos mantenham condições adequadas para a reciclagem.

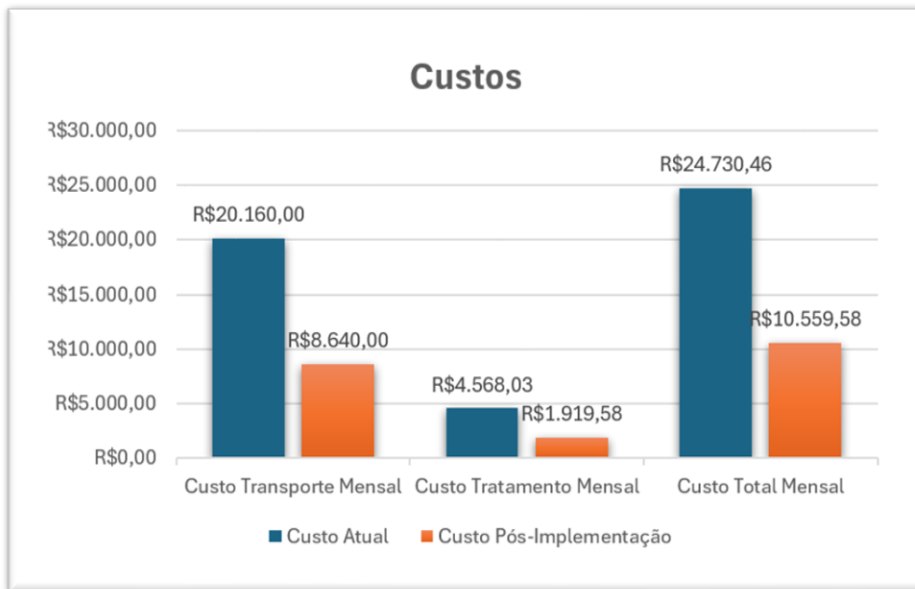
O terceiro eixo tem foco no desenvolvimento de parcerias com viabilidade técnica, econômica e sustentável para a reciclagem convencional das sacarias. Para isso, propõe-se a implementação de três tipos de parcerias: (i) parcerias com cooperativas de reciclagem, responsáveis pelo reaproveitamento dos materiais plásticos e de papel, (ii) parcerias voltadas à redução de custos de frete, otimizando a logística do transporte dos resíduos desde os pontos de coleta até os destinatários, e (iii) parcerias focadas na redução de custos de tratamento, envolvendo o coprocessamento da parcela das sacarias contaminadas.

Atualmente, a cooperativa parceira que recebe os resíduos provenientes da coleta seletiva da unidade fabril apresenta os seguintes custos: R\$ 1.512,00 mensais referentes à triagem; R\$ 2.155,15 para a realização de quatro coletas mensais; e R\$ 2.543,68 para cinco coletas mensais. Em relação ao transporte dos resíduos de sacarias destinados ao coprocessamento, a empresa responsável pelo frete cobra R\$ 2.880,00 por viagem, com uma média de sete deslocamentos mensais, o que representa um total de R\$ 20.160,00 para o transporte da unidade fabril até a empresa parceira encarregada do tratamento.

Quanto ao tratamento, a parceira atualmente homologada cobra R\$ 436,00 por tonelada, considerando uma média de 10,5 toneladas por mês, totalizando R\$ 4.578,00. Diante desse contexto, evidencia-se a necessidade da abertura de um novo processo de negociação (bid), visando à redução dos custos atualmente praticados, contemplando a reciclagem convencional, o transporte e o tratamento por coprocessamento. Ademais, recomenda-se a priorização de empresas locais para a prestação do serviço de transporte, com o objetivo de reduzir as emissões atmosféricas e os custos associados ao deslocamento.

Com a implementação do projeto, estima-se que apenas 58% das sacarias continuarão sendo destinadas ao coprocessamento, resultando em uma redução da quantidade de resíduos enviados mensalmente para aproximadamente 6 toneladas, bem como uma diminuição no número de saídas de resíduos, estimado em quatro por mês. Com base nos custos atuais, projeta-se que, mesmo sem alterações nos processos, seria possível alcançar uma redução significativa nos custos operacionais. Especificamente, estima-se uma diminuição de 43% nos custos de transporte e de 42% nos custos associados ao tratamento por coprocessamento, resultando em uma redução total de 42,7% no custo mensal global, conforme demonstrado no gráfico a seguir:

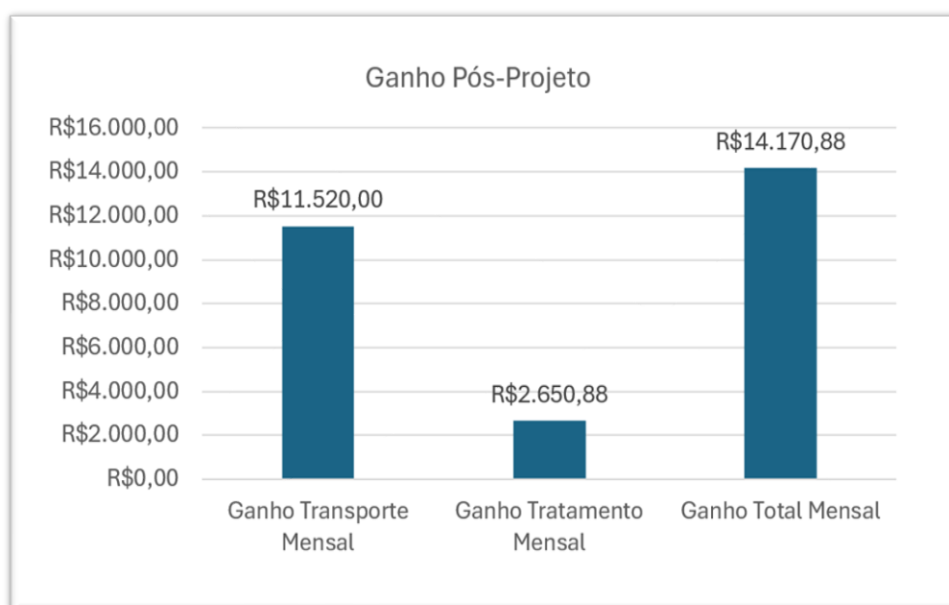
**Figura 4:** Comparativo de custos mensais da gestão das sacarias atual e proposta.



**Fonte:** Autoria própria, 2025.

Os ganhos estimados com a implementação do projeto correspondem a uma economia de R\$ 11.520,00 relacionada ao transporte e de R\$ 2.650,88 referente ao tratamento, totalizando R\$ 14.170,88 em redução de custos mensais, conforme ilustrado no gráfico da Figura 4.

**Figura 5:** Ganho econômico após a implantação da proposta de gestão das sacarias.



**Fonte:** Autoria própria, 2025.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho possibilitou ampla compreensão dos desafios e das oportunidades relacionadas à gestão das sacarias de matérias-primas. A análise do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da indústria evidenciou que o fluxo desse material constitui um dos principais custos operacionais do pátio de resíduos e apresenta significativo potencial de valorização quando segregado e tratado de maneira adequada.

A proposta desenvolvida demonstrou viabilidade técnica e econômica, evidenciando que a adoção de melhorias no gerenciamento pode resultar em redução de custos operacionais e otimização dos processos de tratamento e transporte. Além dos benefícios financeiros, destacam-se os ganhos ambientais, como a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, o aproveitamento de materiais recicláveis e o fortalecimento da integração com cooperativas e empresas locais, em consonância com os princípios de responsabilidade compartilhada previstos na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Concluiu-se que a implementação das melhorias propostas pode contribuir para a consolidação de uma gestão de resíduos mais eficiente, sustentável e alinhada aos conceitos da economia circular. Recomenda-se, como desdobramento futuro, a ampliação do estudo para outros fluxos de resíduos industriais, bem como a implementação de indicadores de desempenho ambiental e econômico que possibilitem o monitoramento contínuo e a melhoria permanente do sistema de gestão ambiental da organização.

## 7. REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10004-1:2024 – Resíduos sólidos – Classificação – Parte 1: Requisitos de classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004:2004 — Resíduos sólidos — Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12.235:1992 — Armazenamento de resíduos sólidos perigosos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024**. São Paulo, 2024.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

BORGES, H. S.; OGORODNIK, M. E. A.; NASCIMENTO, L. S.; OLIVEIRA, E. S. de. **Diagnóstico quali-quantitativo dos resíduos sólidos gerados no Campus V da Universidade do Estado do Pará**. Research, Society and Development, v. 10, n. 11, e576101119827-e576101119827, 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001. **Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 19 jun. 2001. Seção 1, p. 80-81.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005. **Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 4 maio 2005, Seção 1, p. 63-65.

CASTRO, Marco Aurélio Soares de. **Prevenção da poluição aplicada às embalagens de uso industrial**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual de Gestão de Resíduos Industriais: princípios, práticas e conformidade legal**. São Paulo, 2022.

COELHO, H. M. G. **Modelo para avaliação e apoio ao gerenciamento de resíduos sólidos de indústrias**. 2011. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

COSTA, M. A.; BARBOSA, J. P. **Gestão ambiental e a aplicação das resoluções CONAMA no setor industrial**. Revista de Direito Ambiental, v. 24, n. 95, p. 201–224, 2019.

FELICIANO, A. P. M.; GALATTO, S. L. **Plano de gerenciamento de resíduos sólidos industriais: estudo de caso em indústria de plástico e alumínio**. Revista Tecnologia e Ambiente, v. 18, n. 1, p. 45-58, 2012.

FORLIN, Flávio J.; FARIA, José de Assis F. **Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, Campinas, v. 12, n. 1, p. 1–10, 2002.

GUIMARÃES, Thales Cardoso Saraiva. **Impactos da elaboração de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) de uma indústria de alimentos no município de Itumbiara-GO**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

JABBOUR, C. J. C.; SANTOS, F. C. A.; BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental e desempenho organizacional: o que há de novo?** Revista de Administração e Inovação, v. 5, n. 1, p. 96-115, 2008.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos Avançados, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

LIMA, C. R. **Limites e desafios na implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

MACIEL, V.; VEIGA, L. E. **Sustainability in the Brazilian chemical industries: obstacles, challenges and opportunities**. RISUS – Journal on Innovation and Sustainability, v. 13, n. 3, p. 48-68, 2022.

MARTINS, V. S.; ARAÚJO, F. C. **Sistemas de rastreabilidade e governança digital na gestão de resíduos sólidos**. Revista Brasileira de Engenharia Ambiental, v. 11, n. 1, p. 55–74, 2022.

MENEZES, R. P. **Gestão integrada de resíduos industriais: avaliação de práticas e conformidade ambiental em unidades fabris brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

MOREIRA, L. F.; CERQUEIRA, G. B.; MORAIS, R. G. **Coleta, tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos: análise de desempenho de municípios brasileiros**. Revista Espacios, v. 37, n. 19, p. 1-11, 2016.

OLIVEIRA, F. S. **Logística e transporte interno de resíduos sólidos industriais: estratégias de segurança e eficiência operacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

OLIVEIRA, Leandro Ferreira. **Gestão de resíduos sólidos industriais: um estudo sobre eficiência em sistemas integrados**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

ROSA, Lívia Rech da. **Resíduos perigosos na coleta seletiva: uma análise a partir da realidade dos catadores**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Ambientais) — Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

SANCHES, L. F.; SOUZA, E. A. **Sistemas de gestão ambiental em indústrias brasileiras: práticas e desafios**. *Revista de Gestão Ambiental*, v. 23, n. 4, p. 60–78, 2017.

SATYRO, W. C. et al. **Industry 4.0 Implementation Projects: The Cleaner Production Strategy — A Literature Review**. *Sustainability*, v. 15, n. 3, p. 2161, 2023.

SEIFFERT, M. E. B. **Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental**. São Paulo: Atlas, 2011.

SILVA, J. M. S.; SANTOS, T. I. **Geração e alternativas de destinação final para lodo de esgoto: estudo de caso com municípios selecionados das UGRHs 5 e 13**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

SILVA, M. A.; CORRÊA, M. B. **Gestão ambiental nas organizações: desafios e perspectivas**. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 22, n. 3, p. 130-144, 2018.

SILVA, Marcos Antônio. **Práticas de gestão de resíduos em indústrias de grande porte: avanços e desafios**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SILVA, Tatiane Moreira. **Embalagens de papel kraft e seus usos na indústria**. 2018. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SIMIÃO, Juliana. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sob o enfoque da produção mais limpa**. 2011. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SOUZA, T. R.; LIMA, V. F.; ANDRADE, C. M. **Armazenamento e rastreabilidade de resíduos sólidos industriais: uma análise sob a ótica da sustentabilidade e da economia circular**. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 13, n. 2, p. 89–104, 2019.

TRIERWEILLER, A. C. et al. **Gestão ambiental: levantamento da produção científica brasileira em periódicos de Engenharia de Produção**. Production, v. 24, n. 2, p. 435-450, 2014.

WALGENBACH, Patrícia J.; GRACIANO, Marcos J. S.; DIAS, Lucas D. **Compostagem de resíduos orgânicos e educação ambiental: uma análise do ciclo de vida em uma escola de educação básica**. Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science, v. 14, n. 1, p. 170-185, 2025.